

Bærekraftig utvinning av mineralressurser



GRUNNLAGS- og STRATEGIRAPPORT

31. august 2017

Rolf Arne Kleiv



 Fakultet for ingeniørvitenskap Adresse: Høgskoleringen 6, NTNU NO-7491 Trondheim NORWAY Telephone: +47 73 59 45 01	<h1>NTNU/IV RAPPORT</h1>	
	TITTEL: <i>Forskningsstrategi 2018-2022. Rapport B4: Bærekraftig utvinning av mineralressurser – Grunnlags- og strategirapport. 31.08.2017</i>	
	FORFATTER(E): Rolf Arne Kleiv (red.), Kurt Aasly, Ståle Emil Johansen, Rune Berg-Edland Larsen, Charlie Li, Martin Ludvigsen, Mary Ann Lundteigen, Daniel Beat Müller, Ivar S. Fossum, Tom Heldal, Jostein Mårdalen, Jack Ødegård	
	KUNDE: Styringsgruppen v/ Dekanus Ingvald Strømme	
ABSTRAKT: <p>Denne rapporten er en del av Fakultet for ingeniørvitenskaps reviderte forskningsstrategi og presenterer grunnlag og strategier for fakultetets satsing innen «Bærekraftig utvinning av mineralressurser».</p> <p>Samfunnet vårt er avhengige av store mengder mineralske ressurser – langt mer enn de fleste er klar over. Global befolkningsvekst, levestandardøkning og økende grad av industrialisering fører til en kraftig vekst i behovet for mineralressurser. Omstilling til et samfunn hvor vekst og utvikling skjer innen naturens tålegrenser og hvor produkter og tjenester gir mindre negative konsekvenser for klima og miljø enn i dag (det «grønne skiftet») øker behovet ytterligere. Fakultetets reviderte forskningsstrategi definerer derfor «Bærekraftig utvinning av mineralressurser» som ett av fem overordnede samfunns mål.</p> <p><i>NTNUs forskning innen mineralressurser skal være internasjonalt anerkjent, representere norsk bergindustri store fortrinn og bidra til bærekraftig verdiskapning og samfunnsutvikling både nasjonalt og globalt.</i></p> <p>Arbeidsgruppa har som har utarbeidet denne rapporten foreslår at satsingen organiseres i fire strategiske forskningsområder:</p> <ul style="list-style-type: none">• <i>Geologiske råstoffer for neste generasjon</i> (Mineralforekomstgeologi, geofysikk, ressursmodellering, avansert mineral karakterisering)• <i>Fremtidens mineralproduksjon</i> (Gruvedrift, oppredning (fragmentering og mineralseparasjon), videreforedling, geometallurgi)• <i>Mineraler i sirkulær økonomi</i> (Systemkunnskap, urban mining, bruk av overskuddsmasser, mineralbaserte renseløsninger)• <i>Marine Mineralressurser</i> (Mineralforekomstgeologi, ressursestimering, prospektering, utvinningsteknologi) <p>De fire områdene favner det aller meste fakultetets eksisterende forskning innen bærekraftig utvinning av mineralressurser. Samtidig fanger de opp nye teknologi- og samfunnstrender.</p> <p>Rapporten beskriver bakgrunn for satsingen på de fire forskningsområdene, trender og mål, status for dagens forskning og premisser og konsekvenser for videre satsing. I tillegg gis konkrete mål og strategier for hvert enkelt område. Disse er presentert i separate vedlegg. Rapporten fungerer således både som en grunnlagsrapport og en strategirapport.</p>		

INNHold

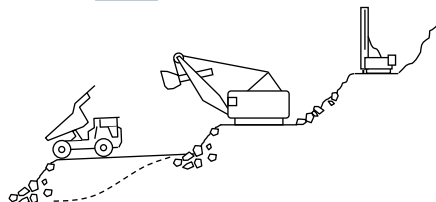
Sammendrag

1. BAKGRUNN FOR STRATEGISK SATSNING	1
1.1 Funksjon, utgangspunkt og organisering	1
1.2 Mineralressurser for samfunnet	2
1.3 Norges mineralindustri og ressursgrunnlag	6
1.4 NTNUs forutsetninger og nasjonale ansvar.....	8
2. TRENDER, STATUS OG MÅL	11
2.1 Samfunnsmessige og teknologiske trender	11
2.2 Status for forskningen ved IV-fakultetet	13
2.3 Overordnede mål for forskningen.....	15
3. STRATEGISKE FORSKNINGSOMRÅDER	17
3.1 Bakgrunn for strukturering og prioritering.....	17
3.2 Område A – Geologiske råstoffer for neste generasjon.....	18
3.3 Område B – Fremtidens mineralproduksjon.....	19
3.4 Område C – Mineraler i sirkulær økonomi.....	23
3.5 Område D – Marine mineralressurser.....	25
4. KONSEKVENSER OG PREMISER	29
4.1 Faglige og strategiske rammer	29
4.2 Undervisning.....	29
4.3 Vitenskapelig bemanning	30
4.4 Laboratorier og infrastruktur	31
5. FINANSIERING	33
6. STRATEGISKE SAMARBEIDSPARTNERE.....	35
7. REFERANSER.....	37

VEDLEGG

- A. Strategiplan – Geologiske råstoffer for neste generasjon
- B. Strategiplan – Fremtidens mineralproduksjon
- C. Strategiplan – Mineraler i sirkulær økonomi
- D. Strategiplan – Marine mineralressurser
- E. Kompetansematrise
- F. Prosjektoversikt

1



BAKGRUNN FOR STRATEGISK SATSING

1.1 Funksjon, utgangspunkt og organisering

Denne rapporten er en del av Fakultet for ingeniørvitenskaps reviderte forskningsstrategi og presenterer grunnlag og strategier for fakultetets satsing innen «Bærekraftig utvinning av mineralressurser». I den reviderte forskningsstrategien utgjør «Bærekraftig utvinning av mineralressurser» ett av fem overordnede samfunns mål, og strategiarbeidet for hvert av disse samfunns målene har blitt gjennomført av egne arbeidsgrupper.

1.1.1 Arbeidsgruppas sammensetning

Arbeidsgruppa for «Bærekraftig utvinning av mineralressurser» har bestått av representanter fra sju ulike faggrupper ved IV-fakultetet, samt representanter fra Fakultet for naturvitenskap, SINTEF, Norges geologiske undersøkelse og mineralindustrien (tabell 1). Arbeidet ble ledet av Rolf Arne Kleiv. Arbeidsgruppa er den minste av de fem nedsatte arbeidsgruppene, men er bredt sammensatt med hensyn på kompetanse, fagfelt og nettverk.

Tabell 1. Arbeidsgruppas sammensetning.

<i>Arbeidsgruppemedlemmer fra IV-fakultetet</i>		
[Institutt]	[Faggruppe]	[Representant]
Geovitenskap og petroleum (IGP)	Mineralproduksjon og HMS	Rolf Arne Kleiv
Geovitenskap og petroleum (IGP)	Mineralproduksjon og HMS	Kurt Aasly
Geovitenskap og petroleum (IGP)	Geofysikk	Ståle Johansen
Geovitenskap og petroleum (IGP)	Geologi	Rune Berg-Edland Larsen
Geovitenskap og petroleum (IGP)	Ingeniørgeologi og bergmekanikk	Charlie Li
Energi- og prosesssteknikk (EPT)	Industriell økologi	Daniel Beat Müller
Marin teknikk (IMT)	Marine konstruksjoner	Martin Ludvigsen
Maskinteknikk og produksjon (MTP)	RAMS	Mary Ann Lundteigen
<i>Eksterne arbeidsgruppemedlemmer</i>		
Fakultet for naturvitenskap (NV) / Institutt for materialteknologi		Jostein Mårdalen
SINTEF Materialer og kjemi		Jack Ødegård
Norges geologiske undersøkelse (NGU)		Tom Heldal
Nordic Mining ASA		Ivar S. Fossum

1.1.2 Utgangspunkt for revisjonen

I fakultetets opprinnelige forskningsstrategi fra 2012 ^[1,2] er ikke «Bærekraftig utvinning av mineralressurser» definert som et overordnet samfunns mål, men som ett av 16 strategiske forskningsområder (fagplanområde 12). Grunnlaget for strategiene innen dette forskningsområdet ble beskrevet i rapporten «Fagplan 2012 - 2020, Del: Petroleum og geofag» ^[2]. Statushevingen av satsingen på mineralressurser fra å være et strategisk forskningsområde til et samfunns mål representerer en strukturell endring som gjør det vanskelig å bygge videre på de eksisterende strategidokumentene. Denne rapporten må derfor betraktes som produktet av et nytt utgangspunkt og ikke som en revidert versjon av den opprinnelige grunnlagsrapporten ^[2].

Det er også på sin plass å fremheve Stoltenberg II-regjeringens mineralstrategi ^[3] og rapporten fra den SINTEF-ledede Minforsk-prosessen ^[4] som eksterne strategidokumenter med spesielt høy relevans. Fagmiljøet innen mineralproduksjon ved IV-fakultetet gav innspill til utformingen av begge disse dokumentene, og sentrale deler av innholdet reflekteres i denne rapporten.

1.1.3 Rapportens formål og struktur

Arbeidsgruppa har foreslått fire strategiske forskningsområder under det overordnede samfunns målet «Bærekraftig utvinning av mineralressurser». Forskningsutfordringene knyttet til hvert enkelt forskningsområde er beskrevet i kapittel 3 og utgjør kjernen i strategiarbeidet. Rapporten beskriver bakgrunn for satsingen på de fire forskningsområdene, trender og mål, status for dagens forskning og premisser og konsekvenser for videre satsing. I tillegg gis konkrete mål og strategier for hvert enkelt område. Disse er presentert i vedlegg A-D. Rapporten fungerer således både som en grunnlagsrapport og en strategirapport.

1.2 Mineralressurser for samfunnet

Global befolkningsvekst, levestandardsøkning og økende grad av industrialisering fører til en kraftig vekst i behovet for mineralressurser. Skiftet til et grønnere samfunn forutsetter økt mineralutvinning.

1.2.1 Forbruk og behov

Samfunnet vårt er avhengige av store mengder mineralske ressurser – langt mer enn de fleste er klar over. Mineralråstoffer benyttes som byggeråstoffer til boliger og veier, som energiråstoff, som konstruksjonsmaterialer til oljeproduksjon, skipsbygging, husbygging og samferdsel, og ikke minst som råmaterialer til industrien. Vi finner mineraler i papir, maling, biler, solceller, hvitevarer, fiskeboller, tannkrem og forbrukselektronikk (fig. 1). I Norge bruker hver av oss i gjennomsnitt 13 tonn mineralprodukter i året ^[5].

Det globale forbruket av mineralressurser er skjevt fordelt. Mens EU og USA forbruker om lag 10 kg kobber pr. kapita pr. år, er det tilsvarende forbruket i India tjue ganger lavere. Global befolkningsvekst, levestandardsøkning og økende grad av industrialisering og urbanisering, spesielt i folkerike land i Asia, har ført til en kraftig vekst i behovet for mineralressurser.

Grønn teknologi er ofte mer avhengig av mineralråstoffer enn de konvensjonelle teknologiene de erstatter. Produksjon av en elektrisk bil krever tre ganger så mye kobber som produksjon av en tilsvarende konvensjonell bil, mens det kreves 3600 tonn kobber til bygging av en vindpark på 1000 MW^[6]. Skiftet til et grønnere samfunn forutsetter derfor økt mineralproduksjon.

1.2.2 Kritiske råmaterialer og forsyningsrisiko

Global befolkningsvekst, industrialisering og urbanisering fører også til økt konkurranse om mineralressursene, og kan gi stor regional ubalanse mellom tilbud og etterspørsel. EU-landene har stor industriproduksjon sammenlignet med råvareproduksjonen, og Europakommisjonens Råvareinitiativ fra 2008^[7] beskriver tilgangen på metaller som en betydelig utfordring for den europeiske industrien. EU står for om lag 20% av verdens metallforbruk, men bidrar ikke med mer enn 3% av verdensproduksjonen. For enkelte råstoffer er situasjonen spesielt kritisk og vil kunne få stor strategisk betydning^[8]. Den økte etterspørselen etter spesialmetaller er et godt eksempel. Produksjonen av flere av disse metallene domineres av få land og selskaper. Kina kontrollerer om lag 95% av verdens produksjon av sjeldne jordartselementer^[3] og har utnyttet sitt produksjonsmonopol til politiske formål^[6]. Situasjonen kompliseres ytterligere ved at en betydelig andel av verdens mineralutvinning finner sted i politisk ustabile områder. Dette representerer en vesentlig forsyningsrisiko for virksomheter som har mineralråstoffer som innsatsfaktor^[3].

1.2.3 Etisk forsvarlig mineralutvinning

Verdens behov for mineraler og dagens forsyningsbilde har gitt opphav til viktige etiske problemstillinger. En vesentlig del av vestens forbruk av mineralprodukter dekkes ved produksjon fra land der miljøvern, arbeidsmiljø og menneskerettigheter står svakt. Uetisk og uansvarlig produksjon av mineraler i utviklingsland kan forårsake store lokale miljøproblemer, medføre uakseptabel risiko for arbeidernes liv og helse, fortrenge barns muligheter for skolegang og bidra til opprettholdelse av fattigdom. Det er derfor et økende fokus på politiske og økonomiske virkemidler som kan motvirke slik produksjon, inkludert evnen til å kunne dokumentere etiske forsvarlige forsyningskilder. Dette er en av driverne bak EUs «pillar» om transparency i handel/import med mineraler.

1.2.4 Primære og sekundære forsyningskilder

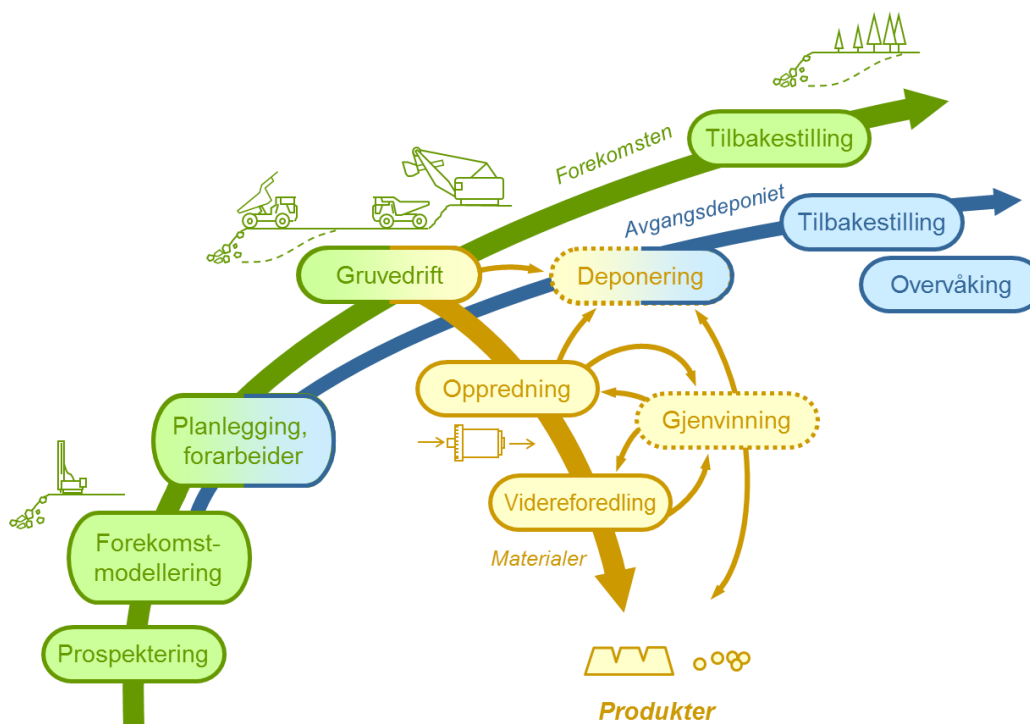
Mineraler er ikke-fornybare ressurser, og økende etterspørsel gjør at den globale mineralindustrien vil måtte ta i bruk forekomster med stadig lavere innhold av verdifulle mineraler, mer komplisert tekstur og mer ekstrem beliggenhet. Dette inkluderer blant annet svært finkornede malmer, forekomster på store dyp og mineralressurser på havbunnen. Fremtidens mineralindustri står derfor ovenfor betydelige utfordringer både med hensyn på prospektering og produksjon.

Resirkulering av metaller og mineralråstoffer bidrar til å redusere behovet for primærutvinning og utgjør således et viktig supplement. I tillegg vil resirkulering kunne gi en betydelig energibesparelse. Produksjon av aluminium fra resirkulert avfall krever bare 5% av energien som må benyttes for å produsere aluminium fra primært råstoff. Aluminium, kobber og bly er eksempler på metaller som har egenskaper og bruksområder som gjør de godt egnet for resirkulering og har derfor allerede en høy resirkuleringsgrad^[3]. Langt større utfordringer er knyttet til spesialmetaller og komplekse legeringer. Optimal bruk av mineralressurser betinger at disse i større grad blir del av en sirkulær økonomi^[3], hvilket krever bedre systemkunnskap, nye teknologi, politisk styring og økonomiske

insentiver. Det ligger et betydelig verdiskapingspotensial i resirkulering av mineralressurser både fra industriavfall og forbruksavfall («urban mining»). Samtidig må man være bevisst på at resirkulering ikke vil kunne fjerne behovet for primær mineralutvinning. For de fleste metaller vil den potensielle tilgangen fra sekundære kilder være vesentlig lavere enn den totale etterspørselen til tross for at resirkuleringsgraden er høy ^[9].

1.2.5 Verdikjeden fra forekomst til foredlet produkt

Moderne mineralutvinning er et komplisert system av arbeidsoperasjoner, og veien fra forekomst til foredlet råvare går gjennom en rekke distinkte trinn (figur 3). I fakultetets forskningsstrategi benyttes begrepet mineralutvinning i sin videste forstand og inkluderer således alle disse trinnene.



Figur 3. Verdikjeden fra forekomst til foredlet råvare.

Mineralutvinning er tuftet på den geologiske kunnskapen om mineralforekomstenes dannelse og opptrøden. Prospektering etter nye forekomster benytter denne kunnskapen i kombinasjon med geofysiske letemetoder. Når en forekomst er funnet må den kartlegges, prøvetas og modelleres for å vurdere det økonomiske potensialet.

Dersom forekomsten vurderes som drivverdig må man velge brytningsmetode og planlegge uttak. Selve gruvedriften er en øvelse i logistikk, der man på sikker og effektiv måte må forsøke å utnytte mest mulig av ressursen innen en akseptabel tidsramme. Det verdifulle produktet fra gruvedriften går videre til oppredning. Her frigjøres de enkelte mineralkornene gjennom flere knuse- og maletrinn før de verdifulle komponentene separeres fra restmassene (avgangen) ved hjelp av ulike fysiske separeringsmetoder. De verdifulle mineralkonsentratene videreforedles, mens restmassene deponeres. Oppredningsteknologien benyttes også til å resirkulere mellom- og avfallsprodukter fra videreforedlingen og til å forbedre restmassenes egenskaper før deponering.

Etter endt drift må de berørte arealene tilbakestilles eller benyttes på en hensiktsmessig måte. Det vil ofte være nødvendig å overvåke deponiene lenge etter at driften er avsluttet. Helse, miljø og sikkerhet må være i fokus langs hele prosessen fra prospektering til tilbakestilling/etterbruk.

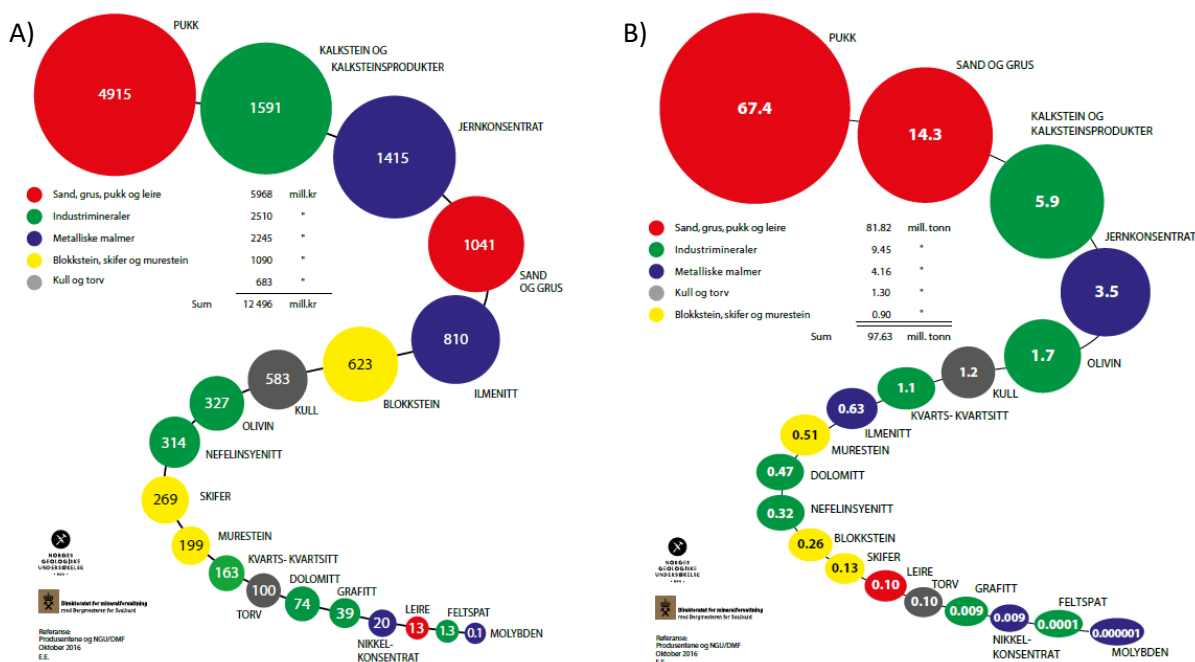
Mineralutvinning er i sin natur kapitalintensiv, energi- og arealkrevende, og kan ha en betydelig påvirkning på miljøet. Samtidig er det de naturgitte geografiske, geologiske og mineralogiske forholdene som legger rammene for utvinningsprosessen og konsekvensene av denne. Ingen forekomster er like, og det kreves høy tverrfaglig kompetanse for å finne best mulig løsning i hvert enkelt tilfelle.

1.3 Norges mineralindustri og ressursgrunnlag

Norge er i dag en betydelig produsent av viktige metaller og mineralprodukter, og er i besittelse av mineralressurser som får stadig større strategisk og økonomisk betydning for europeisk industri og samfunnsutvikling [3,5,6]. Dette inkluderer blant annet titanminerale, jernmalm, kull, kalk, kvarts, nefelinsyenitt, olivin, pukk og naturstein. Markedsnærhet, politisk stabilitet og høy kompetanse innen prosess- og produktutvikling utgjør viktige konkurransefortrinn.

1.3.1 Dagens produksjon

I følge «Mineralressurser i Norge» [5] som publiseres årlig av Norges geologiske undersøkelse (NGU) i samarbeid med Direktoratet for mineralforvaltning (DMF) omsatte norsk mineralindustri for 12,5 milliarder kroner i 2015, hvorav 6,5 milliarder representerer eksport. Samtidig sto mineralnæringen for 5551 årsverk i direkte sysselsetning - de fleste av disse i distriktene. Bidraget til sysselsetning og verdiskapning er imidlertid langt større dersom man tar hensyn til hvordan produksjonen av mineralråstoffer gir opphav til videreforedling, leverandørindustri og lokale ringvirkninger.



Figur 4. De viktigste mineralråstoffer produsert på land i Norge i 2015. Verdi (A) og mengde (B) levert fra produsent. (Kilde: NGU/DMF [5]).

Totalt ble det i 2015 solgt 98 millioner tonn mineralske råstoffer, fordelt på 766 bedrifter og 1016 uttakssteder. Råstoffene og produksjonen av disse kan deles inn i fem hovedgrupper/bransjer:

- Byggeråstoffer (pukk, sand og grus)
- Industrimineraler (kalkstein, dolomitt, olivin, kvarts og grafitt m.fl.)
- Metallmalmer (jern, nikkel og ilmenitt – titandioksid m.fl.)
- Naturstein (larvikitt, granitt, skifer m.fl.)
- Energimineraler (steinkull og torv)

Figur 4 viser mengde og verdi levert fra produsent i 2015 fordelt på sektor og spesifikke produkter. Sammenlignet med Sverige og Finland karakteriseres norsk mineralindustri av en spesielt sterk industrimineralsektor.

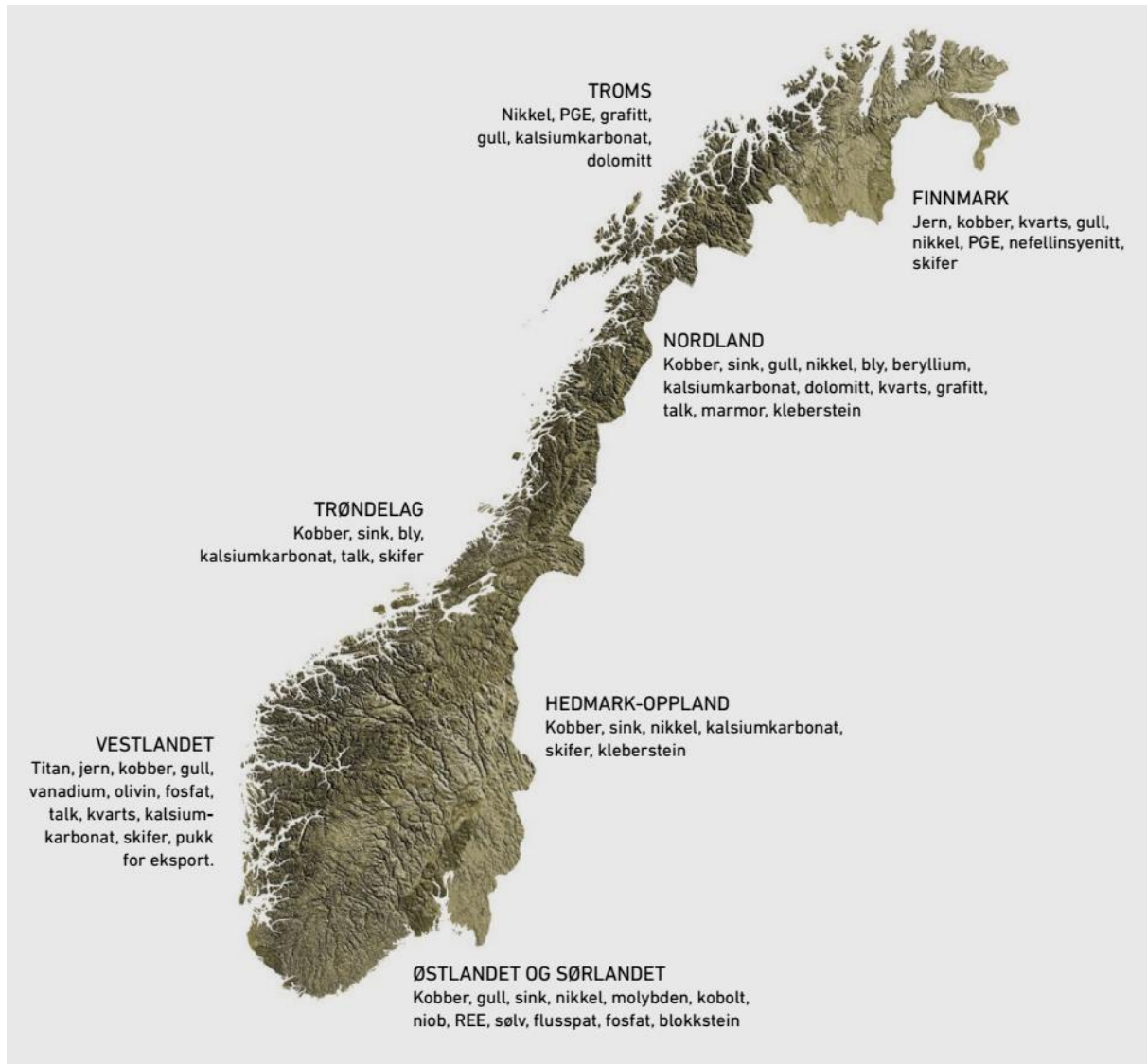
Norsk mineralindustri har sterk tradisjon for verdiskaping gjennom innovasjon og produktutvikling. Dette kommer kanskje tydeligst til syne innen industrimineralsektoren der Norge kan vise til verdensledende kompetanse innen blant annet kalksteinsfiller, olivin, grafitt og super-ren kvarts. Mineralressurser danner grunnlaget for en betydelig del av samfunnets verdiskaping. Selv om den mineralutvinnende industrien i Norge ikke er spesielt stor representerer mineralforedlende industri og industri som er avhengig av mineraler/mineralprodukter som innsatsmidler rundt 25 % av brutto nasjonalprodukt^[4].

1.3.2 Ressursgrunnlag og vekstpotensial

Potensialet for verdiskaping basert på norske mineralressurser er imidlertid langt høyere enn nivået dagens produksjon representerer. I 2012 estimerte Norges geologiske undersøkelse verdien av norske kjente og undersøkte metallressurser til rundt 1 400 milliarder kroner, mens verdien av industrimineraler, pukk, grus, kull og naturstein ble anslått til 1 100 milliarder kroner. I tillegg kommer verdien av mineralforekomster som ikke er undersøkt og mineralforekomster som ikke er påvist^[5]. Sammenlignet med Sverige og Finland er Norge underprospektert^[4] og verdien av sistnevnte kategori kan være betydelig (figur 5). I denne finner vi også verdien av mineralforekomster på havbunnen. Her er usikkerheten stor, men foreløpige verdianslag ligger rundt 1000 milliarder kroner^[10].

1.3.3 Fremtidige utfordringer

I dag står norsk mineralindustri ovenfor flere utfordringer. Behovet for mer forutsigbarhet og konsistens i offentlige beslutningsprosesser, samfunnsaksept for nødvendige naturinngrep og tilgang på kompetanse og kvalifisert arbeidskraft representerer kanskje de viktigste. Oppstart av ny mineralvirksomhet krever som regel lang planlegging og store investeringer. For at investorer skal ønske å satse på norsk mineralindustri kreves det rammebetingelser som stimulerer til en verdiskapende og lønnsom mineralnæring. Samtidig må legges til rette for gode, oversiktlige og effektive myndighetsprosesser som bidrar til økt forutsigbarhet. Situasjonen kompliseres ved at samfunnets aksept for naturinngrep som følge av mineralproduksjon er begrenset og at holdningene ikke alltid er basert på et korrekt faktagrunnlag. Dette har kommet tydelig til syne i debatten rundt bruk av sjødeponi for deponering av overskuddsmasser. Kunnskap og kommunikasjon vil være mye av nøkkelen. Dette krever forskning langs hele verdikjeden.



Figur 5. Fastlands-Norge har en variert geologi med muligheter for funn av nye mineralforekomster. Hver landsdel har sine spesialiteter (Kilde: NGU ^[6])

1.4 NTNUs forutsetninger og nasjonale ansvar

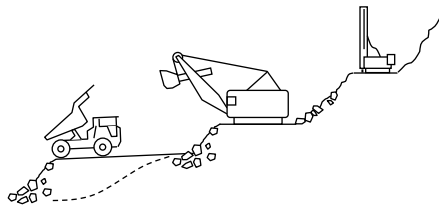
NTNU har et svært godt utgangspunkt for forskning på bærekraftig utvinning av mineralressurser. I tillegg til å være det eneste universitet i Norge med kompetanse på mineralproduksjon, besitter fagmiljøet ved NTNU også kompetanse på «særnorske» problemstillinger som har sitt utspring i spesielle forekomsttyper eller særegne klimatiske og topografiske forhold. Samtidig er store deler av den nødvendige kompetansen er samlet i ett og samme fakultet. Dette gjør det langt enklere å se forskningsaktiviteten i et helhetsperspektiv og muliggjør tverrfaglige forskningsinitiativ i form av senteretablering og større fellesprosjekter.

Det nære og tradisjonsrike samarbeidet med bergindustrien, SINTEF og Norges geologiske undersøkelse (NGU) har betydelige synergieffekter og bidrar i høy grad til forskningens relevans. I tillegg kommer NTNUs laboratoriefasiliteter som representerer et vesentlig konkurransefortrinn.

Disse inkluderer blant annet nasjonalt unike tunglaboratorier innen oppredning (mineralteknikk) og ingeniørgeologi/ bergmekanikk.

NTNUs unike nasjonale posisjon medfører et ansvar for å ivareta og videreutvikle kompetanse, undervisningstilbud og forskning innen mineralproduksjon. Dette ansvaret er blant annet fremhevet i Stoltenberg II-regjeringens mineralstrategi ^[3] og er en implisitt følge av kompetansekravene som stilles i Mineralloven ^[11].

2



TRENDER, STATUS OG MÅL

2.1 Samfunnsmessige og teknologiske trender

2.1.1 Samfunn

Flere viktige samfunnstrender og utviklingstrekk bidrar til å legge premissene for bærekraftig utvinning av mineralressurser:

- Global befolkningsvekst, levestandardsøkning og økende grad av industrialisering fører til en kraftig vekst i behovet for mineralressurser generelt.
- Skifte til mer miljøvennlig energiproduksjon og infrastruktur («det grønne skiftet») krever materialer med unike egenskaper og resulterer i et økende behov for en rekke ulike metaller.
- Med hensyn på mineralressurser har EU (og Norge) et langt høyere forbruk enn produksjon, og denne ubalansen øker.
- Globalt er det et vesentlig fokus på forsyningssikkerhet og økt konkurransen om strategisk viktige metaller.
- Fokus på konkurranse og forsyningssikkerhet har ført til økt interesse for utnyttning av «ekstreme forekomster» (ekstrem beliggenhet eller ekstreme prosessutfordringer). Dette inkluderer blant annet konsepter for utvinning av marine mineralressurser.
- I dag kan bare en mindre andel av behovet for strategisk viktige metaller og mineraler dekkes ved resirkulering og det er følgelig nødvendig med vekst i produksjonen fra primære forekomster. På sikt er det imidlertid nødvendig å øke bidraget fra sekundære kilder. Mineralressursenes rolle i sirkulær økonomi får derfor stadig større oppmerksomhet.
- Problemstillingene knyttet til produksjon av overskuddsmasser blir stadig viktigere.
- Det stilles stadig strengere (og mer konkrete) miljøkrav til utvinning av mineralressurser, samt til mineralindustriens sosiale ansvar.
- Det er økende fokus på politiske og økonomiske virkemidler som kan motvirke etisk uansvarlig mineralproduksjon, inkludert evnen til å kunne dokumentere etiske forsvarlige forsyningskilder.

2.1.2 Teknologi

Flere teknologitrender vil være viktige, både bransjespesifikke og generelle:

- Utviklingen innen mineralproduksjon har lenge gått mot større produksjonsenheter basert på eksisterende teknologi (både inne uttak og prosessering), men behovet for å etter hvert utnytte forekomster på store dyp, kompleks geometri eller komplisert prosessmineralogisk tekstur har ført til behov for nye løsninger.
- *High-grade/Near-surface*-forekomster er stort sett funnet. Nye funn vil ofte være *Low Grade/High tonnage* med til dels komplekse utfordringer knyttet til uttak og prosessering.
- Ny og mer energieffektiv maleteknologi er under utvikling (HVPF og HPRG), og nye alternativer til konvensjonelle trommelmøller tas i bruk i stadig større grad.
- Det fokuseres på utvikling av mer spesifikke og miljøvennlige flotasjonskjemikalier, men også på kjemikaliefrie alternativer til flotasjon.
- Behovet for å kunne prosessere fine partikler blir stadig større. Dette er nært knyttet til behovet for å kunne utnytte mer komplekse malmer og mineralråstoffer.
- Nye prosesser for produksjon av funksjonelle mineraler/materialer ved hjelp av oppredningsteknologi (maleteknologi) er i rask utvikling. Dette inkluderer top-down produksjon av nanomaterialer, mekanisk legering og mineral/gass-reaksjoner.
- Digitalisering og automasjon blir enda viktigere i fremtiden. Innen mineralutvinning omfatter dette bruk av autonome kjøretøyer og produksjonsenheter, samt løsninger for overvåkning og datainnsamling.
- Utvinningsprosessen blir i stadig større grad preget av helhetstenking og optimalisering på tvers av enhetsoperasjoner. (mine-to-mill, geometallurgi og verdikjedetekning).
- Fokus på utvinning marine mineralressurser gir opphav til ny interdisiplinær teknologisk utvikling.
- Innen mineralprosessering blir grensene mot tilstøtende fagfelt stadig mindre tydelige (eks. oppredning – hydrometallurgi).

2.1.3 Politiske føringer

Forvaltningen av Norges landbaserte mineralressurser er tillagt Nærings- og fiskeridepartementet ved Direktoratet for mineralforvaltning (DMF). DMF skal arbeide for at Norges mineralressurser forvaltes og utnyttes til beste for samfunnet, og skal være statens sentrale fagorgan i mineralsaker. DMF forvalter «*Lov om erverv og utvinning av mineralske ressurser*» (Mineralloven) ^[11] og Bergverksordningen for Svalbard, og har ansvar for sikring og reduksjon av miljøkonsekvenser av avrenning fra gamle gruver som er hjemfalt til staten. Forvaltningsansvaret for undersøkelse og utvinning av mineralforekomster på kontinentalsokkelen ble overført til Olje- og energidepartementet fra 1. april 2017, og det arbeides nå med utkast til en ny moderne lov om utvinning av marine mineralressurser.

Mineralloven gir implisitte føringer for forskning på bærekraftig utvinning av mineralressurser da den blant annet stiller klare krav til bergfaglig kompetanse for aktører som skal ha ansvar for uttak og

drift. Denne kompetansen forvaltes i dag av NTNU. NTNUs sentrale posisjon og nasjonale ansvar for både forskning og undervisning fremheves eksplisitt i Stoltenberg II-regjeringens mineralstrategi^[3] fra 2013. Strategien, som ble gjenstand for bred politisk enighet, slår fast at forskning og kunnskapsutvikling er en forutsetning for utvikling av en effektiv, lønnsom og miljøvennlig mineralnæring i Norge. Den etterfølgende Solberg-regjeringen utarbeidet ikke en egen mineralstrategi, men signaliserte at den vil legge til rette for bærekraftig vekst i mineralnæringen. I regjeringens havstrategi^[12] fra 2017 antas det at utvinning av marine mineralressurser har potensial for stor verdiskapning både nasjonalt og internasjonalt. Regjeringen vil styrke den geologiske kartleggingen av mineralforekomster, og videreføre og styrke den næringsrettede forsknings- og innovasjonspolitikken rettet mot havnæringene.

I EU har mineralnæringens økonomiske, strategiske og samfunnsmessige betydning vært anerkjent i langt større grad enn tilfellet har vært i Norge. I *Europakommisjonens Råvareinitiativ*^[7] fra 2008 fremheves FoU på mineralressurser som et viktig satsingsområde. FoU-satsingen skal erverve kunnskap for å utvikle bærekraftig tilførsel av mineralske ressurser fra europeiske kilder, og til å redusere forbruket av mineralske råvarer gjennom økt ressurseffektivitet og resirkulering.

Europakommisjonens Råvareinitiativ har vært en viktig premissleverandør for satsingen på mineralressurser i rammeprogrammet Horizon 2020. Mål, fokusområder, tiltak og virkemidler for denne satsingen styres i form av en *Strategic Implementation Plan (SIP)*^[13,14] utarbeidet av *European Innovation Partnership on Raw Materials (EIP on Raw Materials)*. I tillegg til de strategiske og forskningspolitiske føringene gitt i Råvareinitiativet og implementeringsplanen vil også *Europakommisjonens Avfallsdirektiv*^[15] og den pågående revisjonen av referansedokumentet for best tilgjengelig teknologi (BREF) for håndtering av avgang og overskuddsmasser fra mineralindustrien^[16] legge rammer for fremtidig FoU-satsing på mineralressurser. BREF-dokumentet på håndtering av mineralavfall vil blant annet kunne påvirke Norges muligheter for bruk av sjødeponi for avgangsmasser.

2.2 Status for dagens forskning ved IV-fakultetet

Forskningen innen bærekraftig utvinning av mineralressurser ved NTNU har i dag sitt tyngdepunkt og tradisjon i fire av de seks faggruppene ved Institutt for geovitenskap og petroleum (IGP). Dette inkluderer Faggruppe for mineralproduksjon og HMS, Faggruppe for geologi, Faggruppe for geofysikk og Faggruppe for ingeniørgeologi og bergmekanikk. Alle disse faggruppene har forskningsaktiviteter langs verdikjeden fra påvising av mineralressurser til foredlet produkt, men forskningsfeltets betydning for den enkelte faggruppe og den relative utnyttelsen av gruppens bemanning og ressurser varierer. Kun Faggruppe for mineralproduksjon og HMS har bærekraftig mineralproduksjon som sitt primære forskningsfokus.

De senere årene har økt fokus på marine mineraler og på mineraler og metaller betydning for det grønne skiftet har bidratt til å utvide grensene for den tradisjonelle verdikjeden og bidratt til at «Bærekraftig utvinning av mineralressurser» i dag berører flere av IV-fakultetets faggrupper. De mest sentrale utover fagmiljøet ved IGP inkluderer Faggruppe for marine konstruksjoner ved Institutt for marin teknologi (IMT), Faggruppe for industriell økologi ved Institutt for energi og prosessteknikk (EPT) og Faggruppe for pålitelighet, tilgjengelighet, vedlikehold og sikkerhet (RAMS) ved Institutt for

maskinteknikk og produksjon (MTP). Til sammen utgjør dette de sju faggruppene som er representert i arbeidsgruppa.

Det finnes også andre faggrupper ved IV-fakultetet med relevant kompetanse uten at disse nødvendigvis har aktiviteter relatert til mineralutvinning eller signalisert et ønske om å være delaktig i strategiprosessen på dette feltet. Dette gjelder blant annet Faggruppe for bygg- og anleggsteknikk ved Institutt for bygg- og miljøteknikk (IBM) som er en viktig bidragsyter til undervisningen i gruvedrift.

Status med hensyn på relevant forskningsaktivitet og kompetanse for de sju faggruppene som er representert i arbeidsgruppa er oppsummert i tabell 2 og vedlegg E og F. Tabell 2 viser faggruppenes bemanning og relevante laboratoriefasiliteter, samt andelen av den enkelte gruppes totale forskningstid som benyttes på bærekraftig utvinning av mineralressurser. Her må det understrekes at den totale forskningstiden til hver enkelt faggruppe ikke kan antas å være proporsjonal med vitenskapelig bemanning. Flere faggrupper peker på at undervisning og administrasjon tar svært mye tid og at det blir lite tid til forskning innen ordinær arbeidstid.

Tabell 2. Oversikt over bemanning, relevant infrastruktur og andel av total forskningstid brukt på bærekraftig utvinning av mineralressurser (R).

Inst.	Viktig infrastruktur (laboratorier etc.)	Faggruppe	Vitenskapelig bemanning	R [%]
IGP	<ul style="list-style-type: none"> Oppredningslaboratoriet Ing.- og bergmek. Lab. Kjemisk-mineralogisk lab. Sliplaboratoriet Magnetometrilaboratoriet Mikroskoperingslab. EM-laboratoriet (samarb. med NT-fakultetet) 	Geofysikk	6 professorer / ? professor II (20%) ? førsteamanuensis II (20%) 15 doktorgradsstipendater / ? post.dok.	20
		Geologi	5 professorer / 2 professor II (20%) 2 førsteamanuenser 8 doktorgradsstipendiater / 1 post.dok	15
		Ingeniørgeologi og bergmekanikk	3 professorer / 2 professor II (20%) 2 førsteamanuenser / 3 førsteamanuensis II (20%) 9-10 doktorgradsstipendater	10-15
		Mineralproduksjon og HMS	2 professorer / 3 professor II (2x20%, 1x10%) 4 førsteamanuenser / 1 førsteamanuensis II (20%) 9-10 doktorgradsstipendater / 3 post.dok.	90-100
IMT	<ul style="list-style-type: none"> AUR-Lab Hugin HUS – AUV (samarb. med FFI) 	Marine konstruksjoner	4 professorer/ professor II 3 doktorgradsstipendater / 1 post.dok.	
EPT		Industriell økologi	5 professorer / 1 professor II (20%) 1 førsteamanuensis 6 forskere 18 doktorgradsstipendiater / 6 post.dok.	50
MTP		RAMS	4 professorer/1 professor II (20%) 4 førsteamanuenser 10+ doktorgradsstipendiater/1 post.dok	5

Faggruppens relevante kompetanse innen de fire foreslåtte strategiske forskningsområdene er vist i kompetansematrisen i vedlegg E, mens vedlegg F gir en oversikt over større relevante pågående forskningsprosjekt. Som det fremgår av tabell 2 og vedlegg E og F spiller Faggruppe for Mineralproduksjon og HMS en sentral rolle for NTNUs forskning på bærekraftig utvinning av mineralressurser. Denne faggruppa utmerker seg ved å være den eneste med relevant kompetanse

innen alle de fire strategiske forskningsområdene og benytter 90-100% av tilgjengelig forskningstid på disse problemstillingene. Faggruppa har vært gjennom et generasjonsskifte og har langsomt bygd opp igjen den vitenskapelige staben fra bunnårene i 2009/2010 da gruppa i praksis besto av tre førsteamanuenser.

Fagmiljøet innen mineralproduksjon har tradisjonelt jobbet svært tett opp mot bergindustrien, og har scoret vesentlig høyere på verdiskaping og relevans enn på akademisk produksjon. Samarbeidet med industrien utgjør et stort fortrinn, og vil være en bærebjelke for fremtidig satsing. Forskningsområdet har imidlertid ikke vært gjenstand for større senteretableringer og publiseringsraten har vært lav. Dette er i ferd med å endres. Etter at «Bærekraftig mineralproduksjon» ble definert som et strategisk forskningsområde i fakultetets fagplan ^[1] i 2012 har man lyktes i å etablere tre større (og strategisk viktige) Kompetanseprosjekt for Næringslivet (KPN) gjennom Forskningsrådets BiA-program (se vedlegg F). Parallelt har man jobbet aktivt med å etablere og utvikle et forskningspolitisk nettverk ved å representere NTNU på EUs teknologi- og innovasjonsplattformer for råmaterialer (henholdsvis ETP-SRM og EIP-RM).

2.3 Overordnede mål for forskningen

Det overordnede målet for forskningen kan oppsummeres i følgende utsagn:

NTNUs forskning innen mineralressurser skal være internasjonalt anerkjent, representere norsk bergindustri store fortrinn og bidra til bærekraftig verdiskaping og samfunnsutvikling både nasjonalt og globalt.

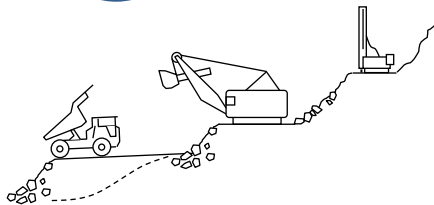
Dette innebærer følgende:

- Forskningen skal videreutvikles i lys av verdikjedekonseptet (helhetsperspektivet) og utnytte dette fortrinnet i internasjonalt forskningssamarbeid.
- Forskningen skal bidra til å flytte grensene for *Best Practice* ved utvinning av mineralressurser, samt ta særskilt ansvar for problemstillinger som er spesielle for norske forekomster.
- Forskningen skal bidra til økt verdiskaping ved å fokusere på større grad av foredling av primære mineralkonsentrater.
- Forskningen skal bidra til mer bærekraftig utnyttelse av mineralressurser ved å fokusere på gjenvinning, sirkulær økonomi og bedre utnyttelse av overskuddsmasser.
- Forskningen skal ha et integrert fokus på miljø (ytre miljø og arbeidsmiljø).

Ved NTNU betyr dette at:

- Forskningen skal føre til mer samarbeid mellom relevante faggrupper - på tvers av institutt og fakultet.
- Forskningen skal skape et mer robust fagmiljø med økt kapasitet og gjennomføringsevne.
- Forskningen skal skape en betydelig økning i produksjon målt i prosjekter, publikasjoner og siteringer.

3



STRATEGISKE FORSKNINGSOMRÅDER

3.1 Bakgrunn for strukturering og prioritering

3.1.1 Forslag til strategiske forskningsområder

Arbeidsgruppa foreslår følgende strategiske forskningsområder:

- A. Geologiske råstoffer for neste generasjon
- B. Fremtidens mineralproduksjon
- C. Mineral i sirkulær økonomi
- D. Marine Mineralressurser

De fire områdene favner det aller meste av dagens aktivitet innen bærekraftig utvinning av mineralressurser. Samtidig gir de rom for nye forskningstrender. Den foreslåtte inndelingen representerer en struktur som er enkelt å forholde seg til for de involverte faggruppene. Mens område A, B og delvis område C langt på vei reflekterer de suksessive prosessene i verdikjeden fra forekomst til produkt ligger den geologiske ressursen (dvs. forekomsttypen) og ikke prosessen til grunn for område D. Forskningsutfordringene knyttet til utvinning av marine mineralressurser kunne enkelt vært lagt inn under de øvrige forskningsområdene, men arbeidsgruppa finner det mest hensiktsmessig å synliggjøre disse som et eget forskningsområde. Her vil det uansett være behov for koordinering med strategiene for «Bærekraftig utnyttning av havrommet».

De fire strategiske forskningsområdene har store innbyrdes kontaktflater og vesentlig faglig overlapp. Flere alternative inndelinger ville vært mulig. Enkelte av de faglige problemstillingene er felles for flere av områdene, men er av praktiske årsaker primært beskrevet under ett av disse. Dette gjelder blant annet avansert mineralkarakterisering (beskrevet under område A), som er et verktøy av stor betydning for samtlige forskningsområder.

Forskningsutfordringene innen hvert av de strategiske forskningsområdene er beskrevet i kapittel 3.2-3.5. Basert på disse beskrivelsene (og på grunnlagsporten for øvrig) har arbeidsgruppa utarbeidet en kondensert tre-siders strategiplan for hvert enkelt område. Disse er presentert i vedlegg A-D.

3.1.2 Føringer for prioritering

Forskningsområde A og B representerer grunnleggende komplementære prosesser innen utvinning av mineralressurser og satsing på disse områdene er en forutsetning for å kunne definere «Bærekraftig utvinning av mineralressurser» som et prioritert samfunns mål. Det er også disse

områdene som vil ha størst betydning for utvikling av norsk (og internasjonal) mineralindustri på kort og mellomlang sikt. Utvinning av marine mineralressurser bygger på denne kompetansen og kan vanskelig prioriteres uten at også område A og B prioriteres.

Innbyrdes prioritering av de fire foreslåtte områdene bør gjøres med tanke på fagplanrevisjonen i sin helhet og vil avhenge av hvor mange strategiske forskningsområder fakultetet ønsker å prioritere. Restrukturering og sammenslåing av forskningsområdene er mulig, og prioriteringen av disse bør således være en iterativ prosess.

3.2 Område A – Geologiske råstoffer for neste generasjon

3.2.1 Formål og omfang

Fremtidens teknologier står og faller med tilgangen på økonomiske malm- og mineralforekomster med essensielle metaller og mineraler. Område A fokuserer på dannelsen og de fysiokjemiske karakteristika av faste geologiske ressurser. Det er basert på denne viten at man nedstrøms i produksjonskjeden utvikler metoder til at finne nye forekomster og designer strategier til brytning oppredning og miljømessig tilbakestilling etter endt gruvedrift.

3.2.2 Den Skandinaviske halvøy – Europas rikeste malm-provins

Den Skandinaviske halvøy inklusive kontinentalsokkelen representerer Europas største og rikeste område for dannelsen av økonomiske malm og mineralforekomster. Geologien i Norge har større geologisk diversitet enn noe annet område i denne regionen men er paradoksalt nok også det området som er dårligst undersøkt. Vi kan derfor forvente å finne flere metall og mineralforekomster i verdensklasse i det norske kontinentalområde - på land såvel som i havrommet.

Fremtidige forekomster vil mange ti-år frem i tiden lokaliseres på land men parallelt med den teknologiske utviklingen vil vi også se økt prospektering på sokkelen i takt med at nye metoder så vel som teknologier der tidligere ble brukt i olje-gas sektoren adapteres til malmprospektering.

3.2.3 Prospektering og malmgeologisk modellering

Funn av nye forekomster på stort vanddyb eller dypt under land-overflaten forutsetter svært presise modeller for dannelsen av en malm/mineral forekomst. En god modell beskriver forekomstens genese, bergartsassosiasjoner, geometri og geofysiske signatur m.m.

Geofysiske metoder baseres blant annet på de magnetiske, elektriske og akustiske egenskaper av malmmineraler og det assosierte mineralselskap, og er imperative for at kunne "se" en potensiell forekomst på stort dyp. Man må samle inn detaljkunnskap om de enkelte mineralers geofysiske uttrykk og forstå egenskapene på både nanoskala og atomært nivå. Summen av de geofysiske uttrykk, for eksempel magnetiske signaler, av økonomiske mineraler, malmer, assosierte mineraler og bergartsmasser bestemmer hvilken geofysisk signatur som forventes i regionale undersøkelser på bakken, fra helikopter og satellitter.

Gode genesemodeller bygger blant annet på detaljert viten om mineralselskapets termodynamiske egenskaper og dermed det trykk, temperatur, pH, Eh etc. som optimaliserer dannelsen av en økonomisk malmforekomst. I tillegg er visse tidsepoker viktigere enn andre for

dannelsen av en forekomst, og mange forekomster oppgraderes (eller destrueres) i forbindelse med metamorfose og deformasjon i orogene hendelser. Forutsetningen for at avgrense et område der malmdannende prosesser er sannsynlige, er at man har størst mulig viten om de geologiske forutsetninger for økonomiske malmdannende prosesser. Her er det særskilt viktig at nye geofysiske metoder utvikles i tandem med økt geologisk viten om malmens forekomstmåte og blir brukt i langt større grad enn det er tilfellet i dag.

3.2.4 Avansert mineral karakterisering

All forståelse av en geologisk ressurs forutsetter en forståelse av mineralene som inneholder økonomisk attraktive metaller og/eller *utgjør* den økonomiske ressursen *per se*. Med andre ord, om vi ikke forstår dannelsen av økonomiske mineraler og det assosierte mineralselskap, vet vi lite om forekomstens dannelse så vel som stabilitet og risikomomenter knyttet til overskuddsmineralene man må deponere i mangfoldige generasjoner. For å forstå et mineral, dets økonomiske potensiale og miljømessige risiki må man kjenne dets kjemi, atomgitterstruktur og termodynamiske stabilitetsforhold.

Gjennom mineral karakterisering og forståelse for dannelse og utvikling av ulike mineralforekomster, kan det etableres letemodeller for tilsvarende forekomster. Datering av mineraler og bestemmelse av sporelementsammensetning m.m. hjelper til at spisse genesemodeller så vel som at dokumentere forurensende grunnstoffer der må tas hånd om gjennom oppredning og deponering.

Til forskjell fra syntetiske materialer, har mineral- og malmføremøster arvet sine spesifikasjoner etter forholdene under den geologiske dannelsen. En grundig, avansert mineral karakterisering er viktig for å kunne beskrive de prosessene som ligger bak dannelse (avsetning) og videre utvikling av en mineralforekomst. Denne forståelsen vil senere kunne benyttes for å finne andre områder med geologiske forutsetninger for å kunne inneholde tilsvarende mineralforekomster. Videre vil forståelsen av mineralogiske og teksturelle egenskaper hos forekomster bidra til å estimere resultater av oppredningsprosesser hvor målet er å produsere mineralkonsentrater med høyest mulig utbytte og/eller gehalt.

Prosessmineralogi er en egen retning innen mineral karakterisering som er viktig for å utvikle forståelsen for hvordan ulike mineral- og forekomstegenskaper som er avgjørende for responsen gjennom oppredningsverket. Mineralogi, mineralteksturer, mineralkjemi og frimaling er viktig for resultatet av oppredningen og muligheten til å produsere konsentrater med riktig gehalt og for å forstå utbyttet fra en mineralforekomst.

3.3 Område B - Fremtidens mineralproduksjon

3.3.1 Formål og omfang

Økt mineralproduksjon er en forutsetning for det grønne skiftet og et bærekraftig samfunn. Samtidig er produksjon av mineralråstoffer energi- og arealkrevende og kan medføre en betydelig miljøbelastning. Utvinning av ikke-fornybare ressurser medfører dessuten et særskilt ansvar. En rekke forskningsutfordringer må løses for å bidra til at fremtidens mineralproduksjon blir så trygg, miljøvennlig og samfunnsøkonomisk som mulig.

Forskningsområdet omfatter studiet av samtlige produksjonsprosesser langs verdikjeden fra driftsplanlegging og uttak (gruvedrift) til oppredning og videreforedling gjennom mineralteknisk prosessering av mineralkonsentrater. Dette inkluderer kompetanse og systemer for optimalisering på tvers av enhetsoperasjonene i produksjonsprosessen (geometallurgi), samt for vedlikehold, risikostyring, automasjon og digitalisering. Samtidig står miljøaspektene sentralt. Kompetansen innen mineralproduksjon, spesielt oppredning, er også en forutsetning for å kunne løse flere av forskningsutfordringene innen de strategiske forskningsområdene «Mineraler i sirkulær økonomi» og «Marine mineralressurser»

3.3.2 Uttak (gruvedrift) og tilslagsproduksjon

Høy produktivitet og lave driftskostnader er helt avgjørende for kostnadseffektiv uttak av mineralressurser, uansett om uttaket skjer i dagbrudd eller under jord. Driften må være basert på målet om en mest mulig optimal utnyttelse av forekomsten samtidig som det må finnes gode løsninger for både arbeidsmiljø og ytre miljø. Utfordringene øker for forekomster på store dyp eller med kompleks geometri. Det bør derfor utvikles mer effektive og miljøvennlige brytningsmetoder, hvilket forutsetter bedre forutsigbarhet av bergtekniske parametere og ny kunnskap innen deformasjonsovervåkning, sikringsmetoder og håndtering av vann. Her spiller bergmekanikk en avgjørende rolle. I tillegg ligger det potensielle gevinster i videreutvikling av tilbakefyllingsløsninger og i å ta hensyn til mulighetene for sam- eller etterbruk av berørte areal og volum under planlegging av uttaksløsning og driftsmetoder. Foruten de tekniske utfordringene forbundet med slike konsepter må man også i større grad basere disse på mer presise kost-nytte vurderinger.

Produksjon av tilslagsmaterialer for betongkonstruksjoner, bygninger, veinett og annen infrastruktur står for en vesentlig del av mineralnæringens verdiskapning. Tilslagsmaterialer er lavt prisede produkter der produksjons- og transportkostnader er kritiske faktorer for lønnsom drift. Volumet av egnede pukk- og grusforekomster i nærheten av de store befolkningssentrene avtar raskt, hvilket fører til et økende transportbehov, trafikkbelastning og miljøpåvirkning. Det bør derfor utvikles konsepter som i større grad gjør det mulig å utnytte lokale forekomster eller overskuddsmasser fra tunnel- og anleggsarbeid. Dette vil kunne inkludere utvikling av lønnsomme underjordskonsepter i områder med potensielle arealkonflikter, men også økt fokus på sammenhengen mellom alternative produksjonsprosesser og produktenes materialegenskaper sett i forhold til nødvendig funksjonalitet.

For at mineralnæringen skal kunne bli mer presis i vurdering av forekomstenes økonomiske potensial kreves det også videreutvikling av metoder for planlegging og design av uttak, simulering av produksjon, estimering og klassifisering av ressurser, og økonomisk modellering inkludert risikovurdering og forvaltning av data. Optimal utnyttelse av en mineralforekomst krever et helhetsperspektiv i både tid og rom.

Digitalisering og automatisering spiller en stadig større rolle innen moderne gruvedrift. Metodikk og verktøy for gruvemåling har lenge vært digitalisert, og utviklingen av dronebaserte måleteknologi systemer bidrar til mer effektiv datainnsamling. Arbeidsoperasjonene ved drift kan også i økende grad automatiseres, og bruk av autonome kjøretøy og produksjonsenheter vil kunne bidra til reduserte driftskostnader og, ikke minst, sikrere arbeidsmiljø og enklere logistikk. Dette vil bli spesielt viktig ved drift på forekomster på store dyp eller med utfordrende bergtekniske egenskaper. I tillegg

til videre utvikling av selve teknologien bør det også gjøres et arbeid for å kvantifisere det økonomiske og sikkerhetsmessige potensialet de teknologiske løsningene representerer.

3.3.3 Systemteknikk, sikkerhet og vedlikehold

I økt digitalisering og automatisering ligger også et potensial for økt effektivitet og høyere driftssikkerhet. Tilgang på data fra stadig mer avanserte systemer for tilstandsovervåkning, kan brukes til å optimalisere planer og gjennomføring av påkrevd vedlikehold. Modeller som kan forespeile utvikling av feil blir viktigere slik at uforutsette driftsavbrudd kan reduseres. Samtidig vil nye måter å operere på kunne introdusere ny risiko for skade på spesielt miljø, og det er viktig å utvikle strategier for å avdekke denne risikoen og identifisere risikoreducerende tiltak. Automatiske systemer installert for å overvåke og respondere på farlige hendelser vil være viktig for å hindre eskalering av hendelser, og nye filosofier må utvikles – gjerne med inspirasjon fra prosessindustrien og undervannsteknologi.

Potensialet ny teknologi gir i form av økt effektivitet og høyere utvinning lar seg vanskelig å utnytte fullt dersom en mangler overordnede prosesser for integrering av disipliner og for å spesifisere krav til teknologien utfra et livssyklusperspektiv. Et viktig startpunkt er å identifisere overordnede krav som er knyttet eksempelvis til bærekraftighet, oppetid, og sikkerhet, etc., og hvordan ulike disipliner må koordinere sine aktiviteter for å oppnå disse innenfor rammer av kostnader og ressurser. Krav som gjelder spesielle faser slik som installasjon, oppstart, nedkjøring, intervensjon, og nødsituasjon må defineres. Implementering av systemteknikk i betydning «systems engineering» vil derfor være sentralt for å ivareta en sikker og effektiv implementasjon av teknologi og samhandlingsformer.

3.3.4 Prosessering (oppredning)

Knusing og nedmaling til separasjonsfinhet representerer som regel den klart største energikostnaden i en oppredningsprosess. Dagens konvensjonelle teknologi er lite energieffektiv, og selv en beskjeden forbedring av virkningsgraden vil ha stor praktisk og økonomisk betydning. Utviklingen går i retning av større utstyrsenheter og bruk av autogenmaling der dette er mulig. Samtidig blir både høytrykks valsemøller (HPGR) og røreverksmøller tatt i bruk som alternativ til trommelmøller i stadig større grad. I tillegg til konvensjonell mekanisk knusing er også elektrisk fragmentering (high voltage puls fragmentation) under utvikling. Teknologien gjør bruk av korte strømpulser med høy spenning for å indusere sjokkbølger i materiale som skal knuses og har potensiale for å kunne gi langt bedre frimaling og redusert produksjon av problematisk finstoff. Andre nyvinninger inkluderer utvikling av vibrasjons-, resonansknusing, samt bruk av mikrobølger og ultralyd. Parallelt foregår det en inkrementell forbedring av konvensjonell teknologi. Utvikling av optimale maleløsninger krever bedre forståelse av råstoffspesifikk malerespons, nye tekniske løsninger for bedre frimaling og energieffektivitet, samt utvikling av flytskjema for mer helhetlig integrasjon. Ved bruk av ny teknologi (f.eks. elektrisk fragmentering) er det også viktig å forstå hvordan maleproduktet vil respondere på den etterfølgende separasjonsprosessen.

Behovet for å utnytte stadig mer komplekse, lav-gehalt, eller finkornige malmer og råstoffer medfører betydelige utfordringer innen mineralseparasjon. På grunn av sin generelle anvendbarhet og effektivitet i det fine kornstørrelsesområdet er det sannsynlig at flotasjon vil være det viktigste verktøyet for å møte disse utfordringene. Bruk av kjemikalier representerer den største ulempen ved flotasjon som separeringsmetode, både med hensyn på miljø og prosesseringskostnader. Det er

således behov for å utvikle mer effektive og miljøvennlige flotasjonskjemikalier, samt spesifikke løsninger for nye råstoffstyper (f.eks. sjeldne jordartsmetaller eller delvis oksiderte/amorfe marine malmer). Utvikling av samlere med flere aktive overflategrupper som alle må passe inn i strukturen til mineralet som skal floterer fremstår som et lovende konsept for mer spesifikke flotasjon med lavere kjemikalieforbruk. Biologisk nedbrytbare kjemikalier basert på strukturer som kan dannes ved mikrobiologisk syntese kan også redusere negative effekter på ytre miljø. Det ligger også et betydelig potensiale i utvikling av celler med hydrodynamiske forhold tilpasset svært fine partikler, samt i bruk av adsorberte nanopartikler for modifisering av mineraloverflater.

Mer kompliserte råstoffer vil i stadig større grad drive utviklingen mot mer kompliserte prosesser der flere separasjonsprinsipp kombineres. Det er fortsatt potensial for videreutvikling av magnetseparering, tyngkraftseparering og løsninger for å kombinere disse. Utviklingen av optimale flytskjema vil være således være en utfordring i seg selv, og må samtidig sees i lys av utviklingen innen fragmenteringsteknologi.

Utvikling innen sensorbasert sortering (sortering basert på form, farge, egenvekt, kjemi etc.) har resultert i teknologiske løsninger med høy skilleskarphet og stadig høyere kapasitet. Teknologien er en av bærebjelkene innen resirkulering av råmaterialer fra sekundære kilder, men har også et stort uforløst potensial innen prosessering av primære mineralråstoffer. Forseparering basert på sensorbasert sortering kan gi en betydelig reduksjon i energikostnader, kjemikalieforbruk og avgangsproduksjon i den etterfølgende prosessen.

3.3.5 Videreforedling

Grenseflaten mellom mineralindustri og industriene som videreforedler mineralkonsentratene utgjør en spennende innovasjonsarena med et stort utnyttet potensial. Enkelte problemstillinger faller utenfor det strategiske virkeområdet for «Bærekraftig utvinning av mineralressurser», men det er naturlig å inkludere forskningsutfordringer der mineralteknikk (oppredning) står sentralt.

Med utgangspunkt i mekanisk maleteknologi skjer det nå en rask utvikling innen produksjon av innovative funksjonelle mineralbaserte materialer. Dette inkluderer blant annet skreddersydde materialer for batteri-, sensor- og halvlederteknologi. Flere av disse er basert på såkalt top-down produksjon av sub-mikron materialer (inkl. nanomaterialer) ved hjelp av høyintensitets nedmaling. Teknologien gjør det mulig å manipulere kornstørrelsesfordeling, bulk- og overflatestruktur, agglomereringsgrad og kjemi. Her må sammenhengene mellom male- og produktparametere kartlegges bedre. Det samme er tilfelle for sammenhengen mellom produktenes fysiokjemiske og funksjonelle egenskaper. Oppskalering og implementering av teknologien representerer også en vesentlig utfordring.

Høyintensitets nedmaling kan også benyttes til mekanisk aktivering av mineralkonsentrater for å øke reaktiviteten i etterfølgende (eller samtidige) kjemiske og metallurgiske prosesser, og til mekanisk legering (kaldsveising) innen pulverteknologi. Sammen med utvikling av nye løsninger for filtrering og agglomerering (pelletisering og brikketering) utgjør dette teknologi som kan bidra til økt effektivitet og verdiskapning innen pyro- og hydrometallurgisk prosessindustri ved å sørge for en mer optimal prosesspågang. Fysisk mineral prosessering bør også i større grad integreres i de respektive metallurgiske prosessene for å bidra til mer effektiv håndtering og gjenvinning av mellomprodukter og prosessavfall.

3.3.6 Geometallurgi

Geometallurgi er et relativt nytt konsept innen mineralindustrien og er i dag mest brukt ved drift på metalliske malmer. Ved å kartlegge variasjoner i in-situ egenskapene til forekomsten (f.eks. modal, mineralogi, mineraltekstur, hardhet og malbarhet) og hvordan disse påvirker kapasitet, utbytte og produktkvalitet i oppredningsprosessen er det mulig å lage en mer presis 3D økonomisk blokkmodell som kan benyttes til å forutse driftsvariasjoner, optimalisere det økonomiske utbyttet og redusere miljøpåvirkningene.

Geometallurgi som konseptet har også et stort potensial med hensyn på drift på industrimineraler, men ikke alle aspektene lar seg overføre direkte på grunn av grunnleggende forskjeller i verdisetting, prosessering og kvalitetsstyring mellom de to industrisektorene. Implementering av geometallurgi for industrimineraler krever derfor forskning innen prosessmineralogi, ressursmodellering, geostatistikk og produksjonsplanlegging. Forskningen bør gjennomføres i nært samarbeid med norske industrimineralprodusenter og internasjonale forskningsmiljøer og bygge videre på dagens driftspraksis og erfaringsgrunnlag.

3.3.7 Miljøaspekter ved produksjonsprosessen

Bærekraftig mineralutvinning betinger at fokus på indre og ytre miljø integreres i alle deler av verdikjeden i tillegg til at man ser hele utvinningsprosessen i et helhetsperspektiv. Med hensyn til energiforbruk, utnyttingsgrad og produksjon av overskuddsmasser vil mest mulig effektiv drift utgjøre det kanskje aller viktigste miljøtiltaket. Miljøaspektene ved mineralutvinning vil derfor være en integrert del av de fleste forskningsutfordringene innen forskningsområde B, C og D.

Mineralproduksjon gir et eget sett av utfordringer med hensyn på arbeidsmiljø. Disse krever kompetanse innen yrkesmedisin koblet med kunnskap om de spesifikke arbeidsoperasjonene. Det er behov for mer kunnskap for å kunne vurdere og kommunisere opplevd og reell risiko (f.eks. frykt for stråling, nanopartikler eller silika), og for å bidra til at de riktige tiltakene blir iverksatt for å sikre et trygt arbeidsmiljø.

Avgangsdeponering utgjør en av de største miljøutfordringene ved mineralproduksjon. Problemstillingen er sammensatt, krever svært tverrfaglig kompetanse og kan angripes fra flere vinkler. Fagmiljøene ved IV-fakultetet vil i utgangspunktet kunne bidra med prosesskunnskap, partikkelteknikk og materialkarakterisering, mens forskning på de biologiske og økologiske effektene av avgangsdeponeringen krever kompetansebidrag fra eksterne samarbeidspartnere. Avgangsforbedring (oppredning) og alternativ bruk av avgangsmassene vil også være viktige tiltak for å redusere miljøbelastningen. Disse forskningsutfordringene er beskrevet under forskningsområde C – Mineraler i sirkulær økonomi.

3.4 Område C – Mineraler i sirkulær økonomi

3.4.1 Formål og omfang

Global befolkningsvekst og økt grad av industrialisering gir et stadig voksende behov for mineralressurser. Økt utvinning av metaller med unike egenskaper er en også en forutsetning for å kunne gjennomføre det grønne skiftet. Samtidig er produksjon og bruk av mineralråstoffer energi- og arealkrevende og kan medføre en betydelig miljøbelastning. Utvinning av ikke-fornybare ressurser

medfører dessuten et særskilt ansvar. Bærekraftig samfunnsutvikling forutsetter derfor at mineralressurser i større grad blir del av en sirkulær økonomi.

For å utvikle strategier for bærekraftig bruk av mineralressurser er det nødvendige å forstå hele kretsløp av mineralressurser, som inkluderer uttak (gruvedrift), prosessering (oppredning), videreføring (konsentratbehandling), produksjon og fabrikasjon av produkter, bruk av produkter, avfallshåndtering og gjenvinning («urban mining»). Dette krever kvantitativ systemanalyse for å forstå strømmer og lager av materialer og energi, samt modell- og scenarioutvikling for å analysere viktige utviklingsdrivere, forutse endringer i ressursbruk og ressurstilgang fra sekundære kilder og for evaluering av ulike strategier. Forskningsområdet omfatter også utvikling av tekniske løsninger for resirkulering og avgangsforbedring, utfordringer knyttet til bruk og håndtering av overskuddsmasser og utvikling av mineralbaserte renseløsninger.

3.4.2 Systemkunnskap (industriell økologi)

Alle prosessene i kretsløpet til en gitt mineralressurs er energi- og arealkrevende og medfører utslipp og forskjellige miljøkonsekvenser. Forståelsen av disse kretsløpene hviler på to aspekter:

- a) Kvantitative systemanalyse. Hensikten er å oppnå en bedre forståelse av strømmer og lager av materialer og energi forbundet med utvinning og bruk av mineralressurser. Kvantifisering krever at det gjøres et arbeid med harmonisering av forskjellige datakilder, samt utvikling av tilnærminger for bedre estimering. Systemanalyse krever også utvikling av hensiktsmessige systemdefinisjoner.
- b) Modellering og scenarioutvikling. Hensikten er å analysere viktige utviklingsdrivere (befolkningsvekst, forbruksmønstre, teknologier...) for å kunne predikere endringer i bruk av ressurser og i tilbud av sekundære ressurser under forskjellige rammebetingelser. Scenarioutvikling kan benyttes for å evaluere ulike strategier og for å identifisere tilsiktete og utilsiktete konsekvenser (synergipotensialer/målkonflikter).

3.4.3 Bruk av overskuddsmasser

Mineralproduksjon sett under ett resulterer i store volum overskuddsmasser, både fra uttak (gråberg) og den etterfølgende oppredningsprosessen (avgang). Mengde og egenskaper varierer avhengig av forekomsttype. Det meste av overskuddsmassene går i dag til deponi, og de enkelte mineralprodusentene er underlagt et lovfestet krav om å arbeide aktivt for å redusere mengden som må deponeres. Målet er å oppnå bedre ressursutnyttelse og mindre belastning på ytre miljø. Dette representerer kanskje mineralindustriens største utfordring.

Det er flere årsaker til at overskuddsmasser er vanskelige å utnytte. Volumene som produseres er ofte langt større enn det markedet for én enkel applikasjon kan benytte. Massene er heller ikke rene mineralkonsentrater, og ofte ville videre oppredning være nødvendig for å tilfredsstille de potensielle kundenes spesifikasjoner. I tillegg vil den forutgående oppredningsprosessen legge begrensninger på mulighetene for bruk og for videre prosessering (nedmalingsgrad, bruk av prosesskemikalier). Mange potensielle anvendelser representerer lavpris-produkter. Beliggenhet og logistikk blir derfor viktig. Økt utnyttelse av overskuddsmasser krever fokus på produktutvikling der man samtidig gjør en kritisk vurdering av kravspesifikasjonene som stilles til ulike anvendelser. Avgangsforbedring (dvs.

prosessering av avgang for å fjerne problematiske fraksjoner eller bestanddeler) vil kunne bidra til økt utnyttelse, og kan gi både lavere kostnader og mindre miljøpåvirkning ved deponering.

Det er ikke gitt at all anvendelse av overskuddsmasser er formålstjenlig, og en null-visjon med hensyn på deponering er både urealistisk og lite miljøvennlig. Bruk og gjenvinning av overskuddsmasser medfører energikostnader, og vil i tillegg kunne gi økt kjemikaliebehov, økt transportbehov og en økning i utslipp av klimagasser. Produkter basert på overskuddsmasser kan også medføre en kostnad i form av redusert funksjonalitet (f.eks. solceller med lavere effektivitet). Det er derfor behov for kost-nytte analyser for å kunne definere optimal utnyttelse av overskuddsmassene.

3.4.4 Utvikling av mineralbaserte renseløsninger

Mineralbaserte renseløsninger består av mineralprodukter med evne til å nøytralisere, adsorbere eller på annen måte immobilisere miljøgifter i sigevann fra deponier, forurensede sedimenter, gruveavrenning eller industriavløp. De teknologiske løsningene omfatter tildekking og stabilisering av forurensede masser, geokjemiske deponibarrierer, infiltrasjonsanlegg og gjennomstrømningsfiltre. Med utgangspunkt i mineralenes fysiske og kjemiske egenskaper er det mulig å konstruere løsninger som er tilpasset ulike typer forurensning. NTNU har blant annet bidratt til utvikling av olivinbaserte tungmetalladsorbenter som benyttes til immobilisering av kobber i Forsvarets skytefelt. Mineralbaserte renseløsninger har et betydelig potensial, også for å løse mineralindustriens egne utslippsutfordringer, og representerer en av de få «high tonnage»-anvendelsene av finkornet oppredningsavgang.

3.5 Område D – Marine mineralressurser

3.5.1 Formål og omfang

Marine mineralressurser har de siste årene fått mye fokus internasjonalt og nasjonalt med store aktører, spesielt innenfor EU, som satser på mineralutvinning til havs. Marine mineralressurser har stort verdiskapingspotensial og representerer en betydelig kilde til strategisk viktige metaller. Mye av fokuset internasjonalt er rettet mot de store ressursene av polymetalliske mangannoduler som finnes i de store verdenshavene på havdyp mellom 4000 og 6000 meter, men det blir også stadig større fokus på *seafloor massive sulphide* (SMS) -forekomster knyttet til undersjøiske hydrotermale skorsteiner. Sistnevnte kategori er spesielt interessant sett med norske øyne.

Forskningsområdet omfatter verdikjeden knyttet til utvinning av marine mineralforekomster. Dette inkluderer leting etter karakterisering av marine mineralforekomster og samtlige produksjonsprosesser langs verdikjeden fra driftsplanlegging og uttak til oppredning og videreforedling gjennom mineralteknisk prosessering av mineralkonsentrater. Her vil mange av problemstillingene være nært knyttet opp mot forskningsområdene «geologiske råstoffer for neste generasjon» og «fremtidens mineralproduksjon», men det vil være spesielle utfordringer knyttet til faktum at aktivitetene skal være knyttet til aktiviteter i utfordrende eller *ekstremt* miljø (forekomster langt til havs, i et arktisk klima eller på store havdyp). Dette vil kreve utvikling av ny teknologi, blant annet med hensyn på forseparering på havbunnen og transport av malm til overflaten. Kompetanse innenfor vedlikehold, risikostyring, automasjon og digitalisering vil også stå sentralt. I tillegg må det fokuseres på miljøaspektene ved utvinning av marine mineralressurser. Det foreligger kun svært

begrenset kunnskap om den forventede effekten på økosystem og fysisk miljø. Sikring av et miljømessig forsvarlig uttak er en forutsetning for å kunne utnytte marine mineralressurser.

3.5.2 Potensialet innenfor norsk økonomisk sone

Innenfor utvidet norsk økonomisk sone dannes slike forekomster i forbindelse med den arktiske midthavsryggen (AMOR) en spredningssone som strekker seg mellom Jan Mayen og Svalbard i form av Mohns- og Knipovich-ryggene. Potensialet for uopptagede mineralressurser som kan finnes innenfor norsk økonomisk sone i tilknytning til AMOR er estimert av Ellefmo et al. ^[10].

Forskningsutfordringer knyttet til denne type mineralforekomster har mange likheter med problemstillinger for landbaserte mineralforekomster, bortsett fra at leting og uttak av forekomstene og til en viss grad oppredning og logistikk vil måtte skje i marint miljø, til dels på ekstreme vandyp. De dypeste kjente hydrotermale skorsteinene forekommer ned mot 3500 m havdyp. De etterfølgende avsnittene vil derfor kun berøre problemstillinger som anses som særegne for marine mineraler.

3.5.3 Leting (geofysikk/ressursgeologi/mineralkarakterisering)

Leting etter marine mineraler medfører problemstillinger som vil være i grenselandet (eller en kombinasjon av) leting etter landbaserte mineralforekomster og leting etter olje og gassressurser på sokkelen. Dette skyldes at malmens egenskaper ofte vil kunne sammenlignes med landbaserte metallmalm-forekomster. Samtidig vil forekomsten finnes på store havdyp. Ny teknologi vil kunne medføre videreutvikling av autonome farkoster og deres evne til å jobbe i klynger. Disse farkostene må utstyres med nye og forbedrede detektorer for måling av bla. magnetiske, gravitative og elektriske egenskaper.

Det vil også være aktuelt å tilpasse dagens geofysiske metoder brukt på olje og gassressurser for bruk på marine mineraler. Ressurspotensial og mineralkarakterisering er stort sett dekket i aktuelle avsnitt i beskrivelsen av område A (Geologiske råstoffer for neste generasjon), men metodikken må tilpasses de spesielle egenskapene til marine mineralforekomster.

3.5.4 Uttak av marine mineraler

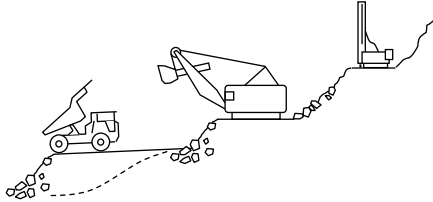
Uttak av marine mineraler på store (i enkelte tilfeller ekstreme) havdyp, vil være knyttet til valg av teknologi og framgangsmåte for uttak. Det ser ut til å ha blitt satt en standard for at uttak på store havdyp skal skje med tunge maskiner som fjernstyres fra overflaten. Dette er teknologi som stammer fra andre sub-sea operasjoner og trenger stor grad av videreutvikling for å tilpasses nye bruksområder og i mange tilfeller større havdyp. Det vil i utviklingen av denne type forekomster også bli nødvendig å se på metoder som i dag brukes på landbaserte forekomster for å vurdere om tilpasning av disse metoden kan være løsning for uttak av enkelte typer forekomster på havbunnen, blant annet basert på forekomstenes lokalitet (havadyp etc.), geometri, mineralogiske egenskaper og miljøeffekter knyttet til uttaket. Under uttak vil også transport av malm til overflaten og løsninger for dette i form av blant annet riser-teknologi være en viktig problemstilling.

I tillegg til utvikling og evaluering av spesifikke tekniske løsninger vil vedlikehold, risikostyring, automasjon og digitalisering stå sentralt. Dette er nærmere beskrevet i avsnitt 3.3.3.

3.5.5 Oppredning av marine mineraler

Oppredning av marine mineraler vil i utgangspunktet basere seg på teknologien som benyttes for landbaserte forekomster, men vil trolig måtte ta hensyn til at marine sulfidmalmer vil kunne være delvis oksiderte og med innsalg av amorfe faser. Utvikling av spesifikke flotasjonsløsninger står sentralt. De langt høyere gehaltene som finnes i marine malmer gjør det også interessant å se på direkte hydrometallurgisk prosessering. Her vil mekanisk aktivering eller kombinert fragmentering og utlutning bidra til lavere energi- og kjemikalieforbruk. Samtidig er det interessant å utvikle metoder som kan gi en viss grad av forseparering på havbunnen for å redusere transportbehov av råmalm til havoverflaten. I råmalmen vil de verdifulle mineralene vil typisk utgjøre 1-10% av den totale massen. Resten vil i utgangspunktet måtte deponeres. Forseparering på havbunnen og separering på fartøy eller installasjoner på overflaten vil også redusere behovet for transport til land og muliggjør bruk av on-site deponering av overskuddsmasser.

4



KONSEKVENSER OG PREMISER

4.1 Faglige og strategiske rammer

Arbeidsgruppas forslag til strategiske forskningsområder ivaretar NTNUs nasjonale ansvar for bergfaglig kompetanse samtidig som det representerer et utvidet verdikjedekonseptet med nye muligheter for innovasjon og forskningssamarbeid. De fire strategiske forskningsområdene bygger videre på de strategiske linjene som ble trukket opp i fakultetets opprinnelige fagplan (2012) og representerer således ingen grunnleggende endring i fokus. I fakultetet reviderte strategi har imidlertid «bærekraftig mineralutvinning» nå blitt løftet opp fra å være ett av 16 forskningsområder til å representere ett av fem samfunns mål. I dette ligger det en klar forpliktelse, og det forutsettes at satsingen følges opp med tilstrekkelige strategiske ressurser.

Arbeidsgruppas bidrag til fakultetets forskningskart tegner et tilnærmet fullstendig bilde av IV-fakultetets forskningsaktivitet innen bærekraftig utvinning av mineralressurser. De fire strategiske forskningsområdene favner alle de eksisterende fagområdene ved IV-fakultetet som er direkte involvert i verdikjeden fra mineralforekomst til foredlet råvare. Samtidig identifiseres roller og behov for komplementære fagmiljøer.

4.2 Undervisning

Arbeidsgruppas forslag til strategiske forskningsområder favner det meste av den utvidede verdikjeden innen utvinning av mineralressurser og gir således gode muligheter for forskningsbasert undervisning.

Undervisningen innen de tradisjonelle bergfagene ved NTNU har tradisjon for nært samarbeid med bergindustrien om prosjekt- og masteroppgaver, ekskursjoner, undervisningsstøtte, gjesteforelesninger og rekrutteringsarbeid. Dette har blitt gjennomført delvis gjennom næringslivsringen *Bergringen* og delvis ved direkte kontakt mot enkeltbedrifter. Det er avgjørende for både rekruttering og studiekvalitet at dette samarbeidet videreføres.

NTNU utdanner i dag kandidater med kompetanse på utvinning av mineralressurser fra primært to studieprogram ved IGP; *Tekniske geofag* (5-årig master/sivilingeniør) og *Geologi* (2-årig masterprogram). I tillegg kommer 3-årig *bachelor i geologi* som hovedsakelig fungerer som rekrutteringsbase for det etterfølgende masterprogrammet. Studieprogrammene har over tid hatt gode søkertall og relativt høye opptaksgrenser. Andelen av kandidatene som spesialisere seg mot

mineralutvinning er imidlertid lav, og antall uteksaminerte bergingeniører og ressursgeologer har i perioder ligget noe under næringens behov.

Undervisning inne mineralutvinning krever utstrakt bruk av felt- og laboratoriearbeid, og med begrenset kandidatproduksjon blir enhetskostnadene nødvendigvis høye. Fra et samfunnsperspektiv er det imidlertid ikke et mål å utdanne flest mulig kandidater, men *riktig antall* kandidater med riktig (og nødvendig) kompetanse. Studieevalueringen som ble gjennomført gjennom Fremtidens bergstudium ^[17] og senere behovsundersøkelser viser at studiene er relativt godt tilpasset samfunnets behov, men at det er nødvendig med konstant fokus på rekruttering.

Fakultetets reviderte forskningsstrategi vil bidra til å synliggjøre bergstudiene, fremmer mulighetene for tverrfaglig samarbeid på tvers av faggruppene, institutt og fakultet, og legger forholdene til rette for internasjonalt studiesamarbeid. Verdikjedetenkingen og profilen som ligger til grunn for dagens studieprogram har gjort IGP til en ettertraktet samarbeidspartner, og det har blitt ført diskusjoner om utdanningssamarbeid med blant annet Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Luleå Tekniske Universitet (LTU) og RWTH Aachen. Ved IGP bør det derfor være gode muligheter for å opprette et nytt internasjonalt 2-årig masterprogram innen mineralproduksjon basert på eksisterende emneportefølje og programstruktur. Et slikt program vil også kunne utgjøre et sterkt bidrag fra NTNU til EUs Knowledge and Innovation Community (KIC) innen Raw Materials.

I dag er det lite fokus på problemstillinger knyttet til driftssikkerhet og risiko forbundet med mineralutvinning. Utvikling av nye undervisningsmoduler innenfor eksisterende fag på risikoanalyse, driftssikkerhet og risiko-basert design og drift av sikkerhetskritiske systemer vil være en naturlig konsekvens av den økende aktiviteten som forventes innen utvinning av mineralressurser.

4.3 Vitenskapelig bemanning

Som eneste universitet i Norge som tilbyr master- og doktorgradsutdanning innen mineralproduksjon har NTNU et særskilt nasjonalt ansvar for å bevare, utvikle, utnytte og kommunisere denne kompetansen i samfunnet. Dette medfører en rekke oppgaver utover forskning og undervisning og inkluderer blant annet arbeid i Norsk Bergindustri fagkomiteer, utredningsarbeid for offentlige myndigheter og representasjon av Norge på EUs teknologi- og innovasjonsplattformer for råmaterialer (henholdsvis ETP-SRM og EIP-RM). Fagmiljøet innen mineralproduksjon er imidlertid lavt bemannet med kun én vitenskapelig ansatt innen hvert spesifikke fagområde. Da man i tillegg har lykkes med flere store BiA-søknader til NFR har man fått en presset situasjon med svært lite kapasitet til ytterligere utvikling. Faggruppe for Geologi er i en lignende situasjon. Faggruppa skal dekke en rekke fagfelt og har i tillegg stor undervisningsbelastning. Utnyttelse av fremtidens mineralforekomster, enten disse finnes på land eller til havs, vil kreve en styrking av bemanning i begge disse gruppene.

IGP har i dag en betydelig kontaktflate mot EU innen råmaterialer, og står for en betydelig del av NTNUs politiske og strategiske engasjement. En eventuell deltagelse i EUs Knowledge and Innovation Community (KIC) innen Raw Materials vil kreve at de berørte fagmiljøene tilføres reelle ressurser både i søknads- og gjennomføringsfasen.

Flere av de foreslåtte forskningsområdene vil kreve økt bemanning dersom forskningsaktiviteten skal kunne utvikles og videreføres. Dette gjelder blant annet for forskning innen produksjon og bruk av

tilslagsmaterialer og forskning innen bransjespesifikk HMS. I dag dekkes disse områdene av hver sin industrifinansierte 20%-stilling, og med emneansvar for hvert sitt studieplanfestede emne blir det i utgangspunktet svært begrenset tid til forskning. Begge fagområdene er imidlertid sentrale for bærekraftig utvinning av mineralressurser. Flere viktige kompetanseområder dekkes i dag kun av midlertidige stillinger med 20% stillingsandel. En utvidelse til 100%-stillinger innen tilslagsproduksjon og innen HMS vil kunne gi området et stort løft. Det er også behov for å styrke bemanningen innen mineralteknikk, da mye av kapasiteten innen dette fagområdet i dag benyttes til ledelse, administrasjon og strategiarbeid.

Bergindustrien har gjennom en årrekke bidratt til finansiering av midlertidige vitenskapelige stillinger ved NTNU (og NTH) og har således vært en avgjørende faktor for at det har vært mulig å opprettholde studier innen bergfagene. I forhold til næringens størrelse er bergindustrien en vesentlig bidragsyter, og på kort sikt er det ikke rimelig å forvente at en ytterligere styrking av bemanningssituasjonen vil kunne baseres på industrifinansiering i vesentlig grad.

Det er mye å vinne på å styrke kontaktflatene mellom de ulike faggruppene som er involvert i NTNUs forskning på mineralutvinning. Samarbeidet på marine mineralressurser mellom Faggruppe for mineralproduksjon og HMS ved IGP og Faggruppe for marine systemer ved IMT er et godt eksempel på dette. Her har bruk av SO- og TSO-stillinger akselerert forskningssamarbeidet på tvers av instituttene. Tilsvarende grep bør tas for å styrke den foreslåtte satsingen på *Fremtidens mineralproduksjon* (område B) og *Mineraler i sirkulær økonomi* (område C) ved å bygge relasjoner mellom fagmiljøet ved IGP, Faggruppe for industriell økologi ved EPT og fagmiljøet innen materialteknologi ved NT-fakultetet.

4.4 Laboratorier og infrastruktur

En satsing på «Bærekraftig utvinning av mineralressurser» forutsetter at dagens laboratoriefasiliteter styrkes med hensyn på både funksjonalitet og kapasitet. Laboratoriene utgjør i dag et betydelig konkurransefortrinn for både bidrags- og oppdragsforskning, og er en av grunnpilarene i doktorgradsutdanningen ved IGP. Flere av laboratoriene er nasjonalt unike, mens andre på enkelte område kan beskrives som verdensledende.

Laboratorier med direkte relevans for utvinning av mineralressurser inkluderer oppredningslaboratoriet, ingeniør- og bergmekanisk laboratorium, kjemisk-mineralogisk laboratorium, samt slip-, magnetometri- og mikroskopingslaboratoriene – alle ved IGP. Oppredningslaboratoriet og ingeniør- og bergmekanisk laboratorium er nasjonalt unike tunglaboratorier som stiller særskilte krav til infrastruktur. IGP har i tillegg omfattende bruk og samarbeid (medeierskap) om elektronmikroskopering og mikrosonde ved tilstøtende EM-laboratorium ved NV-fakultetet. Aktiviteten er av meget stor betydning for både undervisning og forskningsaktivitet. Siden 2015 har IGB (IGP) hatt et samarbeidssenter med NGU innen *Avansert mineral- og malmkarakterisering (CAMOC)*. Målet med dette senteret er å styrke Trondheim som nasjonalt faglig tyngdepunkt innenfor fagområdet gjennom felles satsning på Infrastruktur, forskning og undervisning (Master og PhD prosjekter).

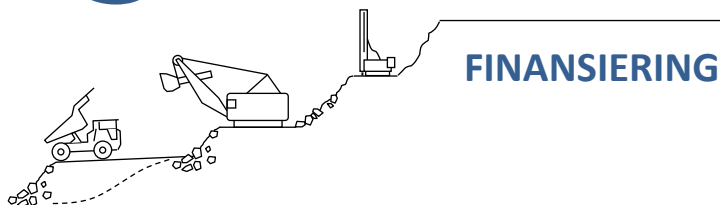
Laboratoriernes funksjon, kapasitet og utviklingspotensial er godt beskrevet i tidligere utredningsrapporter, blant annet «*Rapport fra Laborarieutvalget 2012/2013 Fakultet for*

ingeniørvitenskap og teknologi»^[18] og «NTNU-SINTEF Bedre sammen – Laboratoriesamarbeid mellom IVT-fakultet og SINTEF»^[19]. Videre er detaljerte krav til lokaler, tilgjengelighet og øvrig infrastruktur dokumentert i rapporten «Samlokalisering som følge av ny organisasjon - Det «korte» campusprosjektet. Delrapport fra IVT-fakultetet»^[20].

De samlede laboratoriene ved IGP på Gløshaugen har over flere år utviklet seg til å bli et geologisk/materialteknisk laboratoriesenter for både IGP og SINTEF Byggforsk, med nær tilknytning til (og samarbeid med) laboratoriene ved Institutt for materialteknologi ved NV-fakultetet og SINTEF Materialer og kjemi. Det har stor verdi å opprettholde disse relasjonene, da dette vil øke gjennomføringsevnen innen de fire foreslåtte strategiske satsningsområdene. Videre har «Bedre sammen»-prosessen identifisert et vesentlig potensial for videreutvikling av forskningssamarbeid mellom IGB og SINTEF.

Laboratoriene må også styrkes med hensyn til bemanning. Ved flere av laboratoriene er dette den viktigste begrensede faktoren og representerer en reell bekymring med tanke på gjennomførings- evnen. De siste årenes suksess med forskningssøknader og den påfølgende økning i forsknings- aktiviteten innen utvinning av mineralressurser har medført stort press på blant annet oppredningslaboratoriet. Dette har ført til arbeidspress og kapasitetsproblemer som krever snarlig løsning. En videre satsing på «bærekraftig utvinning av mineralressurser» vil øke belastningen ytterligere og lar seg ikke gjennomføre uten økt bemanning.

5



Forskning innen bærekraftig utvinning av mineralressurser er svært tverrfaglig, og dette gjør at en rekke ulike finansieringskilder vil være aktuelle. I dag finansieres hoveddelen av forskningen innen området ved en kombinasjon av forskningsrådsmidler, industribidrag og NTNUs egne ressurser (Institutt, fakultet og TSO), men EU-prosjekt bidrar også i økende grad.

Norges forskningsråd (NFR) vil fortsette å være den viktigste finansieringskilden i overskuelig fremtid. NFR har imidlertid ikke bransjespesifikke program eller mekanismer rettet mot mineralressurser og mineralindustri, og dette begrenser mulighetene for langsiktig strategisk satsing. I tillegg til mekanismer skreddersydd for forskningssamarbeid med mineralindustri bør det også i større grad gis tilgang til uavhengige forskningsmidler til mer risikable forskningsprosjekter med lang tidshorisont (>5 år). Dette er spesielt viktig innen områder der det forskningsresultatene er av en mer fundamental karakter eller ikke umiddelbart kan utnyttes av eksisterende industri. Forslaget om etablering av et bredt bransjeprogram for mineralressurser ble fremmet i 2012 i den såkalte Minforsk-rapporten ^[4] utarbeidet av et samlet nasjonalt fagmiljø. Selv om prosessen ikke resulterte i et eget program førte den til at mineralindustrien i større grad har utnyttet (og lykkes med) eksisterende NFR-mekanismer. I dag, fem år senere, bør forholdene ligge til rette for å relansere et revidert Minforsk-konsept.

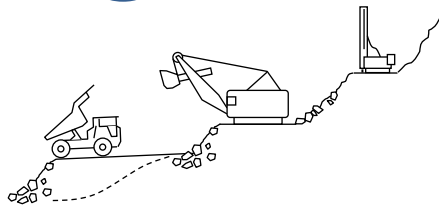
Fagmiljøet innen industriell økologi har i stor grad lykkes med å utnytte relevante EU-mekanismer, men for teknologimiljøene ved IGP representerer EU en finansieringskilde som bør utnyttes i større grad enn i dag. Deltagelse i EUs Knowledge and Innovation Community on Raw Materials (KIC Raw materials) vil kunne gi tilgang til nye finansieringsmekanismer.

Norsk bergindustri er i dag en viktig finansiell bidragsyter til forskning ved NTNU, spesielt gjennom deltagelse i innovasjons- og kompetanseprosjekter gjennom BIA-programmet. Satsing på marine mineralressurser åpner mulighetene for industrifinansiering fra nye bransjer (marin teknologi, petroleumsvirksomhet etc.). Mange av de identifiserte forskningsutfordringene vil være relevante for utnyttelse av både landbaserte og marine mineralressurser, og det bør være mulig å basere større prosjekt eller senteretableringer på bred industrifinansiering på tvers av bransje.

Mineralressurser representerer det minste av de fem overordnede satsingsområdene (samfunns-målene) i IV-fakultetets reviderte strategiplan målt i bemanning, ressurser og forskningsproduksjon. Samtidig krever søknadsarbeid store ressurser. På kort sikt bør NTNU i benytte egne midler for å

styrke dette området slik at de involverte fagmiljøene får større kapasitet og evne til å utnytte eksterne finansieringsmekanismer.

6



SAMARBEIDSPARTNERE

Norsk mineralindustri (representert ved enkeltbedrifter, bransjeforeningen og Mineralklynge Norge) utgjør den viktigste eksterne samarbeidspartneren i kraft av å være premissleverandør, forskningspartner og finansiør. Samtidig vil satsing på marine mineralressurser skape nye samarbeidsrelasjoner med petroleumsbransjen, inkludert subsea- og service- og leverandørindustri. Her er Statoil en spesielt viktig samarbeidspartner.

Blant FoU-institusjonene framstår Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Sintef (Materialer og kjemi, Byggforsk) som strategiske forbundsfeller og spesielt viktige forskningspartnere. Begge institusjonene er viktige for laboratorieutvikling og undervisning ved NTNU, og har lenge vært en naturlig samarbeidspartner ved etablering av større forskningsprosjekt.

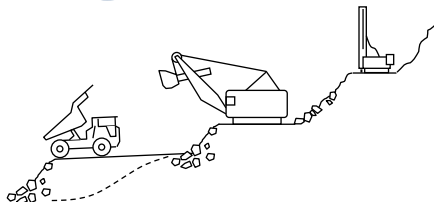
Samarbeid med Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) bidrar med komplementær kompetanse på miljøeffektene av mineralproduksjon, spesielt med hensyn på akvatiske økosystemer. Videre ligger det et vesentlig potensial i å styrke samarbeidet med Norges Geotekniske Institutt (NGI) innen både stabilitetsproblematikk og gjenvinning og håndtering av mineralske avfallsmasser. Innen utvinning av marine mineralressurser bør det bygges et sterkere samarbeid med Universitetet i Bergen, spesielt med tanke på grunnleggende geologisk forståelse og marin biologi.

Listen over internasjonale akademiske samarbeidspartnere er lang, og reflekterer tverrfaglighetene i fagmiljøene som er involvert i bærekraftig utvinning av mineralressurser. De viktigste partnerne inkluderer blant annet Luleå tekniske universitet (LTU), Bergakademiet i Freiberg (TU Freiberg), TU Delft, Universitetet i Aachen (RWTH Aachen), Århus Universitet, Texas Tech University, Yale University, Cambridge University, TU Vienna, AGH University of Science and Technology i Krakow, Universitetet i Wroclaw, UK National Oceanographic Center (NOC) og GEOMAR.

Det er også av stor strategisk betydning å knytte tettere bånd til European Institute of Innovation and Technology on Raw Materials (EIT Raw Materials) både gjennom forskningsprosjekt og nettverksarbeid. Her vil medlemskap i KIC Raw Materials være et viktig virkemiddel.

Internt ved NTNU er det viktig å styrke samarbeid med NV-fakultetet (materialteknologi, mikrobiologi, nanoteknologi og hydrometallurgi).

7



REFERANSER

- [1] «Fakultetet for ingeniørvitenskap og teknologi - Fagplan 2012-2020 - Sluttrapport – Del A - 08/06-2012». (2012). Fakultetet for ingeniørvitenskap og teknologi, NTNU, 36 sider
- [2] «Fagplan 2012 - 2020, Del: Petroleum og geofag». (2012). Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, NTNU, 12 sider
- [3] «Strategi for mineralnæringen» (2013). Publikasjonskode: K-0725 B. Nærings- og handelsdepartementet , 72 sider
- [4] «MINFORSK - Utredning av behov for nasjonal satsing på forskning for økt verdiskaping basert på mineralske ressurser». (2011), SINTEF, NTNU, NGU m.fl., 57 sider
- [5] “Norske mineralressurser 2015 – Mineralstatistikk og bergindustriberetning”. (2015). Norges geologiske undersøkelse (NGU) / Direktoratet for mineralforvaltning (DFM), 47 sider
- [6] “Mineraler for det grønne skiftet”. (2017). Norges geologiske undersøkelse (NGU), 15 sider
- [7] “Communication from the Commission to the European Parliament and the Council - The raw materials initiative : meeting our critical needs for growth and jobs in Europe {SEC(2008) 2741}”. (2008). European Commission,
- [8] “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - On the review of the list of critical raw materials for the EU and the implementation of the Raw Materials Initiative”. (2014). Ref: /* COM/2014/0297 final */ , European Commission,
- [9] «Recycling Rates of Metals: A status report”. (2011). Stock Number: DTI/1381/PA. UNEP, 48 sider
- [10] Sinding-Larsen, R. og Ellefmo, S. (2013): «Seabed massive sulphide resource assessment of undiscovered potentially recoverable Copper, Zinc, Silver, and Gold related to hydrothermal vent fields on the Mid-Atlantic ridge within the Norwegian Economic Exclusive Zone”. Institutt for geovitenskap og petroleum, NTNU. Internt notat, 4 sider
- [11] “Lov om erverv og utvinning av mineralressurser (mineralloven)”. (2009). LOV-2009-06-19-101. Nærings- og fiskeridepartementet
- [12] «Ny vekst, stolt historie - Regjeringens havstrategi» (2017). Publikasjonskode: W-0015 B. Nærings- og fiskeridepartementet og Olje- og energidepartementet, 106 sider
- [13] “Strategic Implementation Plan for the European Innovation Partnership on Raw Materials. Part I. final version – 18/09/2013» (2013). EIP Raw Materials, 23 sider
- [14] “Strategic Implementation Plan for the European Innovation Partnership on Raw Materials. Part II – Priority Areas, Action Areas and Actions. final version – 18/09/2013» (2013). EIP Raw Materials, 60 sider
- [15] “Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 on the management of waste from extractive industries and amending Directive 2004/35/EC.” (2006). European Parliament,

- [16] *“Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities - January 2009”*. (2009). European Commission, 511 sider
- [17] *«Fremtidens Bergstudium. En evaluering av studieprogrammet Tekniske geofag ved Institutt for geologi og bergteknikk. – Hovedrapport»* (2010). Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, 54 sider
- [18] *«Rapport fra Laborarieutvalget 2012/2013 Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi»*. (2013). NTNU Laborarieutvalget, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, NTNU
- [19] *«NTNU-SINTEF Bedre sammen – Laboratoriesamarbeid mellom IVT-fakultet og SINTEF»*. (2015). Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi (NTNU) / SINTEF
- [20] *«Samlokalisering som følge av ny organisasjon - Det «korte» campusprosjektet. Delrapport fra IVT-fakultetet»*. (2016). Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, NTNU
- [21] Faggruppestrategi Mineralproduksjon og HMS, NTNU (2017).
- [22] Faggruppestrategi Geologi, NTNU (2017).
- [23] Faggruppestrategi Geofysikk, NTNU (2017).
- [24] Faggruppestrategi Ingeniørgeologi og bergteknikk, NTNU (2017).
- [25] Faggruppestrategi Industriell økologi, NTNU (2017).
- [26] Faggruppestrategi Marine systemer, NTNU (2017).
- [27] Faggruppestrategi RAMS, NTNU (2017).

STRATEGI for forskningsområdet:

VEDLEGG A

Geologiske råstoffer for neste generasjon

Overordnet samfunns mål: Bærekraftig utvinning av mineralressurser

1. Beskrivelse av forskningsområdet

Fremtidens teknologier står og faller med tilgangen på økonomiske malm og mineralforekomster med essensielle metaller og mineraler. Forskningsområdet fokuserer på dannelsen og de fysiokjemiske karakteristika av faste geologiske ressurser. Det er basert på denne viten at man nedstrøms i produksjonskjeden utvikler metoder for å finne nye forekomster og designe strategier for bryting, oppredning og miljømessig tilbakestilling etter endt gruvedrift.

Den Skandinaviske halvøy inklusive kontinentalsokkelen representerer Europas største og rikeste område for dannelsen av økonomiske malm- og mineralforekomster. Geologien i Norge har større geologisk diversitet enn noe annet område i denne regionen, men er paradoksalt nok også det området som er dårligst undersøkt. Man kan derfor forvente å finne flere metall- og mineralforekomster i verdensklasse i det norske kontinentalområdet, på land så vel som innen havrommet. Fremtidige forekomster vil i mange ti-år fremover lokaliseres på land, men parallelt med den teknologiske utviklingen vil vi også se økt prospektering på sokkelen i takt med at nye metoder så vel som teknologier som tidligere ble brukt i olje-gass sektoren adapteres til malm-prospektering

2. Mål

- Utvikle bedre modeller for dannelsen av tradisjonelle malmbeforekomster.
- Utvikle modeller for dannelsen av klassiske malmbeforekomster i ukonvensjonelle settinger (for eksempel som de nylig nyoppdagede Cu-Ni-PGE forekomstene i Seiland Magmatiske Provins).
- Bedre forståelse av dannelsen og kjemisk/fysisk signatur av onshore og offshore malmbeforekomster og utvikle spissede geofysiske/geokjemiske prospekteringsmetoder til å finne dem.
- Utvikle nye metoder til kjemisk og fysisk bestemmelse av mineralers egenskaper.
- Utvikle nye digitale kartleggings-metodikker til hurtigere ressurs-geologisk kartlegging og til kartlegging i vanskelig tilgjengelig terreng.
- Forstå sammenheng mellom geologisk dannelse og mineralenes egenskaper knyttet til utnyttelse av forekomster.
- Adaptere offshore olje-geofysisk prospekteringsteknologi til leting etter mineralske ressurser onshore så vel som offshore.

3. Forskningsutfordringer

- Geofysiske metoder, baseres for eksempel på de magnetiske, elektriske og akustiske egenskapene hos malmineraler og det assosierte mineralselskap, og er imperative for å kunne "se" en potensiell forekomst på stort dyp. Man må samle inn detaljkunnskap om de enkelte mineralers geofysiske uttrykk og forstå egenskapene på både nanoskala og atomært nivå. Summen av de geofysiske uttrykk bestemmer hvilken geofysisk signatur som forventes i regionale undersøkelser på bakken fra helikopter og satellitter. Dette bidrar til nødvendig basiskunnskapen for å kunne spisse geofysiske prospekteringsteknologier.

- Gode genesemodeller bygger på kunnskap om mineralselskapets termodynamiske egenskaper (trykk, temperatur, pH, Eh etc.). Visse tidsepoker er viktigere enn andre og mange forekomster oppgraderes (eller destrueres) i forbindelse med metamorfose og deformasjon i orogene hendelser. Forutsetningen for å avgrense et område der malmdannende prosesser er sannsynlige, er at man har størst mulig kunnskap om de geologiske forutsetninger for økonomiske malmdannende prosesser. Her er det særskilt viktig at nye geofysiske metoder utvikles parallelt med økt geologisk viten om malmens forekomstmåte og blir brukt i langt større grad enn tilfellet er i dag.
- Sammenhengen mellom forekomstens egenskaper og oppredningsprosessene er avgjørende for økonomisk utnyttelse av mineralressurser. Utvikling av nye forekomsttyper krever at man videreutvikler denne forståelsen til å gjelde nye typer forekomster på et generelt grunnlag. Samtidig må man videreføre arbeidet med eksisterende forekomster- og forekomsttyper for å øke utvinning og lønnsomhet. En større forståelse for sammenhengen mellom de geologiske dannelsesprosessene og egenskapene knyttet til oppredning og utvinning kan gi store framtidige muligheter for å predikere forekomsters egnethet.
- Forskningen må målrettes mot forekomsttyper som er særlig viktige for å realisere det grønne skiftet og en fremtid preget av ikke-fossil energiproduksjon. Realiseringen av det grønne skiftet står og faller med tilstrekkelig tilgang til imperative metaller og mineraler. Dette gjelder både klassiske metaller som Cu, Zn og Ni så vel som "grønne" metaller som Li, Lantanider, Sc, Nb og Ta.

4. Strategier

Den vitenskapelige bemanningen innen sentrale fagområder må styrkes. Dette inkluderer blant annet fagområdene mineralogi, magmatisk og metamorf petrologi, geofysikk, geokjemi og strukturgeologi.

Finansiering av fremtidens malmgeologiske forskning må sikres gjennom tettere samarbeide med bergindustrien så vel som tilgang til uavhengige forskningsmidler til mer risikable forskningsprosjekter med lang tidshorison (>5 år); For eksempel ved at etablere et separat forskningsområde innen NFR lik PETROFORSK og PETROMAKS.

Laboratoriefasiliteter for karakterisering av økonomiske mineraler og ko-eksisterende mineraler må styrkes og videreutvikles. Gjennom samarbeid med Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) må analysekapasiteten utvides til å inkludere stabile og radiogene isotoper. Samtidig må det etableres fasiliteter for automatisk mineralogi.

Funn av nye store malm- og mineralforekomster er bare mulig om vi er flinke til at utdanne dyktige mineral ressursgeologer og ingeniører. Dette må sikres gjennom en økt internasjonalisering av utdanningen innen mineralressurser på master og ph.d.-nivå. For eksempel gjennom å skape sterkere bånd og opprette internasjonale felles-grader med utenlandske partnere.

5. Relevante samarbeidspartnere

Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) representerer en langvarig partner som også i tiden fremover vil bli konsolidert gjennom fremvoksende samarbeidsprosjekt. Viktig her er Senter for avansert mineral- og malmkarakterisering (CAMOC). Det Arktiske Universitet (Tromsø) har styrket sin forskning innen mineralske ressurser og det utvikles for tiden flere eksterntfinansierte

samarbeidsprosjekter med fokus på malmforekomster i de nordligste fylkene. Internasjonalt har instituttet for Earth System Petrology (Århus Universitet) vært en viktig samarbeidspartner som søkes konsolidert med en FRINATEK søknad. Gjennom GEMMS (Green Management of Mineral depoSits) har vi med en stor bevilgning fra SiU konsolidert et 4 års samarbeid med Texas Tech University. Større initiativer i støpeskjeen inkluderer et fremvoksende samarbeid med Aachen og Delft innen utdanning og forskning og Geoforschungs Zentrum (GFZ) i Potsdam som har en imponerende instrumentpark til undersøkelser av radiogene og stabile isotoper i mineraler.

6. Ressurser

Laboratorieressursene ved NTNU representerer et vesentlig konkurransefortrinn. Likevel er det i dag manglende kapasitet innen geokjemiske *in situ analyser* (SEM-Cl, EPMA, EBSD og automatisk mineralogi), og for at sikre fremtidig relevans i førende miljøer må både funksjonalitet og kapasitet videreutvikles.

Det er behov for å styrke den vitenskapelige bemanningen innen magmatisk- og metamorf petrologi, høy- og lavtemperatur geokjemi, samt strukturgeologi. Pga. lav bemanning og stor undervisningsbelastning ved Faggruppe for geologi har denne faggruppa svært begrenset tid til forskning. Det er her behov for å avlaste enkelte ansatte for å frigjøre tid til forskning, publisering og søknadsarbeid for å sikre eksterne forskningsmidler.

Gjennom samarbeidet med NGU kan analysekapasiteten konsolideres med økt SEM_ og EPMA-kapasitet og utvides til å inkludere stabile og radiogene isotoper. Samtidig må det etableres fasiliteter for automatisk mineralogi. Vi ser også at vårt nye laboratorium for mineralers geofysiske egenskaper har en usikker bemanningssituasjon på lengre sikt da det p.t. er drevet av midlertidig ansatte.

7. Finansiering

Følgende forhold vil være relevant for videre satsing:

- Norges forskningsråd (NFR) representerer trolig den viktigste finansieringskilden, men mangler i dag et program rettet spesifikt mot mineralressurser og mineralindustri. BIA-programmet utgjør den mest relevante mekanismen men fungerer ikke for risikable forskningsprosjekter med lang tidshorison på nye typer malmforekomster idet industrien må trå til med 20 % av utgiftene.
- Det er da behov for uavhengige forskningsmidler til mer grunnleggende eller risikable forskningsprosjekter. Det bør derfor vurderes å relansere ideen om et eget bransjeprogram for mineralressurser (Minforsk).
- EU representerer en finansieringskilde som bør utnyttes i større grad enn i dag. Deltagelse i KIC på råmaterialer kan bli en finansierings kilde i visse nedstrøms prosjekter. Mens basisforskning på malmgenese evt. må finansieres gjennom store Horizon 2020 prosjekter likt vår nåværende deltagelse i EU-ITN prosjektet "ABYSS"
- Søknadsarbeid krever vesentlige ressurser. På kort sikt bør NTNU benytte egne midler for å styrke forskningsområdet slik at de involverte fagmiljøene får større kapasitet og evne til å utnytte eksterne finansieringsmekanismer.

Fremtidens mineralproduksjon

Overordnet samfunns mål: Bærekraftig utvinning av mineralressurser

1. Beskrivelse av forskningsområdet

Økt mineralproduksjon er en forutsetning for det grønne skiftet og et bærekraftig samfunn. Samtidig er produksjon av mineralråstoffer energi- og arealkrevende og kan medføre en betydelig miljøbelastning. Utvinning av ikke-fornybare ressurser medfører dessuten et særskilt ansvar. En rekke forskningsutfordringer må løses for å bidra til at fremtidens mineralproduksjon blir så trygg, miljøvennlig og samfunnsøkonomisk som mulig.

Forskningsområdet omfatter studiet av samtlige produksjonsprosesser langs verdikjeden fra driftsplanlegging og uttak til oppredning og videreforedling gjennom mineralteknisk prosessering av mineralkonsentrater. I tillegg til det grunnleggende fokuset på teknologi og enhetsprosesser inkluderer dette også kompetanse og systemer for optimalisering på tvers av verdikjeden, samt for vedlikehold, risikostyring, automasjon og digitalisering. Samtidig står miljøaspektene sentralt. Valg av spesifikke tekniske løsninger innen gruvedrift og oppredning har direkte og avgjørende betydning for belastningen på ytre miljø. Kompetansen innen mineralproduksjon, spesielt oppredning, er også en forutsetning for å kunne løse flere av forskningsutfordringene innen de strategiske forskningsområdene «Mineraler i sirkulær økonomi» og «Marine mineralressurser»

2. Mål

- Forskningen skal videreutvikles i lys av verdikjedekonseptet (helhetsperspektivet) og utnytte dette fortrinnet i internasjonalt forskningssamarbeid.
- Forskningen skal bidra til å flytte grensene for *Best Practice* ved utvinning av mineralressurser, samt ta særskilt ansvar for problemstillinger som er spesielle for norske forekomster.
- Forskningen skal bidra til økt verdiskapning ved å fokusere på større grad av foredling av primære mineralkonsentrater.
- Forskningen skal skape et mer robust fagmiljø med økt kapasitet og gjennomføringsevne.
- Forskningen skal skape en betydelig økning i produksjon målt i prosjekter, publikasjoner og siteringer. Innen 2025 bør antall aktive doktorgradsstipendiater dobles, mens antall publikasjonspoeng bør tredobles.
- Forskningsområdet skal gi et vesentlig bidrag til SFI-søknad og til NTNUs søknad om innlemmelse i EUs KIC på råmaterialer.

3. Prioriterte forskningsutfordringer

- Utvikling av mer effektive og miljøvennlige flotasjonskjemikalier og flotasjonsprosesser. Dette inkluderer samlere med flere aktive overflategrupper, biologisk nedbrytbare kjemikalier, samt løsninger for flotasjon av svært fine partikler.
- Utvikling av konsepter for videreforedling av mineralkonsentrater ved hjelp av mekanisk aktivering, mekanisk legering og mineral-gass reaksjoner, samt bruk av høyintensitets nedmaling (inkl. produksjon av nanopartikler) for å skape nye funksjonelle materialer.

- Utvikling av flytskjema og prosessløsninger basert på ny maleteknologi, inkludert røreverksmøller, høytrykks valsemøller (HPGR) og High Voltage Pulse Fragmentation (HVPF).
- Utvikling av geometallurgi for utvinning av industrimineraler. Dette krever forskning innen prosessmineralogi, ressursmodellering, geostatistikk og produksjonsplanlegging og en kritisk vurdering av etablerte konsepter.
- Utvikle nye modeller og verktøy for analyse av pålitelighet, sikkerhet, og vedlikeholdsplanlegging, som optimaliserer bruk av data fra digitaliserte, automatiserte og autonome systemer for mineralutvinning og produksjon. Implementere nye metoder for systemtekniske analyser som sikrer bærekraft i både design og operasjon.
- Utvikling av konsepter for malmuttak med sikte på høy produktivitet, sikkert arbeidsmiljø og minimal miljøforstyrrelse. Dette inkluderer verktøy for stabilitetsanalyse, avansert teknologi for feltkartlegging og intelligent overvåkning.
- Utvikling av metodikk for grunnundersøkelser og prinsipper for stabilitetsanalyse, sikringstiltak og stabilitetskontroll i forbindelse med storskala gruvedrift i dagbrudd og under jord.
- Mer effektiv tilslagsproduksjon. Løsninger for produksjon fra alternative kilder, økt fokus på kortreist stein, samt knuseteknologi som gir lavere energiforbruk og mindre finstoff.
- Utvikling og implementering av teknologi og flytskjema basert på sensorbasert sortering. Analyse av kost-nytte effekter fra økonomisk og samfunnsmessig perspektiv.

4. Strategier

Målene for det strategiske forskningsområdet skal nås ved å:

- Utnytte momentet og synergieffektene som ligger i å benytte verdikjedekonseptet til å lage bredere samarbeidskonstellasjoner internt ved NTNU.
- Bygge videre på det nære industrisamarbeidet og på kompetansen, nettverkene og mulighetene som er skapt gjennom pågående NFR- og EU-prosjekt.
- Utnytte eksisterende NFR-mekanismer, spesielt KPN i BIA-programmet, men også mulighetene for deltagelse i SFI-prosess eller andre relevante senteretableringer.
- Arbeide for opprettelse av et bransjespesifikt NFR-program.
- Bidra til NTNUs søknad om innlemmelse i EUs KIC på råmaterialer og aktivt søke internasjonale FoU-partnere for nye EU-søknader.
- Styrke den vitenskapelige bemanningen innen mineralproduksjon, spesielt innen HMS, tilslagsproduksjon og mineralteknikk.
- Realisere Oppredningslaboratoriet potensial som europeisk ledende innen mineralteknikk ved å styrke bemanning og infrastruktur, samt etablere nasjonalt unike laboratoriefasiliteter for High Voltage Puls Fragmentation (HVPF) og sensorbasert sortering.
- Diskutere mulighetene for opprettelse av «Bergindustriens forskningsforening» med Norsk Bergindustri.

5. Relevante samarbeidspartnere

Norsk bergindustri (representert ved enkeltbedrifter, bransjeforeningen og Mineralklynge Norge) utgjør den viktigste eksterne samarbeidspartneren i kraft av å være premissleverandør, forskningspartner og finansør. Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Sintef (Materialer og kjemi, Byggforsk) skiller seg også ut som spesielt viktige forskningspartnere og som strategiske

forbundsfaller. Internt ved NTNU er det viktig å styrke samarbeid med NV-fakultetet (materialteknologi, mikrobiologi, nanoteknologi og hydrometallurgi).

Viktige akademiske samarbeidspartnere inkluderer blant annet Luleå tekniske universitet (LTU), Bergakademiet i Freiberg (TU Freiberg), Universitetet i Aachen, AGH University of Science and Technology i Krakow og Universitetet i Wrocław.

6. Ressurser

Den vitenskapelige bemanningen er lav sett i forhold til ansvaret og utfordringene forskningsområdet medfører og utgjør den største begrensende faktoren for videre satsing. Det er behov for å styrke bemanningen innen HMS, tilslagsproduksjon og mineralteknikk. Mye av kapasiteten innen sistnevnte fagområdet benyttes i dag til ledelse, administrasjon og strategiarbeid.

Laboratorieressursene ved NTNU representerer et vesentlig konkurransefortrinn og både funksjonalitet og kapasitet må videreutvikles. Oppredningslaboratoriet og ingeniør- og bergmekanisk laboratorium må nevnes spesielt da de er nasjonalt unike tunglaboratorier som stiller særskilte krav til infrastruktur. Flere av de prioriterte forskningsutfordringene forutsetter en styrking av bemanning og kapasitet i oppredningslaboratoriet. Videre må det etableres fasiliteter for automatisk mineralkarakterisering (f.eks. MLA eller QuemScan).

7. Finansiering

Følgende forhold vil være relevant for videre satsing:

- Norges forskningsråd (NFR) representerer trolig den viktigste finansieringskilden, men mangler i dag et program rettet spesifikt mot mineralressurser og mineralindustri. BIA-programmet utgjør den mest relevante mekanismen.
- Det er også behov for uavhengige forskningsmidler til mer grunnleggende eller risikable forskningsprosjekter. Det bør derfor vurderes å relansere ideen om et eget bransjeprogram for mineralressurser (Minforsk).
- Norsk bergindustri er i dag en viktig finansiell bidragsyter til forskning ved NTNU, både gjennom BIA-programmet og gjennom egenfinansierte prosjekt. Bidrag fra industrien er en forutsetning for å utløse finansiering fra NFR.
- EU representerer en finansieringskilde som bør utnyttes i større grad enn i dag. Deltagelse i KIC på råmaterialer vil gi tilgang til nye finansieringsmekanismer.
- Søknadsarbeid krever vesentlige ressurser. På kort sikt bør NTNU benytte egne midler for å styrke forskningsområdet slik at de involverte fagmiljøene får større kapasitet og evne til å utnytte eksterne finansieringsmekanismer.

STRATEGI for forskningsområdet:

VEDLEGG C

Mineraler i sirkulær økonomi

Overordnet samfunns mål: Bærekraftig utvinning av mineralressurser

1. Beskrivelse av forskningsområdet

Global befolkningsvekst og økt grad av industrialisering gir et stadig voksende behov for mineralressurser. Økt utvinning av metaller med unike egenskaper er en også en forutsetning for å kunne gjennomføre det grønne skiftet. Produksjon og bruk av mineralråstoffer er ofte energi- og arealkrevende og kan medføre en betydelig miljøbelastning. Industriland i vesten har ofte mindre vekst i befolkning og infrastruktur, men har til gjengjeld gamle strukturer og produkter som krever fornying eller erstatning. Dette gir et økt potensial for å gjenvinne avfall for å redusere behovet for primære råstoffer og de negative miljøkonsekvenser relatert til primæruktak. Bærekraftig samfunnsutvikling forutsetter derfor at industriland bidrar til å redusere det globale ressursbehovet gjennom resirkulering og til miljøvennlig produksjon.

For å utvikle strategier for bærekraftig bruk av mineralressurser er det nødvendige å forstå kretsløpene for hver enkelt ressurs. Disse inkluderer uttak (gruvedrift), prosessering (oppredning), videreforedling (konsentratbehandling), produksjon og fabrikasjon av produkter, bruk av produkter, avfallshåndtering og gjenvinning («urban mining»). Dette krever kvantitativ systemanalyse for å forstå strømmer og lager av materialer og energi, samt modell- og scenarioutvikling for å analysere viktige utviklingsdrivere, forutse endringer i ressursbruk og ressurstillgang fra sekundære kilder og for evaluering av ulike strategier. Teknologiaspektet utgjør den andre hoveddelen av det strategiske forskningsområdet. Her står materialkarakterisering og partikkelteknologi sentralt. Forskningsområdet omfatter utvikling av tekniske løsninger for resirkulering og avgangsforbedring, utfordringer knyttet til bruk, håndtering og deponering av overskuddsmasser, samt utvikling av mineralbaserte renseløsninger. Forskning på disse områdene hviler tungt på kompetansen innen oppredning og prosessmineralogi, og på de unike fasilitetene ved Oppredningslaboratoriet.

2. Mål

- Forskningen skal utvikle og etablere et modellrammeverk for mineraler i sirkulær økonomi for å bidra til at globale utviklingsmål for bærekraft kan oppnås.
- Forskningen skal videreutvikles i lys av verdikjedekonseptet (systemperspektivet) og utnytte dette fortrinnet i internasjonalt forskningssamarbeid mellom store dataleverandører, databrukere (f.eks. industri og myndigheter) og ledende forskningsinstitutter.
- Forskningen skal bidra til mer bærekraftig utnyttelse av mineralressurser ved å fokusere på gjenvinning, sirkulær økonomi og bedre utnyttelse av overskuddsmasser.
- Forskningen skal skape et mer robust fagmiljø med økt kapasitet og gjennomføringsevne, samt bygge nye relasjoner mellom relevante faggrupper ved NTNU.

3. Prioriterte forskningsutfordringer

- Kvantitative systemanalyse for samfunnets metabolisme (bruk av materialer og energi gjennom alle produksjons-, bruks- og avfallshåndteringsfaser. Dette krever utvikling av

hensiktsmessige systemdefinisjoner, harmonisering av ulike datakilder, usikkerhetsanalyser, samt tilnærminger for estimering av kretsløpsdata.

- Modellering og scenarioutvikling for å analysere utviklingsdrivere (befolkningsvekst, forbruksmønstre, teknologier...), forutse endringer i ressursbruk og ressurstilgang fra sekundære kilder og for evaluering av ulike strategier (for industri og myndigheter).
- Utvikling, evaluering og implementering av nye tekniske løsninger for avgangsforbedring og gjenvinning av sekundære råstoffer. Dette inkluderer nye fragmenteringsløsninger, alternativ separasjonsteknologi og flytskjema for integrerte prosesser.
- Optimal disponering av overskuddsmasser. Utvikling og implementering av kost-nytte analyser for alternativ bruk av overskuddsmasser sett i forhold til deponering som nullalternativ. Når vil deponering representere den beste løsningen?
- Evaluering av standarder og spesifikasjoner som begrenser bruk av overskuddsmasser som tildekkingsmasser og til konstruksjonsformål, samt kartlegging av potensialet for slike anvendelser.
- Utvikling av mineralbaserte renseløsninger for immobilisering av miljøgifter i sivevann fra deponier, forurensede sedimenter, gruveavrenning eller industriavløp. Mineralbaserte renseløsninger representerer en av de få 'high tonnage'-anvendelsene av finkornet oppredningsavgang.

4. Strategier

Målene for det strategiske forskningsområdet skal nås ved å:

- Utnytte momentet og synergieffektene som ligger i å benytte verdikjedekonseptet til å lage bredere samarbeidskonstellasjoner internt ved NTNU, spesielt ved å knytte tettere bånd mellom faggruppe for industriell økologi og teknologimiljøet ved IGP.
- Bygge videre på det nære industrisamarbeidet og på kompetansen, nettverkene og mulighetene som er skapt gjennom pågående NFR- og EU-prosjekt.
- Utnytte eksisterende NFR-mekanismer, spesielt KPN i BIA-programmet, men også mulighetene for deltagelse i SFI-prosess eller andre relevante senteretableringer.
- Bidra til NTNUs søknad om innlemmelse i EUs KIC på råmaterialer og aktivt søke internasjonale FoU-partnere for nye EU-søknader.
- Styrke den vitenskapelige bemanningen innen mineralproduksjon, spesielt innen HMS, tilslagsproduksjon og mineralteknikk.
- Realisere Oppredningslaboratoriet potensial som europeisk ledende innen mineralteknikk ved å styrke bemanning og infrastruktur, samt etablere nasjonalt unike laboratoriefasiliteter for High Voltage Puls Fragmentation og sensorbasert sortering.
- Bidra med kompetanse innen oppredning og prosessmineralogi i tverrfaglige prosjekter på avgangsdeponering.

5. Relevante samarbeidspartnere

Norsk bergindustri (representert ved enkeltbedrifter, bransjeforeningen og Mineralklynge Norge) utgjør den viktigste eksterne samarbeidspartneren i kraft av å være premissleverandør, forskningspartner og finansør. Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Sintef (Materialer og kjemi, Byggforsk) skiller seg også ut som spesielt viktige forskningspartnere og som strategiske

forbundsfeller. Internt ved NTNU er det viktig å styrke samarbeid med NV-fakultetet (materialteknologi, mikrobiologi, nanoteknologi og hydrometallurgi).

Det ligger også et potensial i økt samarbeid med Norges Geotekniske Institutt (NGI) innen resirkulering, «urban mining», håndtering/disponering av forurensede masser og utvikling av mineralbaserte renseløsninger.

Viktige akademiske samarbeidspartnere inkluderer blant annet TU Delft, Yale University, MIT, Cambridge University, TU Vienna, Luleå tekniske universitet (LTU), Bergakademiet i Freiberg (TU Freiberg), Universitetet i Aachen (RWTH), AGH University of Science and Technology i Krakow og Universitetet i Wroclaw.

6. Ressurser

Den vitenskapelige bemanningen er lav sett i forhold til ansvaret og utfordringene forskningsområdet medfører og utgjør den største begrensende faktoren for videre satsing. Det er behov for å styrke bemanningen innen HMS, tilslagsproduksjon og mineralteknikk. Mye av kapasiteten innen sistnevnte fagområdet benyttes i dag til ledelse, administrasjon og strategiarbeid.

Laboratorieressursene ved NTNU representerer et vesentlig konkurransefortrinn og både funksjonalitet og kapasitet må videreutvikles. Oppredningslaboratoriet og ingeniør- og bergmekanisk laboratorium må nevnes spesielt da de er nasjonalt unike tunglaboratorier som stiller særskilte krav til infrastruktur. Flere av de prioriterte forskningsutfordringene forutsetter en styrking av bemanning og kapasitet i Oppredningslaboratoriet.

7. Finansiering

Følgende forhold vil være relevant for videre satsing:

- Norges forskningsråd (NFR) representerer trolig den viktigste finansieringskilden, men mangler i dag et program rettet spesifikt mot mineralressurser og mineralindustri. BIA-programmet utgjør den mest relevante mekanismen.
- Fagmiljøet innen industriell økologi har i stor grad lyktes med å utnytte relevante EU-mekanismer, men for teknologimiljøene ved IGP representerer EU en finansieringskilde som bør utnyttes i større grad enn i dag. Deltagelse i KIC på råmaterialer vil gi tilgang til nye finansieringsmekanismer.
- Det er også behov for uavhengige forskningsmidler til mer grunnleggende eller risikable forskningsprosjekter. Det bør derfor vurderes å relansere ideen om et eget bransjeprogram for mineralressurser (Minforsk).
- Norsk bergindustri er i dag en viktig finansiell bidragsyter til forskning ved NTNU, både gjennom BIA-programmet og gjennom egenfinansierte prosjekt. Bidrag fra industrien er en forutsetning for å utløse finansiering fra NFR.
- Søknadsarbeid krever vesentlige ressurser. På kort sikt bør NTNU benytte egne midler for å styrke forskningsområdet slik at de involverte fagmiljøene får større kapasitet og evne til å utnytte eksterne finansieringsmekanismer.

STRATEGI for forskningsområdet:

VEDLEGG D

Marine mineralressurser

Overordnet samfunns mål: Bærekraftig utvinning av mineralressurser

1. Beskrivelse av forskningsområdet

Marine mineralressurser har de siste årene fått mye fokus internasjonalt og nasjonalt med store aktører, spesielt innenfor EU som satser på mineralutvinning til havs. Marine mineralressurser har et stort verdiskapingspotensial og representerer en betydelig kilde til strategisk viktige metaller. Mye av fokuset internasjonalt er rettet mot de store ressursene av polymetalliske mangannoduler som finnes i de store verdenshavene på havdyp mellom 4000 og 6000 meter, men det blir også stadig større fokus på *seafloor massive sulphide* (SMS) -forekomster knyttet til undersjøiske hydrotermale skorsteiner. Sistnevnte kategori er spesielt interessant sett med norske øyne.

Forskningsområdet omfatter verdikjeden knyttet til utvinning av marine mineralforekomster. Dette inkluderer leting etter karakterisering av marine mineralforekomster og samtlige produksjonsprosesser langs verdikjeden fra driftsplanlegging og uttak til oppredning og videreforedling gjennom mineralteknisk prosessering av mineralkonsentrater. Her vil mange av problemstillingene være nært knyttet opp mot forskningsområdene «geologiske råstoffer for neste generasjon» og «fremtidens mineralproduksjon», men det vil være spesielle utordringer knyttet til faktum at aktivitetene skal være knyttet til aktiviteter i utfordrende eller *ekstremt* miljø (forekomster langt til havs, i et arktisk klima eller på store havdyp). Dette vil kreve utvikling av ny teknologi, blant annet med hensyn på forseparering på havbunnen og transport av malm til overflaten. Kompetanse innenfor vedlikehold, risikostyring, automasjon og digitalisering vil også stå sentralt. I tillegg må det fokuseres på miljøaspektene ved utvinning av marine mineralressurser. Det foreligger kun svært begrenset kunnskap om den forventede effekten på økosystem og fysisk miljø.

2. Mål

- Forskningen skal gjøre NTNU verdensledende innen forskning på mineralproduksjon på havbunnen, muliggjøre utvinning av mineralforekomster i områder innenfor norsk jurisdiksjon og gjennom dette gi norsk industri et fortrinn som service- og leverandørindustri internasjonalt.
- Forskningen skal videreutvikles basert på eksisterende kompetanse innen bl.a. mineralproduksjon, O&G og subsea teknologi og utnytte dette fortrinnet i internasjonalt forskningssamarbeid.
- Forskningen skal bidra til å flytte grensene for *Best Practice* ved utvinning av mineralressurser på havbunnen, samt ta særskilt ansvar for problemstillinger som er spesielle for norske forekomster.
- Forskningsområdet skal gi et vesentlig bidrag til SFI-søknad og til NTNUs søknad om innlemmelse i EUs KIC på råmaterialer.

3. Prioriterte forskningsutfordringer

- Utvikle teknologi for leting etter marine mineraler. Dette inkluderer plattformer for leting, samt geofysiske metoder (seismikk, magnetiske- og elektromagnetiske metoder, etc.) og

andre relevante metoder for effektiv datainnsamling. Dra nytte av synergier med offshore olje og gass teknologi.

- Utvikle geologiske letemodeller for marine mineraler. Hovedfokus vil være på forekomster langs den arktiske midt-havsryggen, men det vil også være et generelt fokus på SMS forekomster globalt.
- Etablere kunnskap om dannelsesmodeller for SMS forekomster og deres utvikling fra Midt-havsryggen med geologisk utvikling (avstand fra selve ryggen og overdekning).
- Etablere kunnskap knyttet til mineraliseringer i typiske SMS forekomster og deres betydning for foredlingsprosesser. Dette skal gjøre gjennom bruk av prosessmineralogisk kompetanse og avansert mineral karakterisering.
- Etablere teknologi for utvinning av mineralforekomster på havbunnen (inkl. vertikaltransport) basert på kunnskap om eksisterende teknologi for landbasert mineralutvinning i kombinasjon med kompetanse på subseateknologi for petroleumsindustrien.
- Utvikle nye modeller og verktøy for analyse av pålitelighet, sikkerhet, og vedlikeholdsplanlegging, som optimaliserer bruk av data fra digitaliserte, automatiserte og autonome systemer spesielt rettet mot mineralutvinning og produksjon til havs. Implementere nye metoder for systemtekniske analyser som sikrer bærekraft i både design og operasjon.
- Utvikle teknologi for oppredning og foredling av SMS forekomster med tanke på utfordringer knyttet til mineralogi og teksturer i denne type forekomster. Evaluere mulighetene for forseparering av malm på havbunnen eller overflaten for å minimere behovet for transport av gråberg/avgang.
- Etablere grunnleggende kunnskaper om miljøkonsekvenser ved utvinning av marine mineraler og forstå effekten av aktiviteter knyttet til aktiviteter på havbunnen og artenes evne til tilbakestilling/reetablering etter endt aktivitet.

4. Strategier

Målene for det strategiske forskningsområdet skal nås ved å:

- Bygge videre på tidligere og eksisterende prosjekter innen marin mineralutvinning og utarbeide forslag til et større pilotprosjekt for testing av teknologi i hele verdikjeden.
- Videreføre kontakten med industri og andre forskningsinstitusjoner som er etablert gjennom eksisterende prosjekter, blant annet ved å benytte det nasjonale virkemiddelapparatet.
- Videreføre nært samarbeid mellom IGP og IMT innen marin mineralutvinning til å bygge et komplett kompetansemiljø, og for å sikre god rekruttering på alle nivå.
- Bidra til å gjøre NTNUs forskning innen marin mineralutvinning verdensledende både med tanke på den type forekomster som er nærliggende gjennom Norges rettigheter på AMOR, men også på andre typer marine mineralforekomster (SMS og polymetalliske mangannoduler) gjennom kompetanse på geologi og teknologi.
- Videreføre og styrke kompetansen og nettverkene etablert gjennom deltakelse i EU prosjekter og fortsette å søke deltakelse i nye EU-prosjekter. Blant annet gjennom å ta ledelsen i prosjektsøknad gjennom reetablering av SMS@Sea prosjektet som ikke gikk gjennom i 2016.
- Styrke kapasiteten og kapabiliteten i Oppredningslaboratoriet med hensyn på prosessering av marine mineraler blant annet ved å etablere fasiliteter for sensorbasert sortering.

- Legge til rette for industriell verdiskapning og gründervirksomhet

5. Relevante samarbeidspartnere

Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) er viktige forskningspartnere. Det bør også bygges sterkere samarbeid med andre norske universitetsmiljøer - spesielt med Universitetet i Bergen med tanke på grunnleggende geologisk forståelse og marin biologi. Industrielt er Statoil en veldig viktig samarbeidspartner. I tillegg vil Norsk bergindustri (både enkeltbedrifter og bransjeforeningen), andre olje- og gassprodusenter, subsea-, service- og leverandørindustri utgjøre viktige samarbeidspartnere i framtidige satsninger. Internt ved NTNU er det viktig å videreføre det sterke samarbeidet med NV-fakultetet og Institutt for materialteknologi innen elektronmikroskopi og styrke samarbeidet med fagmiljøet innen hydrometallurgi.

Viktige internasjonale akademiske samarbeidspartnere inkluderer blant annet UK, National Oceanographic Center (NOC), Universitetet i Aachen (RWTH Aachen), GEOMAR og SINTEF Ocean.

6. Ressurser

Laborativeressursene ved NTNU representerer et vesentlig konkurransefortrinn og både funksjonalitet og kapasitet må videreutvikles. En avansert lab for mineral- og malmkarakterisering vil være viktig for arbeidet med å forstå malmer og deres egenskaper. Her er spesielt utstyr automatisk mineralogi kritisk for IGP. Oppredningslaboratoriet og ingeniør- og bergmekanisk laboratorium må nevnes spesielt da de er nasjonalt unike tunglaboratorier som stiller særskilte krav til infrastruktur. Flere av de prioriterte forskningsutfordringene forutsetter en styrking av bemanning og kapasitet i oppredningslaboratoriet.

Gjennom AUR-Lab har IV-fakultet tilgang til utstyr og kompetanse for å gjennomføre feltaktivitet innenfor mange av fokusområdene (leting & utvinning). Man har anledning til å gjøre både tekniske utviklingstester, utstyrstester, men også datainnsamling for geo- og mineralanalyser.

7. Finansiering

Følgende forhold vil være relevant for videre satsing:

- Norges forskningsråd (NFR) representerer trolig den viktigste finansieringskilden, men mangler i dag et program rettet spesifikt mot mineralressurser og mineralindustri. BIA-programmet utgjør den mest relevante mekanismen.
- Det er også behov for uavhengige forskningsmidler til mer grunnleggende eller risikable forskningsprosjekter. Det bør derfor vurderes å relansere ideen om et eget bransjeprogram for mineralressurser (Minforsk).
- Norsk bergindustri er i dag en viktig finansiell bidragsyter til forskning ved NTNU, både gjennom BIA-programmet og gjennom egenfinansierte prosjekt. Bidrag fra industrien er en forutsetning for å utløse finansiering fra NFR.
- EU representerer en finansieringskilde som bør utnyttes i større grad enn i dag. Deltagelse i KIC på råmaterialer vil gi tilgang til nye finansieringsmekanismer.
- Søkknadsarbeid krever vesentlige ressurser. På kort sikt bør NTNU i benytte egne midler for å styrke forskningsområdet slik at de involverte fagmiljøene får større kapasitet og evne til å utnytte eksterne finansieringsmekanismer.

VEDLEGG E. Oversikt over faggruppens relevante kompetanse innen hvert av de strategiske forskningsområdene.

Inst.	Faggruppe	Strategiske forskningsområder			
		A. Geologiske råstoffer for neste gen.	B. Fremtidens mineralproduksjon	C. Mineraler i sirkulær økonomi	D. Marine mineralressurser
IGP	Geofysikk (GF)	Mineralers fysiske egenskaper på atomart og nano nivå. Modellering og prediksjon av bergarters geofysiske respons (for prospektering)			Modellering av geofysisk respons fra oseanisk litosfere med "Seabed Massive Sulphide deposits (SMS)".
	Geologi (GE)	Modellering av dannelse, geometri og post-genetiske mod. av malm/mineralforekomst. Isolering av unike signaturer for sporing av dyptliggende kontinentale ressurser			Modellering av malmdannende potensiale av oseanisk lithosfere dannet i forskjellige stor tektoniske situasjoner.
	Ingeniørgeologi og bergmek. (IB)	Gofysikk ifm grunnundersøkelser (seismikk, resistivitet, magnetometri) Sprekke/strukturdata basert på digitale modeller Lidar, InSAR mv.	Brytningsmetodikk Borbarhet (borsynk/borslitasje) Oppfølging/kontroll under bygging Stabilitetsanalyse Bergsikring Bergmekanisk måling og overvåkning	Miljøgeologi, inkl. avfallsdeponering Deponering av farlig avfall	
	Mineralproduksjon og HMS (MH)	Ressurs/reserve-estimering Geostatistikk /3D-modellering Avansert mineral karakterisering	Gruvedrift Geometallurgi Prod. av tilslagsmaterialer Avansert mineral karakterisering Prosessmineralogi Mineralteknikk (oppredning), Mikronisering/mek.aktivering Overflate- og kolloidkjemi, Miljøaspekter ved min.prod. HMS i tungindustrien Mineralressursforvaltning	Avansert mineral karakterisering Prosessmineralogi Mineralteknikk (oppredning) Miljøaspekter ved mineralproduksjon Mineralbasert reseteknologi	Ressurs/reserve-estimering Geostatistikk /3D-modellering Avansert mineral karakterisering Prosessmineralogi Gruvedrift Mineralteknikk (oppredning) Overflate- og kolloidkjemi, Miljøaspekter ved mineralproduksjon
IMT	Marine konstruksjoner (MS)				Vertikaltransport av mineraler (risere) Optisk leteteknologi (hyperspec. imaging) Utforskning og prøvetakning (ROV) Autonome farkoster for mineral kartlegging Hydrodynamikk for lete- og utvinningsop.
EPT	Industriell økologi (IØ)			Kvantitativ systemanalyse Modellering og scenarieutvikling	
MPT	RAMS		Sikkerhet og pålitelighet av kritiske systemer Vedlikeholdsplanlegging og optimalisering Risikoanalyse og forebygging av storulykker Systems engineering		Sikkerhet og pålitelighet av kritiske systemer Vedlikeholdsplanlegging og optimalisering Risikoanalyse og forebygging av storulykker Systems engineering

VEDLEGG F. Oversikt over større relevante (aktive) prosjekt.

Prosjektnavn	Prosjektbeskrivelse	Faggrupper	Finansiering/mekanisme	Omfang (Budsjettamme, antall stip. etc)
MarMine	Prosjektet tar sikte på å evaluere de teknologiske aspektene knyttet til mineralutvinning på havbunnen.	MH, MS, IB	KPN-prosjekt (BIA-programmet, NFR) 13 industripartnere. To (ekskl NTNU) forskningspartnere.)	Totalramme 31,2 mill NOK, 2 stip og 2 post.dok i tillegg kommer stipendiater og post doc finansiert via Havrom som er mer eller mindre direkte knyttet til prosjektet og dets leveranser
InRec	Prosjektet tar sikte på å etablere konseptet Geometallurgi i norsk bergindustri gjennom å tilpasse et konsept beregnet på spesifikk gruveindustri (metallmalmer) til industrimineralbransjen.	MH	KPN-prosjekt (BIA-programmet, NFR) 3 industripartnere (Norsk Mineral, Sibelco, Verdalskalk)	Totalramme ca 12 mill. NOK 3 stipendiater. I tillegg mulighet for omdisponering av midler for finansiering av 1 stk post doc
Blue Mining	Lete- og utvinningsteknologi for marine mineralforekomster	MH	EU (FP7) Industri og forskningspartnere	NTNU ca 800 tusen Euro (IMT + IGP)
Blue Nodules	Forsknings og innovasjonsprosjekt som tar sikte på å utvikle systemer (utstyr) for høsting av polymetalliske mangannoduler fra havbunnen med minimal miljømessig påvirkning	MH	EU (H2020) Industri og forskningspartnere	Totalramme 8 mill Euro. NTNU ca 300 tusen Euro (IGP)
NYKOS	Oppnå ny kunnskap om sjødeponering av overskuddsmasser for å finne gode deponiløsninger og best mulig praksis.	MH	KPN-prosjekt (BIA-programmet, NFR). Sintef, NIVA, UiT, 6 industripartnere.	Prosjektet har en totalramme på 30 MNOK. NTNUs andel beløper seg til 3 MNOK (én post.dok)
DePOPS	«Decisive parameters for open pit stability», forskningspartner i IPN-prosjektet ledet av SINTEF Byggforsk	IB	IPN (NFR, Titania)	
ABBYSS	EU-ITN netverks prosjekt med 14 partnere der sikter mot utdanning og forskning innen malmdannende prosesser i den oceaniske lithosfere med særlig fokus på serpentiniserings prosesser.	GE	EU-ITN, NFR, 10 forsknings institusjoner, 4 industripartnere	40-50 mill. NOK
GEMMS	GEological Management of Mineral reSources. Forsknings- og undervisningssamarbeid. Finansiering av studentutveksling, kjemiske analyser og feltarbeid for studenter og veiledere innen malm og mineralforekomstgeologi	GE	SiU (Partnership Programme North America). Texas Tech University, NGU og Nordic Mining.	2 mill bare til driftsmidler

