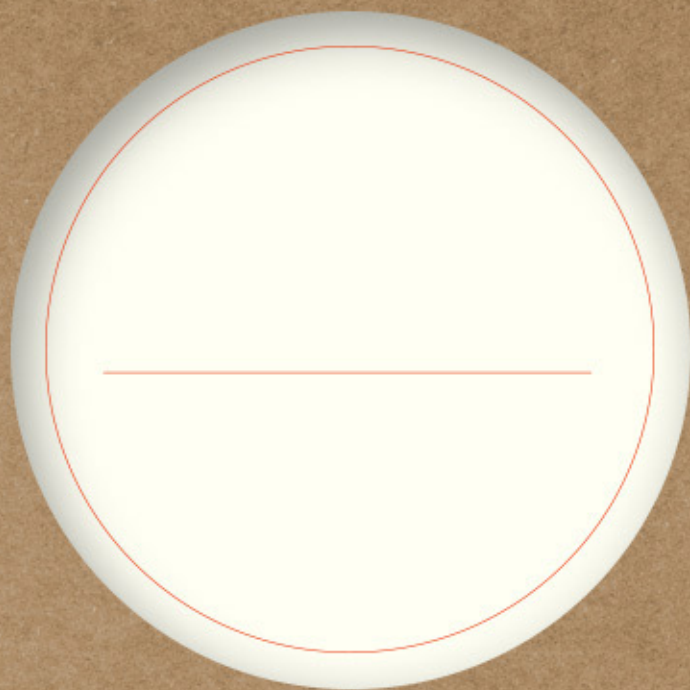




GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
· NGU ·

NGU RAPPORT 2023.021

Oversikt over kritiske metaller og mineraler i
Norge



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
- NGU -

NGU RAPPORT

Geologi for samfunnet – kunnskap for framtida

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315 Torgarden
7491 Trondheim
Tlf. 73 90 40 00

Rapport nr: 2023.021

ISSN: 0800-3416 (trykt)

ISSN: 2387-3515 (online)

Gradering: Åpen

Tittel: Oversikt over kritiske metaller og mineraler i Norge

Forfatter: Håvard Gautneb, Terje Bjerkgård, Jan Sverre Sandstad

Oppdragsgiver:

Fylke:

Kommune:

Kartblad: (M=1:250.000):

Kartbladnr. og -navn: (M=1:50.000):

Forekomstens navn og koordinater:

Sidetall:

Pris: 200

Feltarbeid utført:

Rapportdato:

Prosjektnr: 403700

Ansvarlig: Kari A. Aasly

Emneord: Kritiske mineraler, Industrimineraler, Metaller, Mineralressurser, Metallforekomster
Metallbehov

Sammendrag:

Hvert tredje år siden 2011 har EU-kommisjonen beregnet forsyningsrisiko og økonomisk betydning for råvarer som EU trenger for drift og utvikling av industri i Europa. Resultatene presenteres i lister over «kritiske råvarer», som omfatter de mineraler og metaller som har høyest forsyningsrisiko og størst betydning for europeisk økonomi. I 2023 innførte EU-kommisjonen i tillegg begrepet «strategiske råvarer» basert på forventet fremtidig produksjon og behov. EUs lister over kritiske og strategiske råvarer for 2023 omfatter 34 mineraler og metaller og er utgangspunktet for gjennomgangen som presenteres i rapporten her.

Norge har en primærproduksjon av kritiske råvarer og en svært viktig nedstrøms produksjon av kritiske metaller, til dels basert på norsk mineralproduksjon. Potensialet for ytterligere norsk primærproduksjon er betydelig, men et omfattende geologisk datasett er nødvendig for å avklare mulighetene og legge til rette for målrettet industriell leting.

Kjemiske analysedata fra kjente mineralregisteringer utgjør et viktig kunnskapsgrunnlag for vurdering av potensialet for kritiske og strategiske metaller og mineraler i Norge. I denne rapporten er kjemiske analyser av metall- og mineralregisteringer (inkludert forekomster) i NGUs ressursdatabaser sammenstilt og presentert i kartform som et verktøy for bedre forståelse av det norske potensialet for kritiske råvarer. Grunnlaget for denne sammenstillingen er over 9000 analyser fra mer enn 2100 befarte registreringer av metaller og mineraler.

Rapporten utgjør en del av NGUs oppdrag knyttet til regjeringens mineralstrategi 2023 for tilgjengeliggjøring og tilrettelegging av data for leteindustri og offentlighet.

Erratum: Første trykk av rapporten inneholdt gjentakelse av kap.3.2.1, 3.4.1 og 3.4.2 slik at underkapitler i kap. 3.4 er endret og går fra 3.4.1 til 3.4.7 i denne versjon.

INNHold

Executive summary	5
1. Innledning	6
2. Bakgrunnsinformasjon	6
2.1 Materiale og metoder	8
2.2 Begrepsdefinisjoner	9
Metaller, hoved-metaller og bi-metaller	9
3. Kritiske metaller og industrimineraler	11
3.1 Metallgrupper	11
3.2 Kritiske metaller	12
3.2.1 Antimon (Sb)	13
3.2.2 Beryllium (Be)	13
3.2.3 Gallium (Ga)	14
3.2.4 Germanium (Ge)	14
3.2.5 Indium (In)	14
3.2.6 Kobber (Cu)	15
3.2.7 Kobolt (Co)	15
3.2.8 Nikkel (Ni)	16
3.2.9 Niob (Nb)	17
3.2.10 Platinagruppe-metaller (PGM)	17
3.2.11 Scandium (Sc)	18
3.2.12 Sjeldne jordartsmetaller (REE)	18
3.2.13 Tantal (Ta)	19
3.2.14 Titan (Ti)	20
3.2.15 Vanadium (V)	20
3.2.16 Vismut (Bi)	21
3.2.17 Wolfram (W)	21
3.2.18 Zirkonium (Zr)	22
3.3 Kart over kritiske metaller	23
3.4 Kritiske industrimineraler	42
3.4.1 Barytt (BaSO_4)	44
3.4.2 Feltspatmineraler inkludert nefelinsyenitt	44
3.4.3 Flusspat (CaF_2)	45
3.4.4 Fosfatbergarter, apatitt	45
3.4.5 Grafitt	46
3.4.6 Magnesium-mineraler, olivin, dolomitt og magnesitt	46
3.4.7 Kvarts til silisium-metall	46
3.5 Kart over kritiske industrimineraler	48
4. Resultater og anbefalt videre arbeid	56
4.1 Videre arbeid	56
5. Referanser	57

Vedlegg 1: Definisjon av begrepene strategiske og kritiske materialer.....	60
--	----

Figurer

Figur 1: Hoved- og bimetaller, indre sirkel viser hovedmetallene mens assosierte bimetaller med avtagende grad av tilknytning ligger utover fra sentrum modifisert etter (Nassar et al., 2015). Figuren illustrerer fordelingen både for innhold og verdikomponenter.	10
Figur 2: Forekomster og registreringer klassifisert etter metallgruppe. Symboler i rødt markerer registreringer som mangler analyser. De fleste av disse er heller ikke bekreftet. Vær oppmerksom på at punktettheten også avspeiler kartleggingsgrad og kunnskapsnivå.	12
Figur 3: Antimon-innholdet i norske mineralregistreringer.	23
Figur 4: Beryllium-innhold i norske mineralregistreringer.....	24
Figur 5: Indium-innhold i norske mineralregistreringer.....	25
Figur 6: Kobber-innhold i norske mineralregistreringer.....	26
Figur 7: Kobolt-innhold i norske mineralregistreringer.....	27
Figur 8: Nikkel-innhold i norske mineralregistreringer.....	28
Figur 9: Niob-innhold i norske mineralregistreringer.....	29
Figur 10: Innhold av platinagruppens metaller (PGM) i norske mineralregistreringer.....	30
Figur 11: Scandium-innhold i norske mineralregistreringer.....	31
Figur 12: Sum av sjeldne jordartsmetaller (REE) i norske mineralregistreringer.....	32
Figur 13: Tantal-innhold i norske mineralregistreringer.....	33
Figur 14: Titan-innhold i norske forekomster og registreringer (element-analyser).....	34
Figur 15: TiO ₂ i ilmenitt og rutil registreringer (oksid-analyser).....	35
Figur 16: TiO ₂ i slig (magnetittkonsentrat, data fra Elkem).....	36
Figur 17: Vanadium-innhold i totalbergart (bulk-analyse).....	37
Figur 18: Innhold av vanadium i slig (magnetittkonsentrat).....	38
Figur 19: Vismut-innhold i norske mineralregistreringer.....	39
Figur 20: Wolfram-innhold i norske mineralregistreringer.....	40
Figur 21: Zirkonium-innhold i norske mineralregistreringer.....	41
Figur 22: Forekomster og registreringer av kritiske og strategiske industrimineraler, inkludert industrimineraler som kan bli råstoff for kritiske raffinerte metaller.	43
Figur 23: Norske barytregistreringer.....	48
Figur 24: Norske feltspat-registreringer.....	49
Figur 25: Norske forekomster og registreringer av nefelinsyenitt.....	50
Figur 26: Norske flusspat-registreringer.....	51
Figur 27: Norske forekomster og registreringer av apatitt (fosfat-råstoff).....	52
Figur 28: Norske grafitt-registreringer. Forekomster som er, eller har vært i drift, er navnsatt.....	53
Figur 29: Norske registreringer av magnesium-mineralene olivin, dolomitt og magnesitt.....	54
Figur 30: Norske kvarts-registreringer. Viktige forekomster er navnsatt.....	55

Tabeller

Tabell 1: Kritiske råvarer (European Commision, 2023).....	7
Tabell 2: Strategiske råvarer (European Commision, 2023).....	7
Tabell 3: Utvalgte bruksområder for sjeldne jordartsmetaller.....	18
Tabell 4: Kritiske industrimineraler i Norge.....	42

Executive summary

Every three years since 2011, the European Commission calculates the supply risk and economic importance of raw materials needed by the EU for the operation and development of industry in Europe. The results are presented in lists of 'critical raw materials', which include the minerals and metals with the highest supply risk and greatest importance to the European economy. In 2023, the European Commission also introduced the term "strategic raw materials" based on expected future production and needs. The EU's lists of critical and strategic raw materials for 2023 include 34 minerals and metals and are the basis for the review of critical raw materials in Norway presented in this report.

Norway has a primary production of critical raw materials and a very important downstream production of critical metals, partly based on Norwegian mineral production. The potential for additional Norwegian production is considerable, but comprehensive datasets and geological understanding are needed to clarify the opportunities and facilitate targeted industrial exploration. Chemical analyses from known mineral deposits constitute an important knowledge base for assessing the potential for critical and strategic metals and minerals in Norway.

In this report, we have compiled chemical analyses of metal and mineral occurrences and deposits from NGU's resource databases and present these data on maps as a tool for a better understanding of where in Norway the potential for the different critical raw materials is. The basis for this compilation is over 9000 analyses from more than 2100 surveyed occurrences and deposits. The report is a part of NGU's mission related to the government's mineral strategy 2023 for making data available and facilitate for the exploration industry and the public.

1. INNLEDNING

NGU har i mer enn 30 år samlet inn data om forekomster av metaller og mineraler i Norges berggrunn. Disse dataene er systematisert og arkivert i NGUs ressursdatabaser (https://geo.ngu.no/kart/mineralressurser_mobil/). Basert på data i databasene gir denne rapporten en oversikt over hvor kritiske metaller og mineraler opptrer i Norge. Rapporten er et svar på regjeringens mineralstrategi (2023) og strategiens krav til prioritering av geologiske undersøkelser rettet mot kritiske råvarer gjennom NGUs tildelingsbrev for 2023 og 2024. Både i Europa og i Norge har regjeringene prioritert undersøkelser av kritiske råvarer med henblikk på økt egenproduksjon, og for NGU vil dette være en prioritert oppgave i mange år framover.

2. BAKGRUNNSINFORMASJON

Den raske utviklingen i teknologisk innovasjon som verden har sett de siste tiårene har bare vært mulig fordi et stadig større antall metaller og andre råvarer har blitt tatt i bruk. Det er imidlertid en økende bekymring rundt forsyningssikkerheten til mange av disse råvarene. Dette er ikke noe nytt; i flere århundrer har det i ulike perioder vært bekymring for tilgangen (og fremtidig forsyning) på viktige råvarer og produkter laget av dem. I midten av det 19. århundre kom Jevons (1866) med en advarsel om at Storbritannia kunne gå tom for kull på grunn av den raske økningen av kulldrevet industri. Under den kalde krigen var det bekymringer knyttet til Sovjetunionens dominans i produksjonen av mange kritiske og strategiske materialer og at dette kunne resultere i en ressurskrig (Szuprowicz, 1981). I samme periode dominerte Sør-Afrika verdensproduksjonen av platinagruppens metaller, krom, vanadium og mangan mens landet var under handelsboikott fra mange land på grunn av apartheid.

Etter begynnelsen av 2000-tallet har markedsliberalisme og monopolisering kombinert med geopolitisk uro, råvarenasjonalisme, og manglende aksept av den miljøpåvirkning som finner sted ved produksjon av naturressurser blitt viktige faktorer (Jowitt et al., 2020). Dette har resultert i en «outsourcing» med konsentrasjon av produksjonen av mange råvarer til land med lavere produksjonskostnader og mindre restriktiv miljølovgivning. Dette har igjen medført ny bekymring for adgang til nødvendige råvarer på kort og mellomlang sikt. Et kjernepunkt er Kinas dominans både i forsyning og produksjon av produkter fra mange viktige mineralske råvarer som sjeldne jordartsmetaller (REE), wolfram, antimon og mange andre. Sentralt i denne problemstillingen er også de svært store endringene og økning i materialbehovet når olje, gass og kull skal erstattes med elektrisitet som energikilde og energibærer.

Det er viktig å poengtere at det i utgangspunktet ikke er geologisk mangel på primære råvarer i form av metaller og mineraler. Råvarer blir kritiske og strategiske som følge av manglende diversifisering, manglende samfunnsaksept, konkurranseutsettelse og strategisk monopolisering.

Forståelsen av dette problemet førte til at EU-kommisjonen skrev sin første råvarestrategi (European Commission, 2008) og etterfølgende gjennomførte kritikalitetsanalyser innen de industrielle mega-sektorer i EU. Den første analysen ble gjennomført i 2011, deretter i 2014, 2017, 2020 og senest i 2023 som en del av EU-kommisjonens arbeid med Critical Raw Materials Act (European Commission, 2023).

Blengini et al. (2020) presenterte en meget omfattende studie med detaljerte beskrivelser av både kritiske og ikke-kritiske råvarer. Lignende studier er publisert i USA (Nassar & Fortier, 2021), de nordiske landene (Hallberg & Reginiussen, 2018; Eilu et al., 2021; Jonsson et al., 2022), Canada (Natural Resources Canada, 2022) og Australia (Australian Government, 2023).

EUs Critical Raw Materials Act, har klare krav til stimulering av letevirksomhet gjennom geologisk kartlegging, samt for produksjon, bearbeiding og gjenvinning av kritiske råvarer. For eksempel lyder artikkel 18:

“Each Member State shall draw up a national programme for general exploration targeted at critical raw materials...”

Videre:

“The national exploration programs referred to in paragraph 1 shall include measures to increase available information on the Union’s critical raw material occurrences, including deep ore deposits”.

Kritiske og strategiske metaller og mineraler som behandles i denne rapporten kommer fra EU kommisjonens liste fra 2023 og er vist i tabell 1 og 2.

Tabell 1: Kritiske råvarer (European Commission, 2023).

Kritiske råvarer	Kritiske råvarer	Kritiske råvarer
Antimon	Hafnium	Platinagruppens metaller (PGM)
Arsen	Helium	Scandium
Barytt	Kobber	Silisium-metall
Bauxitt	Kobolt	Strontium
Beryllium	Kull for koks	Tunge sjeldne Jordartsmetaller (HREE)
Bor	Lette sjeldne Jordartsmetaller (LREE)	Vismut
Feltspat	Litium	Tantal
Fosfatbergart	Magnesium	Titanmetall
Fosfor	Mangan	Vanadium
Gallium	Naturlig grafitt	Wolfram
Germanium	Nikkel	

Tabell 2: Strategiske råvarer (European Commission, 2023).

Strategiske råvarer	Strategiske råvarer
Vismut	Nikkel (for batterier)
Bor (metallurgisk)	Platinagruppens metaller
Kobolt	Sjeldne jordartsmetaller for magneter
Kobber	Silisiummetall
Gallium	Titanmetall
Germanium	Wolfram
Litium	Syntetisk grafitt
Magnesium metall	Aluminium
Manganmetall (for batterier)	

Metaller og andre råvarer er alltid del av en verdikjede fra gruvedrift til sluttprodukt. For eksempel foregår ofte metallframstilling andre steder (i andre land) enn den forutgående utvinningen. Dersom ett mellomledd i kjeden foregår i en setting som defineres som kritisk vil hele verdikjeden

bli kritisk. En detaljert gjennomgang av de forskjellige parameterne som definerer kritikalitet er vist i vedlegg 1.

Som vist i vedlegg 1 er det to forhold som er de viktigste for å redusere kritikalitet.

- 1) Øke antall produksjonssteder i land med stabil politisk styring
- 2) Øke graden av resirkulering/gjenbruk

Når totalforbruket, øker eller forventes å øke, må resirkulering kombineres med økt primær produksjon.

2.1 Materiale og metoder

Rapporten gir en oversikt over registreringer av kritiske metaller og mineraler i Norge som er systematisert i NGUs nasjonale mineralressursdatabaser. Den norske mineralloven § 7 (Mineralloven, 2010) skiller mellom statens og grunneierens mineraler,. Metallene som har egenvekt større enn 5 g/cm³ samt svovel, titan og malmene av disse er statens mineraler, mens metaller med mindre egenvekt og industrimineraler tilhører grunneier. NGUs mineralressurser databaser er delt i 3: 1) Malmdatabasen som omfatter forekomster som er statens mineraler, 2) Industrimineraldatabasen som omfatter de tradisjonelle industrimineralene og 3) Natursteinsdatabasen som omfatter natursteinsforekomstene med blokkstein og skifer, sistnevnte blir ikke omtalt her. Mineralressursdatabasene inneholder ca. 4600 registreringer av metaller og 2400 registreringer av industrimineraler.

Mineralregistreringene blir kartlagt og prøvetatt og det blir utført analyser av malm- og mineralprøver. Dette er et pågående arbeid. Databasene gir informasjon om blant annet beliggenhet, geologi, driftshistorikk og dannelsesprosesser. For de metalliske registreringene har NGU i dag et datasett på over 10 000 kjemiske analyser som inneholder både hovedmetaller og spormetaller fra 2115 registrerte mineraliseringer. Tilsvarende data finnes i liten grad for de kritiske industrimineralene (med unntak av mineralgrupper som har vært systematisk undersøkt). Dette skyldes dels at drift på disse er basert på andre parametere som kvalitet og renhet og dels at data fra industrien, f.eks. tonnasje, ikke er tilgjengelig.

Analysedata for mineralregistreringene er basert på prøver innsamlet over en periode på mer enn 30 år. Det har derfor blitt brukt flere forskjellige analysemetoder, noe som blant annet gir seg utslag i forskjellig følsomhet (deteksjonsgrenser) for en del elementer. Det er også først i de seinere årene at NGU har begynt å analysere for en del av spormetallene, blant annet er det bare ca. 380 mineraliseringer som er analysert for gallium, germanium, indium og tantal.

For hver registrering er det analysert et antall prøver som er innsamlet fra fast fjell og/eller fra tipphaugene utenfor mineraliseringene. Noen ganger er det prøver fra enkelte blokker, andre ganger kan det være samleprøver fra tipphaugene. Prøvene har som regel blitt analysert ved kommersielle laboratorier i utlandet som rutinemessig også brukes av gruveselskapene.

Det er et sterkt varierende antall prøver fra de forskjellige registreringene, fra en til over 50 prøver. For hver registrering har vi derfor regnet ut en medianverdi. Dette gjør at effekten av en anomal prøve ikke blir så stor i de tilfeller det er få prøver som er analysert fra en registrering.

2.2 Begrepsdefinisjoner

En mineralforekomst er en lokalitet der geologiske prosesser har anriket komponenter til konsentrasjoner som er høye nok til at de blir økonomiske interessante og kan være drivverdig. I Norge bruker vi oftest begrepet malm dersom komponenter i en forekomst kan tas ut med fortjeneste. Anrikningsgraden som er nødvendig før en forekomst anses økonomisk interessant varierer fra 4-5 ganger for vanlige metaller som aluminium og jern til flere tusen ganger for sjeldne metaller som gull og platina (Robb, 2020).

Mineralforekomstene deles inn i forskjellige typer basert på graden av informasjon som er tilgjengelig om dem. I NGUs nomenklatur bruker vi følgende definisjoner (Dahl et al., 2014).

a) Mineralregistrering (mineral occurrence): en lokalitet der det er registrert en anrikning av et metall eller mineral over det som er normalt.

b) Mineralprospekt (mineral prospect): en eller flere lokaliteter med anrikning, som er arealbegrenset, men som ikke har en definert tonnasje.

c) Mineralforekomst (mineral deposit): en lokalitet der det er registrert en anrikning over det normale og der en har informasjon om metallinnhold og tonnasje. En mineralforekomst vil da alltid ha en definert arealbegrensning.

I denne rapporten bruker vi begrepet registrering eller mineralisering for alle typer forekomster, siden det ikke kan gjøres noen økonomiske vurderinger basert på de innsamlede prøvene.

Begrepet ressurser/mineralressurser brukes i overensstemmelse med INSPIRE-direktivet som en beskrivelse av naturlige konsentrasjoner av mineraler eller bergarter som er eller kan bli økonomisk interessante i kraft av deres iboende egenskaper, som f.eks. metallinnhold, kvalitet mm.

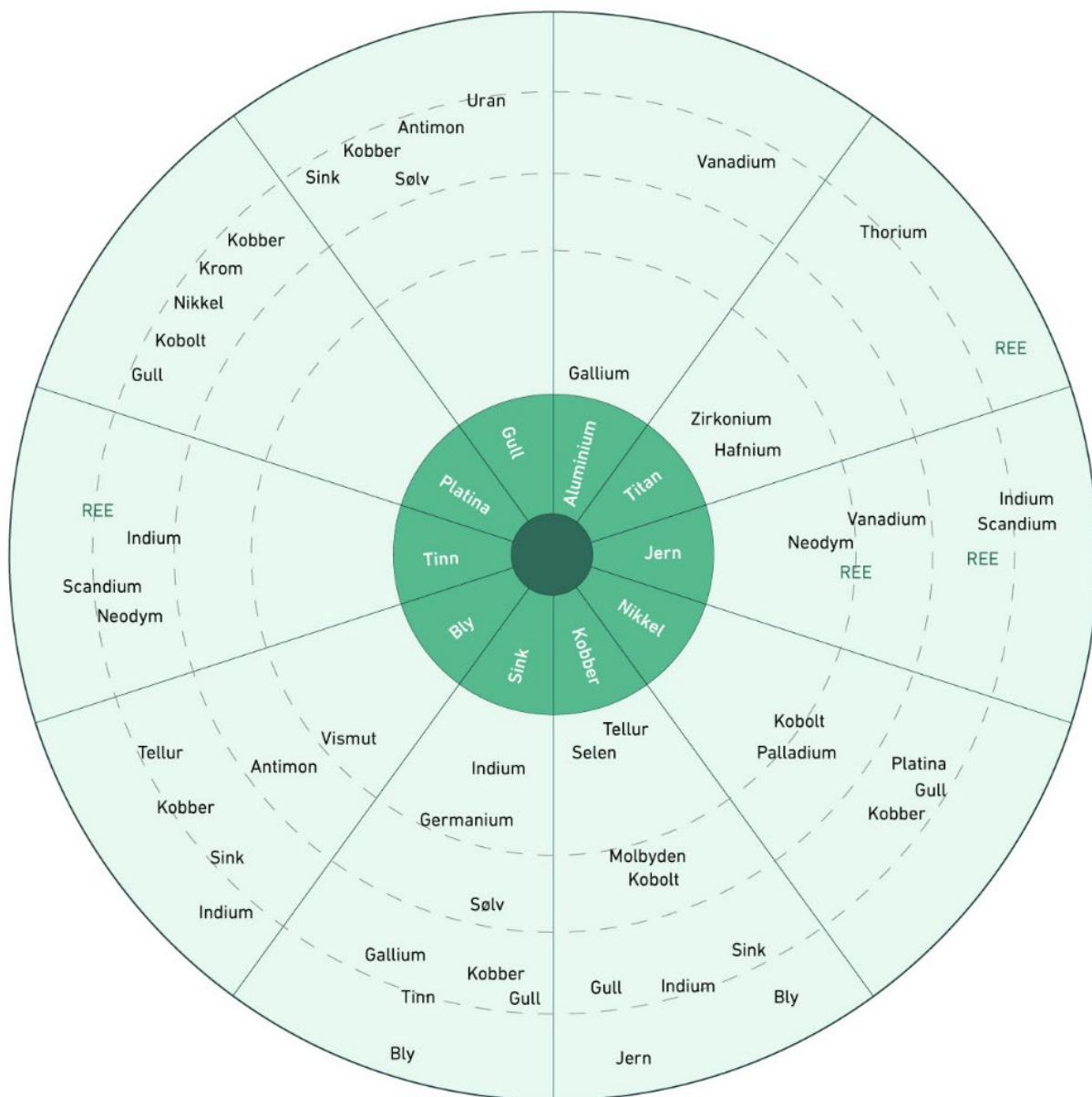
Metaller, hoved-metaller og bi-metaller

De fleste metallene opptrer i grupper slik at et hovedmetall er assosiert med en rekke andre bi-metaller. Dette er illustrert i Figur 1. Den indre sirkelen i figuren viser hovedmetallene, det vil si de mest vanlige metallene i en forekomst, og vanligvis også de største verdikomponentene. Sektorene viser bi-metallene assosiert med de enkelte hovedmetallene og de befinner seg med økende avstand fra sentrum ut fra hvor stor grad av assosiasjon de har til hovedmetallene.

En viktig faktor knyttet til forholdet rundt produksjon av metaller og spesielt når det gjelder kritiske metaller er at mange av metallene er bi-metaller. Det vil si at det er produksjonen av hovedmetallet som bestemmer hvor mye av bi-metallene som kan bli produsert. For eksempel vil produksjonen av sink fra en forekomst bestemme hvor mye indium som blir utvunnet. Fra figur 1 (Nassar et al., 2015) ser vi også at for eksempel vanadium følger jern og at kobolt følger nikkel og kobber. Dette innebærer at hvis vi ønsker å øke produksjonen av de kritiske metallene vanadium og kobolt så må produksjonen av jern og nikkel og/eller kobber økes.

Det følger også at dersom vi for eksempel skal utvinne, eller lete etter kobolt i Norge, så bør vi undersøke nikkel- og eller kobber-registreringer.

Forholdet mellom hoved- og bi-metaller er detaljert beskrevet av Nassar et al. (2015).



Figur 1: Hoved- og bimetaller, indre sirkel viser hovedmetallene mens assosierte bimetaller med avtagende grad av tilknytning ligger utover fra sentrum modifisert etter (Nassar et al., 2015). Figuren illustrerer fordelingen både for innhold og verdikomponenter.

3. KRITISKE METALLER OG INDUSTRIMINERALER

I det følgende kapitlet vil vi beskrive de forskjellige kritiske metallene og mineralene som Norge har forekomster og registreringer av. Bruksområdene for de enkelte materialene er bare kort beskrevet. Opplysninger om bruk- og markedsforhold finnes i Latunussa et al. (2020), og spesielt for nordiske forhold henvises det til Eilu et al. (2021). For en populærvitenskapelig beskrivelse av grunnstoffene og deres bruk anbefales Eynard et al. (2020) og Røyne (2019).

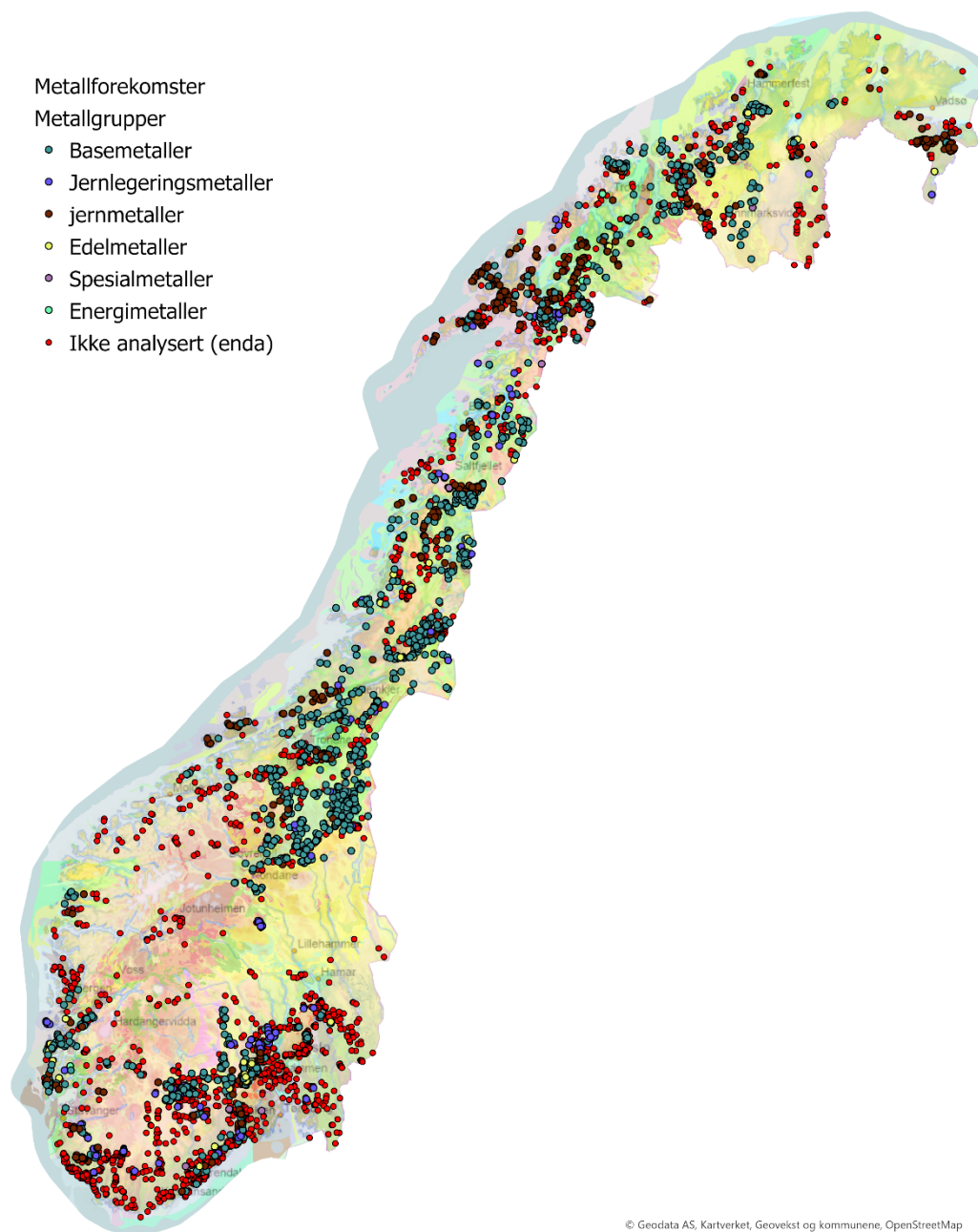
3.1 Metallgrupper

Metallene deles inn grupper basert på kjemiske egenskaper og dels bruksområder:

Metallene er i NGUs mineralressursdatabase delt inn i grupper for å kunne brukes i søk og plott (Ihlen et al. 1997). Inndelingen er dels basert på kjemiske egenskaper og bruksområder og er tilpasset hvilke metaller som finnes i forekomster og registreringer i Norge.

1. Basemetaller er metaller som ikke er edelmetaller, jern- eller jernlegeringsmetaller og oksideres lett i kontakt med luft. Kobber (Cu), sink (Zn), bly (Pb) regnes vanligvis som g basemetaller. Kobber er det eneste av disse som regnes som kritisk og strategisk metall. Fra figur 1 ser vi at antimon (Sb), gallium (Ga), germanium (Ge), indium (In), og vismut (Bi) er kritiske metaller som opptrer som bi-metaller til basemetallene. Disse har alle spesielle egenskaper og kan klassifiseres som spesialmetaller. I tillegg er arsen (As), jernsulfider (Fe-sulfider) og tinn (Sn) inkludert i denne gruppen i databasen.
2. Jernlegeringsmetaller er metaller som brukes til jernlegeringer. Dette er i hovedsak metallene kobolt (Co), krom (Cr), molybden (Mo), nikkel (Ni), vanadium (V) og wolfram (W). Kobolt, nikkel og wolfram regnes som kritiske metaller.
3. Jernmetaller er metallene jern (Fe), titan (Ti) og mangan (Mn). Titan og mangan er kritiske metaller.
4. Edelmetaller er gull (Au), sølv (Ag) og platinagruppe-metallene (PGM) som består av iridium (Ir), osmium (Os), palladium (Pd), platina (Pt), rhodium (Rh) og ruthenium (Ru).
5. Spesialmetaller er metaller som utnyttes på grunn av sine spesielle egenskaper. De viktigste av disse er beryllium (Be), litium (Li), niob (Nb), scandium (Sc), sjeldne jordartsmetaller (REE) og tantal (Ta). Alle spesialmetallene regnes som kritiske.
6. Energimetaller er thorium (Th) og uran (U).

Hvordan disse metallgruppene fordeler seg i Norge er vist i Figur 2.



Figur 2: Forekomster og registreringer klassifisert etter metallgruppe. Symboler i rødt markerer registreringer som mangler analyser. De fleste av disse er heller ikke bekreftet. Vær oppmerksom på at punkttettheten også avspeiler kartleggingsgrad og kunnskapsnivå.

3.2 Kritiske metaller

I dette kapitlet beskriver vi registreringer, forekomster og observasjoner av kritiske metaller. Det henvises til kartfigurer som er samlet under kapittel 3.3. Kartene viser medianverdi for hver enkelt registrering, og som er regnet ut basert på analysene i mineralressursdatabasene. Det er viktig å være klar over at kartene bare tar hensyn til innholdet av det respektive metall, og ikke størrelsen av mineraliseringene. Små mineraliseringer med høyt metallinnhold plottes som rike, men kan i mange tilfeller likevel betraktes som kuriositeter. Det har likevel

en verdi å plote slike mineraliseringer fordi de viser lokaliteter der geologiske prosesser har resultert i en anrikning, og observasjonene kan indikere områder der ukjente, større forekomster kan finnes f.eks. på dypet.

3.2.1 Antimon (Sb)

Den viktigste bruken av antimon er som flammehemmer, da i kombinasjon med brom eller klor. Andre viktige bruksområder er som legeringsmetall sammen med bly, spesielt i framstilling av blybatterier.

Det viktigste antimonførende mineralet er stibnitt (Sb_2S_3). I Norge er stibnitt kjent fra bl.a. Svenningdalen sølvgruver og Kolsvik og Reppen gullforekomster (Selbekk, 2010). For øvrig er antimon et element som er anrikt i blyrike mineraliseringer. Det er 7 registreringer som har mer enn 600 ppm antimon i de innsamlede prøvene til malmdatabasen (Figur 3).

Tre av disse registreringene har bare en eller to prøver og kan derfor ikke regnes som representative. De fire registreringene med representative analyseverdier er alle bly- eller bly-sinkrike mineraliseringer. De er gangmineraliseringer (Susendal, Strømslia), metasomatiske mineraliseringer (Meland) og kanskje av ekshalativ (Listauli) opprinnelse og tilknyttet karbonater (Frostmoen). De er alle ubetydelige og uten økonomisk interesse med unntak av Frostmoen hvor videre undersøkelser pågår.

3.2.2 Beryllium (Be)

Beryllium er et viktig metall for legering i spesielle kobberlegeringer, til bruk i bil-, fly- og forsvarsindustri. Beryllium-kobberlegeringer er særlig sterke og harde. Beryllium brukes også i røntgenutstyr og partikkeldetektorer.

De viktigste beryllium-mineralene er beryll ($\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$) og bertranditt ($\text{Be}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2$), men også krysoberyll (BeAl_2O_4), og fenakitt (Be_2SiO_4) er viktige mineraler. Hambergitt ($\text{Be}_2(\text{BO}_3)(\text{OH})$) er berylliummineral som første gang ble funnet ved Helgeroa.

I Norge kjenner vi i dag kun ett område som er interessant når det gjelder beryllium, Høgtuva i Nordland (Figur 4). Det er identifisert en forekomst i Høgtuva, Bordvedåga, som inneholder 350 000 t med 0.18 % Be, men også 606 ppm Nb, 1.3 % Zr og 0.11 % Y. (Wilberg, 1987)

I Høgtuva er det mineraliseringer av forskjellig type med ulik geokjemi og mineralogi. Forekomststypene er disseminasjoner i 1) granittisk gneis, 2) flusspatrike horisonter i gneis, 3) flusspatrikt skarn, 4) aplitt, 5) pegmatitt og 6) udeformerte kvartsårer. Beryllium-mineralene fenakitt, høgtuvaitt, beryll, gadolinit, danalitt, genthelvin og helvin opptrer i ulike parageneser i de ulike mineraliseringstyper. Bordvedåga-forekomsten er et eksempel på type 1), som økonomisk sett er mest interessant (Schilling et al., 2015). Beryllium er hovedsakelig bundet i mineralet fenakitt med mindre mengder i gadolinit, genthelvin og høgtuvaitt. Formen på Be-mineraliseringen er noe uregelmessig, men i grove trekk er det to linser med rik mineralisering adskilt av et lavgehaltig parti. Over, under og mellom malmlinsene opptrer det som er betegnet Y-sone og som er anrikt på Y, Ce, La, Rb, Li, Zn, Pb og Co. En eventuell drift på forekomsten må i hovedsak baseres på beryllium, men flere andre elementer er aktuelle som biprodukter. Flotasjonsforsøk har vist at malmen kan gi et fenakitt-konsentrat

med 23% BeO med gjenvinning på ca. 80% (Wilberg & Lindahl 1991). Undersøkelsen viste også at Be godt kan lutes fra et fenakitt-konsentrat med syre. Kart over beryllium-registreringer er vist på Figur 4.

3.2.3 Gallium (Ga)

Gallium har sin viktigste bruk i produksjon av halvledere i legering med arsen (galliumarsenid, GaAs). For eksempel er noen av komponentene i mobiltelefoner avhengig av galliumarsenid. Et annet viktig bruksområde er til foto-voltaiske produkter (bl.a annet solceller), da sammen med indium og selen.

Gallium er et grunnstoff som opptrer sammen med aluminium og er et biprodukt ved oppredning av bauxitt og alumina. Gallium opptrer også i sinkrike malmer. Norge hadde tidligere en liten produksjon av gallium da norske aluminiumsverk framstilte aluminium-metall basert på Søderberg-elektroder (Lundberg, 1986). Norsk Hydros smelteverk på Vigeland produserte for eksempel på slutten av 1960 årene ca. 200-250 kg gallium per år. I dag er det nesten ingen Søderberg-anlegg igjen.

Det er ikke funnet forekomster i Norge med særlig anrikning av gallium (derfor ingen kart).

3.2.4 Germanium (Ge)

Den viktigste bruken av germanium er til såkalt infrarød optikk. Germanium er transparent for infrarød stråling. Forsvarsteknologi, satellitt-teknologi og medisinske produkter er de største brukere av germanium. Metallet brukes også i fiberoptikk, solceller og LED belysning.

Germanium er et metall som tas ut ved raffinering av i hovedsak sinkrike malmer. Det er så langt ikke funnet noen forekomster med gehalter av germanium som er økonomisk interessante i Norge. De høyeste medianverdiene er bare 3 ppm. Det er imidlertid først i de seinere årene at NGU har begynt å analysere for en del av spormetallene, blant annet germanium. Derfor finnes det kun germanium-verdier for knapt 20 % av de prøvetatte registreringene.

3.2.5 Indium (In)

Indium brukes i touch-skjermer og tynne filmer på solceller, men også i spesielle lavtemperatur legeringer, LED belysning og batterier. Dette skyldes egenskapene til indiumtinnoksid som er gjennomsiktig, samtidig som det leder strøm. Metallet er et element som går inn i krystallstrukturen til sinkblende og utvinnes derfor ved raffinering og smelting av sinkmalmer. Det finnes for øvrig svært få indiummineraler, det mest vanlige er roquesitt (CuInS_2).

Det er ikke funnet forekomster i Norge med særlig høyt innhold av indium, kun seks registreringer har mer enn 20 ppm In i medianverdi, og kun Listaulli i Telemark har mer enn 50 ppm (62 ppm). Som for germanium, er knapt 20 % av de prøvetatte registreringene analysert for indium. Kart over registreringer av indium er vist på Figur 5.

3.2.6 Kobber (Cu)

Sammen med jern og aluminium er kobber blant de mest brukte metallene. Kobberets viktigste egenskap er at det er en god elektrisk leder og at det er bestandig mot korrosjon.

Forekomster med et høyt kobberinnhold er spredt over hele landet og anrikning av kobber finnes i flere forskjellige forekomsttyper: 1) VMS-forekomster, 2) Magmatiske Ni-Cu forekomster, 3) Sedimentære kobberforekomster, 4) Orogene gangforekomster.

VMS-forekomstene (VMS - vulkanogene massive sulfidforekomster som er ekshalative sulfidforekomster knyttet til vulkansk aktivitet) utgjør samlet sett de største kobberressursene i Norge med en rekke større forekomster, som også har tilleggsverdier i sink og ofte også sølv. Noen er også forholdsvis rike i gull og enkelte spormetaller (som kobolt, selen og vismut). De finnes over hele landet fra Rogaland i sør til Troms i nord. De største VMS-forekomstene er Joma (11 Mt gjenstående ressurser med 1.49% Cu), Løkken (6 Mt gjenstående ressurser med 2.3% Cu) og Giken i Sulitjelmafeltet (4.7 Mt gjenstående ressurser med 2.25% Cu).

De magmatiske forekomstene (forekomster knyttet til gabbro og andre dypbergarter) inneholder typisk 0.5-0.7% Cu i tillegg til 0.5-1.0% Ni. De største av disse er Råna (9.15 Mt med 0.13% Cu) og Ertelia (2.7 Mt med 0.69% Cu), samt forekomstene i Espedalen.

De sedimentære kobberforekomstene finnes i Finnmark og utgjør svært viktige kobberressurser på nasjonalt nivå. Nussir har en ressurs på 73 Mt malm med 1.1% Cu, mens den nærliggende Ulveryggen har 8 Mt malm med 0.81% Cu. I Alta-Kvæningen området er det en rekke mindre kobbermineraliseringer i dolomitt som også dels er rike i kobolt.

De orogene gangmineraliseringene (forekomster knyttet til tektonisk og metamorf aktivitet) finnes særlig i Sør-Norges grunnfjell. De består gjerne av chalcositt (kobberglans) og bornitt med mindre mengder kobberkis i kvartsganger. Mineraliseringene inneholder også ofte en god del molybdenglans, sølv og vismut, samt gull. De er gjerne svært rike, men de kjente registreringene har en for liten tonnasje til drift. Kobberrike kvarts-karbonatganger som dels er anriket på gull er også vanlig i grunnfjellet i Troms og Finnmark, og selv om enkelte av disse, som Kåfjord ved Alta, hadde stor betydning på slutten av 1800-tallet fremstår de små i dag. Kart over fordelingen av kobber er vist på Figur 6.

3.2.7 Kobolt (Co)

Det viktigste bruksområdet til kobolt i dag er til oppladbare batterier (ca. 40%), mens andre viktige bruksområder er til legeringer av forskjellige typer, blant annet superlegeringer og hardmetall-legeringer. Tidligere var kobolt svært viktig for framstilling av fargepigmenter (som koboltblått) og ble nesten bare brukt til dette, men i dag er dette et svært lite bruksområde (ca. 5%).

Kobolt er særlig anriket i magmatiske nikkel-kobberforekomster, men det er også relativt høyt innhold i noen VMS-forekomster og i sedimentære kobberforekomster.

Norge var en svært viktig produsent av kobolt på 1800-tallet, da koboltgruvene på Modum var i drift. Kobolten ble brukt til produksjon av blått pigment (koboltblått) til porselensmaling og blått glass. I 1890-årene avtok malmreservene hurtig, noe som førte til at gruvene ble nedlagt i 1898. Det var også et lite koboltverk i Snarum (ved Langerud) som var i drift fra 1822 til 1848. Dannelsen av Modum-forekomstene er ikke forstått, men det er en rekke teorier knyttet til ekshalativ dannelse, magmatiske fluider eller metasomatiske prosesser. Sonen med sulfidmineralisering, kalt fahlbånd, kan følges fra Skuterud og videre 11-12 km nordover til Langerud. Sonen er ikke kartlagt i detalj og det er et uavklart potensial for nye forekomster. Det er også en tilsvarende og parallell sone på østsiden av Snarumselva.

I Norge er det en del kjente ressurser av kobolt, hvorav mye finnes i magmatiske nikkel-kobberforekomster. De viktigste er Råna i Ballangen, Ertelia ved Hønefoss og forekomstene i Espedalen. Det er også anrikning av kobolt i en del VMS-forekomster, spesielt de som er tilknyttet basaltiske bergarter. Dette gjelder blant annet Løkken i Meldal, Åsoren i Sel, Grimeli i Sunnfjord, Kvikneområdet i Tynset, Sulitjelmafeltet i Fauske og Vaddas i Nordreisa. Det er anslagsvis 700 gram Co per tonn i de estimerte gjenværende 6 Mt malm i Løkken.

Det er sannsynlig at mye kobolt, spesielt i VMS-forekomstene, er gitterbundet i pyritt. Det er ikke sikkert at det vil være lønnsomt å utvinne kobolt fra pyritt. I Løkken vet vi imidlertid at en del kobolt også opptrer i mineralet koboltglans (cobaltitt, CoAsS).

De høyeste Co-verdiene er registrert i tre små mineraliseringer som er representert med bare en eller to prøver. Dette gjelder en gangmineralisering ved Kvæningen (Bergmark Øst) og to små VMS-mineraliseringer på Averøy (Fagerfjell) og ved Kongsberg (Tverrelva). Kart over koboltfordeling er vist i Figur 7.

3.2.8 Nikkel (Ni)

Omtrent 60% av verdens nikkelproduksjon brukes i legeringer sammen med jern til framstilling av rustfritt stål. Nikkel er også viktig i legeringer brukt i oppladbare batterier.

I Norge er nikkel utelukkende knyttet til magmatiske nikkel-kobber forekomster. En rekke slike forekomster har tidligere vært i drift i Norge: Flåt ved Evje, Ertelia ved Hønefoss, Råna i Ballangen, Espedalen, Hamn på Senja, Nystein og Meinkjær i Bamble, Romsås, Hosanger ved Bergen og Skjækerdalen i Verdal. Av disse har Flåt og Råna stått for langt den største delen av produksjonen, 63 500 t nikkelmetall. Totalt er det utvunnet om lag 70 000 t nikkel i Norge.

De kjente nikkelressursene er på 21.4 Mt som inneholder i gjennomsnitt 0.5% nikkel. Ressursene finnes i hovedsak i Råna (9.15 Mt med 0.52% Ni), Ertelia (Ringerike) (2.698 Mt med 0.83% Ni), Dalen (Espedalen) (7.8 Mt med 0.29% Ni), Stormyra (Espedalen) (1.16 Mt med 1.09% Ni) og Vakkerlien (Kvikne) (0.4 Mt med 1.0% Ni). Det foregår aktiv prospektering både i Råna og ved flere forekomster i nikkelprovinsene Bamble, Ringerike, Espedalen og Kvikne.

Skåkåsen, Lillefjellklumpen, Skograudberget, Måløy og Rombaksbotn er alle mindre mineraliseringer hvor de kjente ressursene er begrenset. Kart over nikkelfordeling er vist på Figur 8.

3.2.9 Niob (Nb)

80% av verdensproduksjonen av niob går til jernlegeringer (ferroniobium). Dette gir en stor økning i styrken til for eksempel jernbjelker og rør, som igjen gjør at disse kan gjøres tynnere og mindre, med en stor vektbesparelse.

I Norge ble niob produsert fra mineralet pyroklor i Søve gruver ved Ulefos mellom 1953 og 1965. Niob-konsentratet bestående av Nb_2O_5 ble i sin helhet eksportert til USA som brukte det i rakett- og jetmotorindustrien. I alt ble det produsert 1.15 millioner tonn malm som gav knapt 2000 t Nb_2O_5 (Amundsen, 2015).

Kjente ressurser av niob i Norge er fordelt på forekomstene Sæteråsen, Fen (Søve) og Høgtuva. Det aller meste av de tallfestede ressursene finnes i Sæteråsen ved Larvik. Forekomsten består av lavabergarten traktytt som her er spesielt rik i Nb, men også i de sjeldne jordartsmetallene cerium, lantan og yttrium. Disse elementene er konsentrert i mineralene euxenitt, pyroklor, chevkinitt, fergusonitt og apatitt. Et grovt estimat av mulige malmreserver i Sæteråsen basert på analyser av fire diamantborhull gir en total tonnasje på ca. 8 mill. tonn med 0.245% Nb, 0.18% Ce, 0.11% La, 0.075% Y, 0.069% Nd og 0.049% Th. I Søve er det estimert en gjenværende ressurs på 1.4 Mt med 0.16% Nb og i Bordvedåga i Høgtuva som i hovedsak er en berylliumforekomst, er det også noe niob (606 g/t Nb). Niobregistreringer er vist på Figur 9. Vollen i Mostadmarka SØ for Trondheim (navngitt på kartet) er en helt ubetydelig gangmineralisering i grønnstein som er anriket i blant annet niob og tantal.

3.2.10 Platinagruppe-metaller (PGM)

Platinagruppe-metallene (PGM) inkluderer platina (Pt), palladium (Pd), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), iridium (Ir) og osmium (Os). Av disse er palladium og platina de vanligste og produksjonen av disse er ti ganger så høy som for de andre. Pd og Pt, samt Rh er viktige som katalysatorer i eksos-systemene til forbrenningsmotorer. Ellers går PGM til elektronikk- og juvel-industrien. Det er en økende bruk til brenselceller og til hydrogenproduksjon.

PGM finnes i hovedsak tilknyttet magmatiske nikkel-kobberforekomster i mafiske og ultramafiske bergarter, men også kromittforekomster. I Norge kjenner vi små ressurser av PGM, i praksis er det kun Karenhaugen i Finnmark som har kjente ressurser av betydning (estimert 1 mill. t med 0.87 g/t Pd og 0.31 g/t Pt). Porsvann er en tilsvarende Cu-PGM mineralisering i nærheten av Karenhaugen. Vir'dnemuo't'ki er en mindre Cu-Pd mineralisering i gabbro. Lillefjellklumpen i Grongfeltet er den rikeste PGM-mineraliseringen som er kjent i Norge. Den ligger i gabbro langs kontakten til grønnstein, og medianverdien av 8 analyser er 3.7 ppm total PGM (Pt+Pd) (Grønlie, 1988). Mineraliseringen representerer trolig en magmatisk sulfid-segregering knyttet til en gabbrointrusjon, senere remobilisert gjennom en tektonisk hendelse og avsatt på nytt i nåværende posisjon. Størrelsen er ubetydelig. Figur 10 viser et kart over registreringer med samlet innhold av PGM.

3.2.11 Scandium (Sc)

Scandium er et element som er beslektet med sjeldne jordartsmetaller og yttrium. Hovedbruk er i brenselceller og i aluminium-scandium legeringer.

Scandium finnes anriket i apatittrike forekomster, REE-forekomster og pegmatitt-forekomster, men også i overskuddsmassene fra produksjonen av alumina, de såkalte «red muds». Det første scandium-mineralet som ble identifisert i verden, thortveititt ((Sc,Y)₂Si₂O₇), ble funnet i en pegmatitt i Iveland i 1910 og det ble produsert 50 kg av dette inntil 1961 (Selbekk, 2010). Det er også kjent scandium-førende pegmatitter i Evje-området og Tørdal (Bergstøl & Juve, 1988), og det har foregått en begrenset prospektering på disse. Den største forekomsten i Norge er imidlertid Biggejav'ri i Finnmark. Her opptrer Sc-REE mineralisering i en radioaktiv albititt. En Cr- og V-rik variant av daviditt-loveringitt er det viktigste Sc-REE førende mineralet. Bastnaesitt, ortitt, monasitt, xenotim, thortveititt og ulike U-mineraler opptrer aksessorisk (Olerud, 1988). Regionale undersøkelser, omvandlingstyper og isotopanalyser indikerer en metasomatisk-hydrotermal dannelse fra metamorfe løsninger derivert fra kontinental skorpe. Sc-REE mineraliseringene har trolig skjedd samtidig med albittiseringen av metavulkanittene. Det er anslått at forekomsten inneholder 50 000 t med en gehalt på 130 g/t Sc. En oversikt over scandium-registreringer er vist i Figur 11.

3.2.12 Sjeldne jordartsmetaller (REE)

Sjeldne jordartsmetaller (REE - rare earth elements) består av grunnstoffene lantan (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb) og lutetium (Lu). Disse grupperes videre inn i lette sjeldne jordartsmetaller (LREE) som er: La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, og Gd, og tunge sjeldne jordartsmetaller (HREE) som er: Tm, Dy, Ho, Er, Tm, Yb og Lu. I en del sammenhenger omtales også yttrium og scandium som tilhørende de sjeldne jordartsmetallene.

I denne rapporten har vi oppsummert de viktigste bruksområdene for sjeldne jordartsmetaller uten å gå i detalj (Tabell 3). Den interesserte leser anbefales Emsley (2011) eller kapitlene som omhandler sjeldne jordartsmetaller i Latunussa et al. (2020).

Tabell 3: Utvalgte bruksområder for sjeldne jordartsmetaller.

Element	Bruksområde
lantan (La)	Forskjellige typer av spesialglass
cerium (Ce)	Poleringsmiddel
praseodymium (Pr)	Optikk og lasere
neodymium (Nd)	Magneter
samarium (Sm)	Magneter og katalysatorer
europium (Eu)	Optikk og lasere
gadolinium (Gd)	Optikk og mikrobølgeovner
Terbium (Tb)	Halvleder-teknologi
dysprosium (Dy)	Magneter
holmium (Ho)	Spesialoptikk

erbium (Er)	Lasere
thulium (Tm)	Lasere og atomteknologi
ytterbium (Yb)	Laserteknologi
lutetium (Lu).	Katalysatorer

Sjeldne jordartsmetaller er blant de mest kritiske metallene vi har ettersom Kina kontrollerer det meste av verdikjeden fra mineraluttak til prosessering og separering. De sjeldne jordartsmetallene er kompliserte å framstille som rene individuelle metaller og tradisjonelt brukes en svært miljøutfordrende væske-væske separasjon (Wall et al., 2017).

Det er 4 forekomster Norge som viser et innhold av sum av sjeldne jordartsmetaller på over 1000 ppm. Det er Biggejav'ri (se kapittel om scandium), Gloserheia pegmatittforekomst (Åmli, 1977), Sæteråsen (se kapittel om niob) og Fensfeltet. Potensialet for sjeldne jordartsmetaller i Fensfeltet er beskrevet av Dahlgren (2019) og pr 1. januar 2024 har to leteselskaper tredjepartsvurderte ressursestimater på forekomsten. Det gjelder Rare Earths Norway's «exploration target» på 1.4-3.3 Gt med 0.4-2 % TREO, og REE Minerals' 95 Mt antatte ressurser med et gjennomsnitt på 1,3 % TREO. For kartframstillingen i denne rapporten har vi slått sammen analysene fra to lange borehull i Fensfeltet (Coint & Dahlgren, 2019).

Det er utvilsomt at Fensfeltet inneholder betydelige ressurser av sjeldne jordartsmetaller, og skulle forekomsten komme i drift og videreforedling foregå i Norge vil det gi grunnlag for et viktig bidrag til å redusere kritikaliteten til sjeldne jordartsmetaller i Europa.

Kart over totalinnhold av sjeldne jordartsmetaller er vist på Figur 12.

3.2.13 Tantal (Ta)

Tantal er et ganske sjeldent grunnstoff, og er metallet med fjerde høyeste smeltepunkt. Tantal har sin viktigste bruk i kondensatorer for elektronikk og superlegeringer (superalloys) der sammen med wolfram (Latunussa et al., 2020).

Tantal finnes i mineraler som tilhører microlittgruppen $(\text{NaCa})_2\text{Ta}_2\text{O}_6(\text{OH})$ og i columbitt-tantalitt $(\text{Fe,Mn})(\text{Ta,Nb})_2\text{O}_6$, to mineraler i full blandbarhet. Handelsproduktet «ColTan» er en samlebetegnelse for columbitt-tantalitt. Tantalitt er det tantalrike endeledet og columbitt det niob-rike endeledet. Tantalholdige mineraler opptrer vanligvis sammen med tinn, litium og niob. I Norge er columbitt-tantalitt funnet som et aksessorisk mineral i mange pegmatitter (Selbekk, 2010).

Det er per i dag ikke funnet forekomster i Norge hvor tantal opptrer i interessante mengder. De høyeste verdiene funnet så langt er mindre enn 30 ppm og er fra en gangmineralisering i Mostadmarka (Vollen, se 3.2.7) og molybdenmineralisering i Oslofeltet (Skrukkelia). Kart over tantal i Norge er vist i Figur 13.

3.2.14 Titan (Ti)

Titanmetall har høy bruddstyrke og lav egenvekt, egenskaper som gjør det velegnet til fly- og romfartsteknologi. Titandioksid (TiO_2) er et hvitt fargepigment som er motstandsdyktig mot sollys og har god dekkevne. Dette gjør det til det viktigste pigmentet i nesten alle typer av maling.

I forhold til kritiske råvarer er det titan som metall som er kritisk. Norge har store forekomster og produksjon av titanminerale, men pr i dag ingen produksjon av titanmetall. Norsk produksjon av titanminerale går til framstilling av titandioksid (TiO_2) til pigment og her er Norge en av Europas viktigste produsenter. Titandioksid framstilles fra mineralet ilmenitt (FeTiO_3), som er et hovedmineral i jern-titanforekomster. Det er Titania A/S sine forekomster ved Hauge i Dalane som har vært de viktigste produsentene av ilmenitt (med magnetitt og nikkelsulfider som biprodukt) i mange år.

Engebøfjellet rutil- og granatforekomst er planlagt åpnet i 2024, der ett av hovedproduktene vil bli rutil (TiO_2) som er et råstoff egnet for både pigment- og titanmetall produksjon.

Ved framstilling av titanmetall lages det først et oppgradert titanslagg som kan raffineres til såkalt titansvamp (sponge). Titansvamp kan benyttes som råstoff for titanmetall. Det stilles strenge krav til råstoffene til titanslagg og videreforedling til metall. Dette gjøres i Kroll-prosessen som er industrielt komplisert (Earlam, 2020). TiZir A/S sin produksjon av titanslagg og jern i Tyssedal benytter importert ilmenitt fra sandforekomster i Senegal. Nordic Mining sitt rutilkonsentrat vil være egnet til produksjon av titansvamp og det planlegges salg av deler av produksjonen til dette formålet (Maurice Kok pers. komm.). Norsk rutilproduksjon kan derfor bidra til å redusere kritikalitet for titanmetall i Europa.

Norske jern-titan-vanadium forekomster har vært undersøkt siden 1960-tallet og fram til 2000-tallet. (Geis, 1965; Korneliussen & Foslie, 1985; Lindberg, 1985; Priesemann & Krause, 1985; Robins, 1985; Sanetra, 1985; Wilson, 1985; Duchesne & Korneliussen, 2003).

Kart over titan-forekomster og registreringer er vist i Figur 14, 15 og 16. I NGUs database skilles det mellom element- og oksid-analyser. Vi har også inkludert analyser av titan i magnetittkonsentrat (slig) med data fra Elkem. Kartpresentasjonen skiller ikke mellom registreringer som har titan bundet til ilmenitt eller titan bundet til rutil selv om kravet til økonomisk interessante gehalter er svært ulikt.

3.2.15 Vanadium (V)

Vanadium er et grunnstoff som alltid utvinnes som et bi-metall fra jern og jern-titanforekomster (figur 1). Vanadium blir et biprodukt under smelting av jern fra vanadiumholdige jernforekomster. Den viktigste anvendelsen for vanadium er i jernlegeringer. Skulle såkalte vanadium redoks-batterier som brukes i stasjonære batteribanker få stor økt anvendelse vil behovet for vanadium øke. Det er vanadiums evne til å opptre i hele 4 forskjellige oksidasjonstrinn som utnyttes i disse batteriene.

I jernforekomstene er det først og fremst magnetitt som er det viktige vanadiumførende mineralet. Av denne grunn gir ikke kart som viser fordeling av total-innholdet av vanadium nødvendigvis et godt bilde på ressurspotensialet. For vanadium viser vi derfor kart for både total-innhold og vanadium i magnetitt-konsentrat (slig) med data fra Elkem (Korneliussen et al., 1985).

Det finnes en rekke jern-titan-vanadium forekomster og registreringer i Norge spesielt på Nordvestlandet. Blant disse anses Rødsand og Sjøholt gruver å være de viktigste. Jern- og jern-titanforekomster har vært mye undersøkt av NGU tidligere og det finnes mye rapportmateriale i NGUs arkiver, se kapittel om titan. Informasjonen om vanadium i norske jern-titan-vanadiummineraliseringer er av eldre dato og lite systematisert.

Kart over vanadium-registreringer er vist på Figur 17 og Figur 18.

3.2.16 Vismut (Bi)

Vismut er et grunnstoff med liten bruk i ren form, men har mange forskjellige bruksområder som tilsetningsstoff sammen med andre stoffer, blant annet i kosmetikkindustrien. Vismutforbindelser brukes i mange forskjellige medisiner, legeringer og pigmenter. Fordi vismut har lignende egenskaper som bly, men ikke er giftig, er det økende bruk av vismutlegeringer som erstatning for bly. Det brukes også i hagleammunisjon og er godkjent som giftfritt hagl i både USA og Norge.

Det er svært få forekomster som inneholder vismut som det viktigste metallet. Vismut blir som oftest produsert som et biprodukt fra forekomster som består av basemetaller, og særlig blyrike forekomster. Vismut forekommer derfor i blyrike VMS-mineraliseringer, i Oslofeltets bly-sink skarnmineraliseringer, i blyrike gangmineraliseringer og i orogene, kobberrike gangmineraliseringer i Sør-Norges grunnfjell. Av disse er det kun de blyrike VMS-mineraliseringer som har tonnasje store nok til å være interessante, også for vismut. Blyrike VMS-mineraliseringer er særlig utbredt i Aursund-gruppens sedimenter fra Røros og nordover mot Meråker. Her opptrer vismut i form av tellurvismut (tetradymitt, $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}_2$), vismutglans (vismutinit, Bi_2S_3), men også gedigent vismut. I tillegg er vismut anrikt i en molybdenmineralisering i Rogaland (Skjoldavika) og edelmetallganger i Bindal i Nordland.

Vismut er særlig vanlig i en del av Oslofeltets skarnmineraliseringer og Kjenner-, Gjellebekk-, Auvi- og Buttedal-skjerpene på Lierskogen omtales som vismutmineraliseringer, men NGU har ingen analyser fra disse. Det ble planlagt drift på disse rundt år 1900 og en forsøksdrift ble igangsatt på Auvi gamle gruve i 1902. Det skal være produsert 250 kg vismutmalm bestående i hovedsak av vismutglans. Også ved Gjuv i Telemark skal det være forsøkt produsert vismut.

Kart over vismutregistreringer er vist på Figur 19.

3.2.17 Wolfram (W)

Omtrent 50% av wolframproduksjonen går til framstilling av wolframkarbid som er en viktig hardmetall-legering og resten brukes til forskjellige legeringer av jern og stål.

Wolfram finnes anrikt i enkelte molybdenmineraliseringer i Sør-Norge (Dalen), skarnmineraliseringer i Helgeland og Oslofeltet og forskjellige basemetallmineraliseringer som trolig er påvirket av varme løsninger fra granitter (f.eks. Vallebukta, Trekvisla, Bytingsdalen). Det har i perioder vært en ganske omfattende prospektering etter det wolframførende mineralet scheelitt (CaWO_4) i Norge. Kjemiske analyser av wolframholdige prøver er imidlertid lite registrert i NGUs databaser. Scheelitt er et ganske tungt mineral og

finnes som korn i tungmineralfraksjon i løsmasser. To områder har vært særlig undersøkt, Helgelandskysten i Nordland (Stendahl et al., 1992) og Ørdsalen i Rogaland (Heier, 1955). Ørdsalen W-Mo forekomst var i periodevis drift fra 1904 til 1954 og produserte 33 000 tonn råmalm som ga 105 tonn konsentrat med i gjennomsnitt 60-65 % WO_3 (Bjørlykke, 1953). Den best undersøkte forekomsten i Helgeland er Målvika hvor wolfram finnes i skarnomvandlede karbonatbergarter, og ressursen antas bestå av 750 000 tonn med 0,44 % WO_3 (Müller & Furuhaug, 2008). Til tross for ganske omfattende prospektering over mange tiår, har det ikke lyktes noen å finne nye drivverdige forekomster av wolfram i Norge.

Kart over wolfram i databaseprøvene er vist på Figur 20.

3.2.18 Zirkonium (Zr)

Mesteparten av zirkonium-produksjonen brukes direkte som mineralet zirkon da dette er meget varmebestandig. Kun en liten del blir konvertert til metallet zirkonium.

Under andre verdenskrig ble norske zirkon-forekomster (ZrSiO_4) undersøkt av den tyske okkupasjonsmakten. Flere forekomster ble da undersøkt i Langesundsfjorden. Fra en forekomst på Stokkøya ble det tatt ut noen hundre kg zirkon under andre verdenskrig, men forekomsten er alt for liten til lønnsom drift i dag. Driften og forekomsten er beskrevet av Horvath (1943). Det har lenge vært klart at alkaline dypbergarter og vulkanitter i Oslofeltet lokalt kan være anriket i zirkonium og det har vært lett etter zirkonforekomster i flere omganger uten at det har blitt funnet noen større anrikninger (Ofte Dahl & Bollingberg, 1958; Korneliussen & Raaness, 2006). Den største gehalt vi har av zirkonium i våre databaser er i forekomsten Sæteråsen ved Sandefjord (Ihlen, 1983, se beskrivelsene for Niob). Det er også en betydelig anrikning av zirkonium i beryllium-forekomsten på Høgtuva i Nordland.

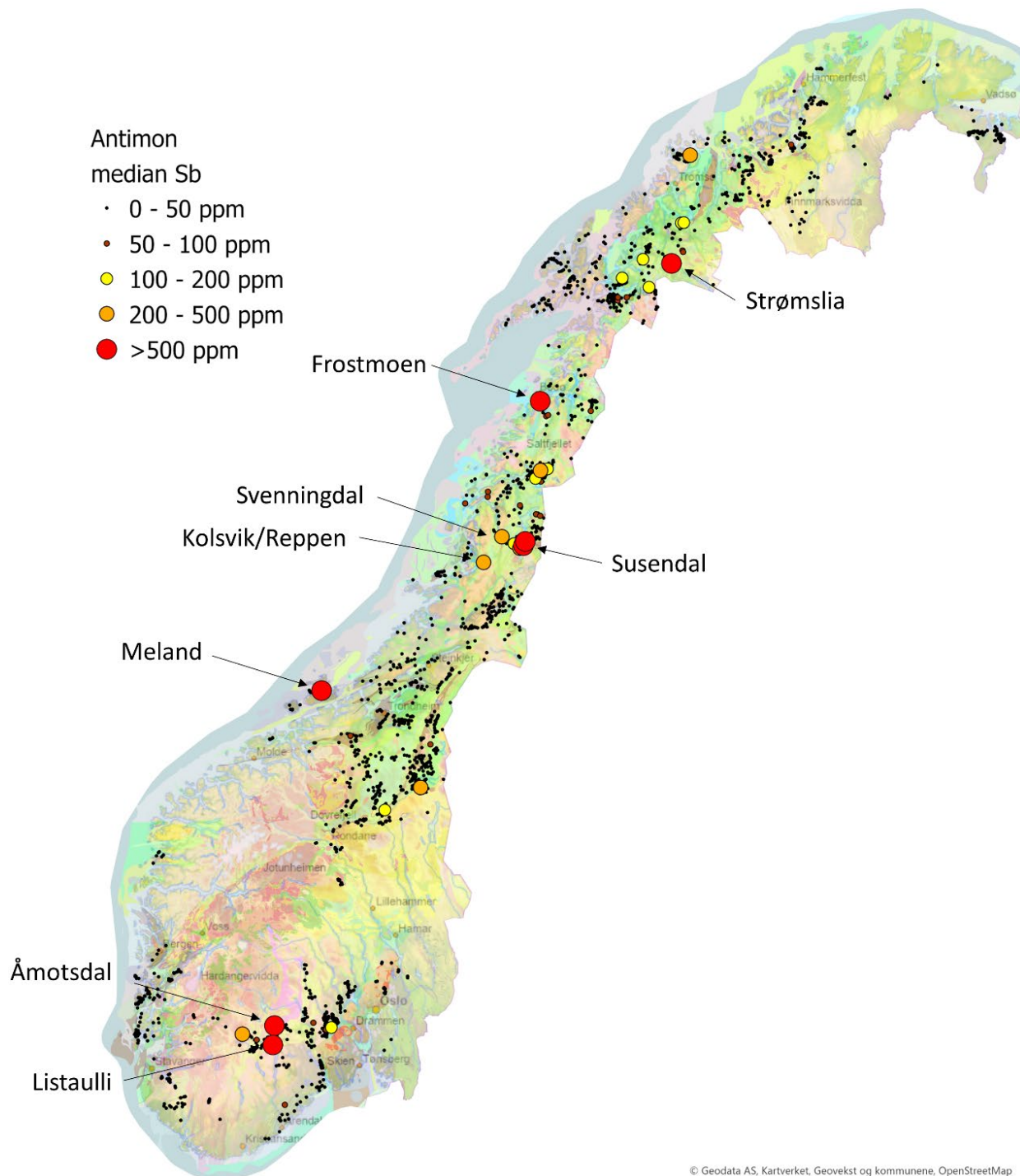
NGU utfører fortiden detaljerte undersøkelser av alkaline og monzonittiske bergarter flere steder i Norge. Det er funnet interessante anrikninger av zirkon på flere lokaliteter.

Kart over zirkonium er vist på Figur 21.

3.3 Kart over kritiske metaller.

Navnsetting på kartene kan representere både større områder og enkeltlokaliteter.

Antimon



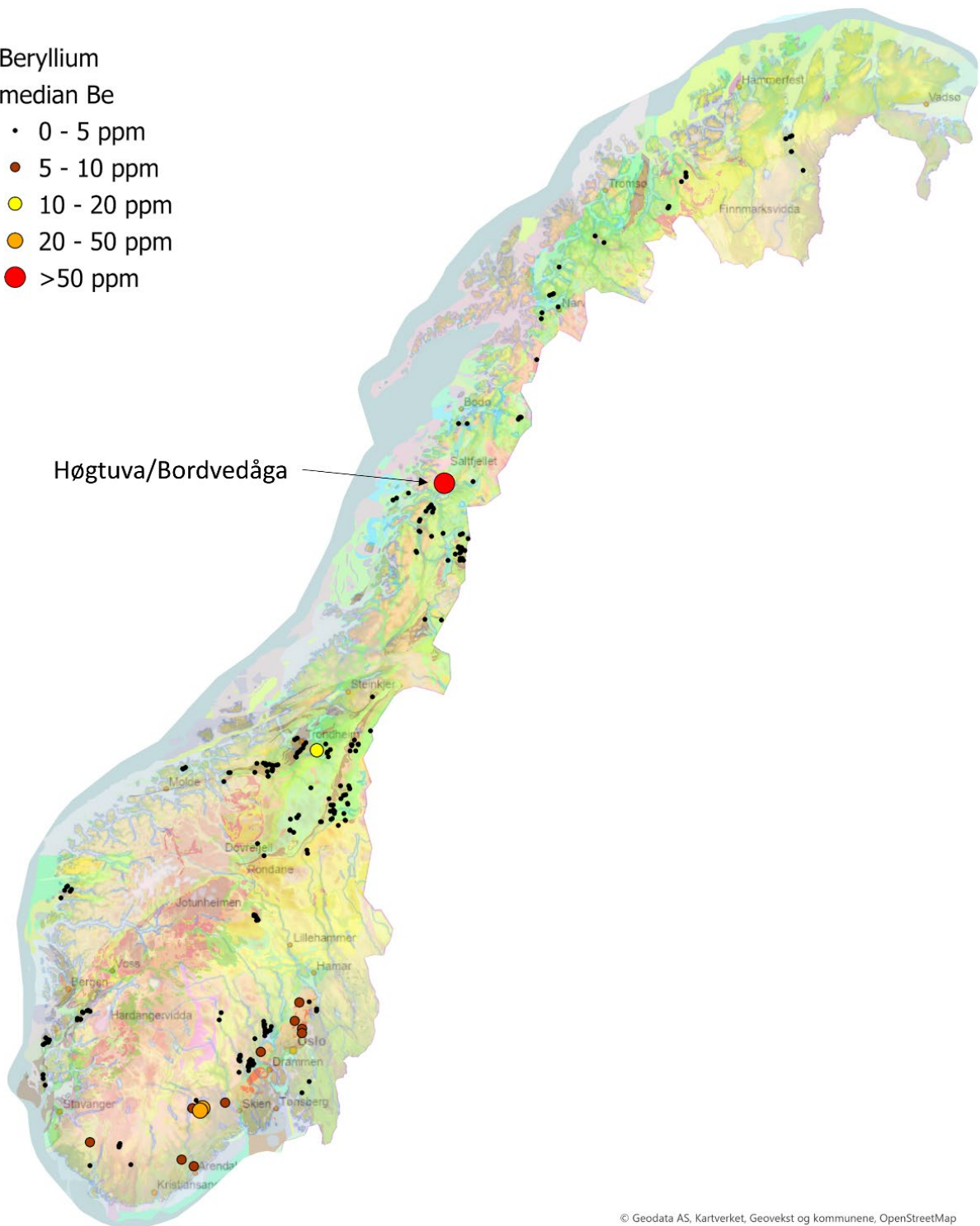
Figur 3: Antimon-innholdet i norske mineralregisteringer.

Beryllium

Beryllium

median Be

- 0 - 5 ppm
- 5 - 10 ppm
- 10 - 20 ppm
- 20 - 50 ppm
- >50 ppm



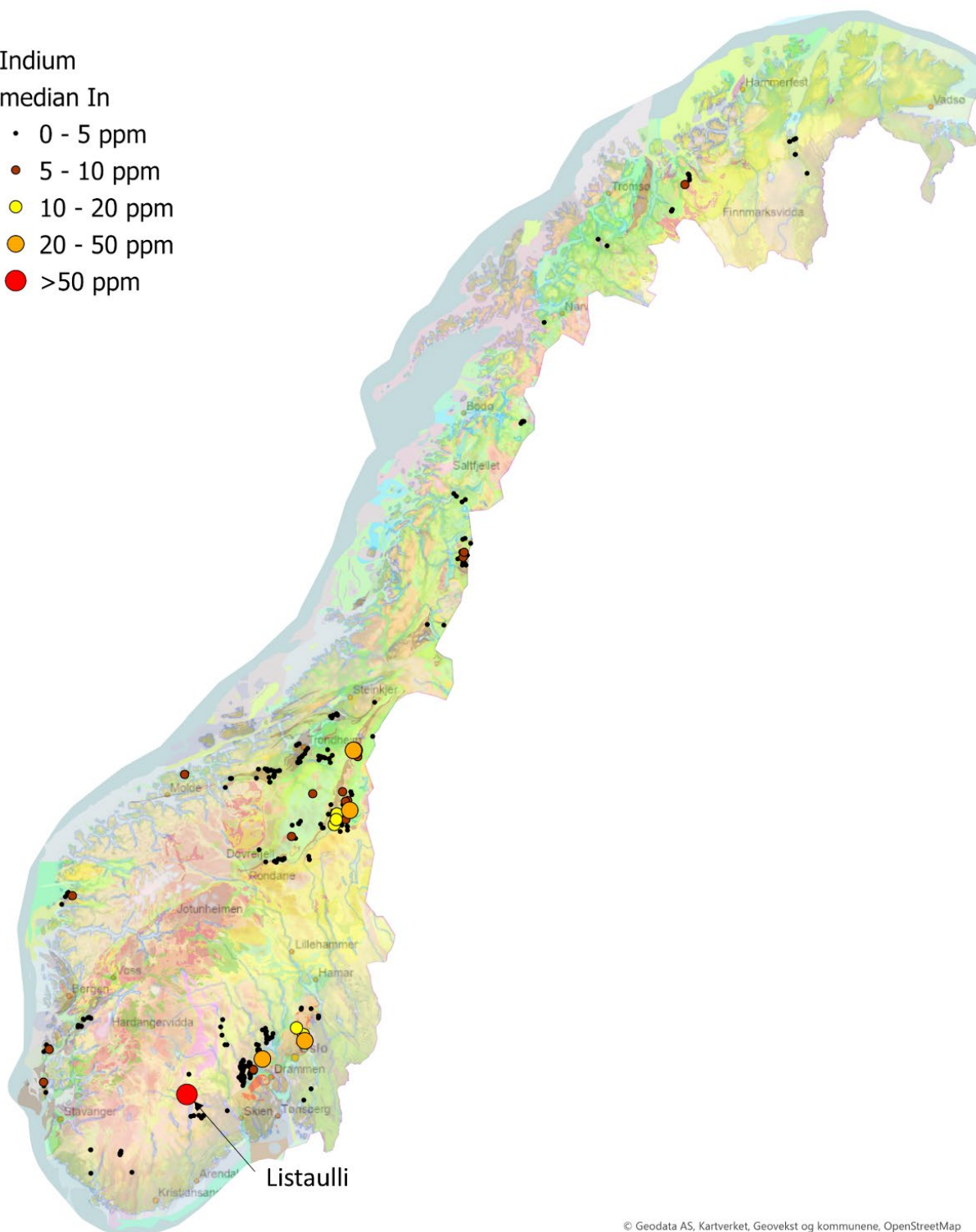
Figur 4: Beryllium-innhold i norske mineralregistreringer.

Indium

Indium

median In

- 0 - 5 ppm
- 5 - 10 ppm
- 10 - 20 ppm
- 20 - 50 ppm
- >50 ppm



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

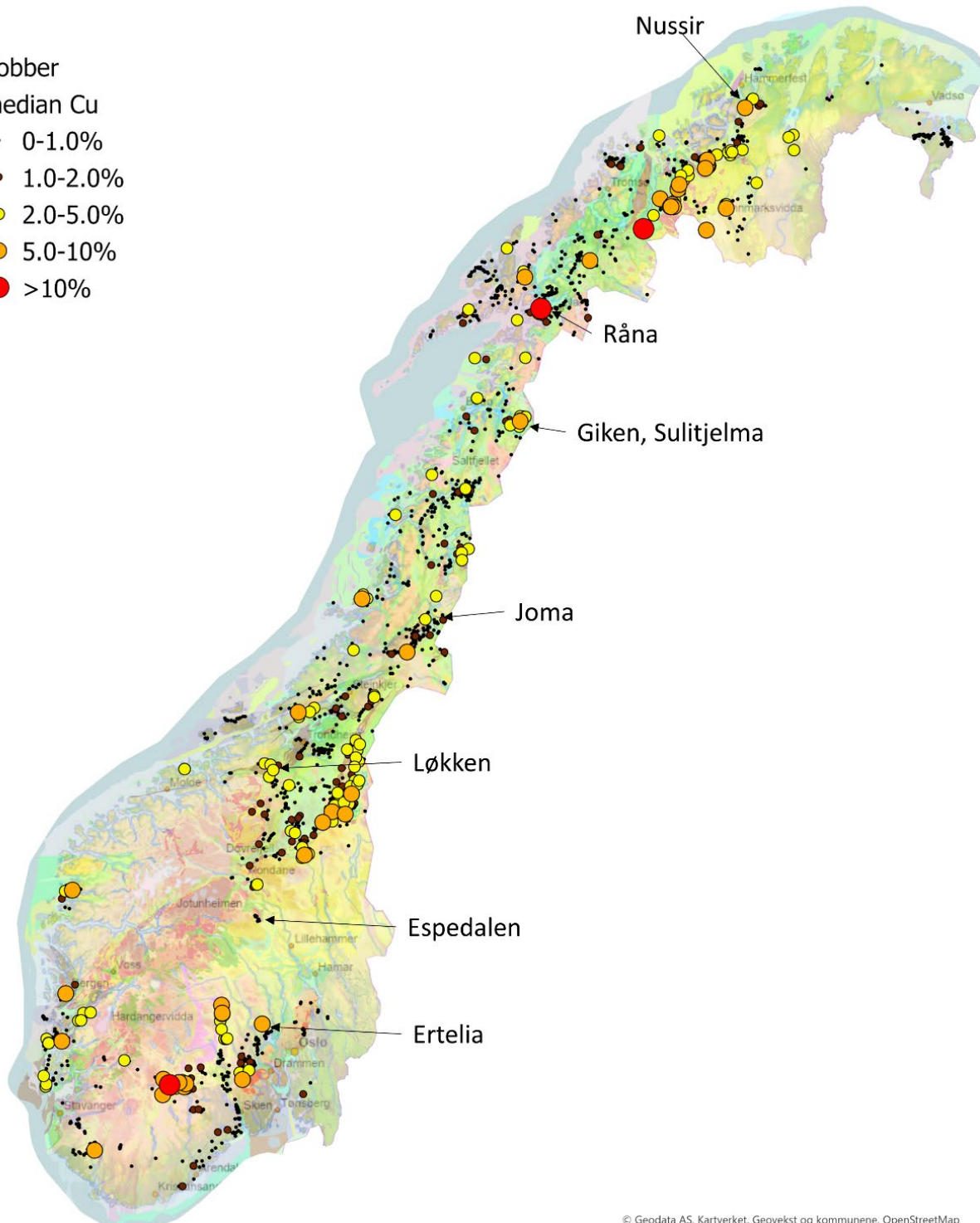
Figur 5: Indium-innhold i norske mineralregistreringer.

Kobber

Kobber

median Cu

- 0-1.0%
- 1.0-2.0%
- 2.0-5.0%
- 5.0-10%
- >10%



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

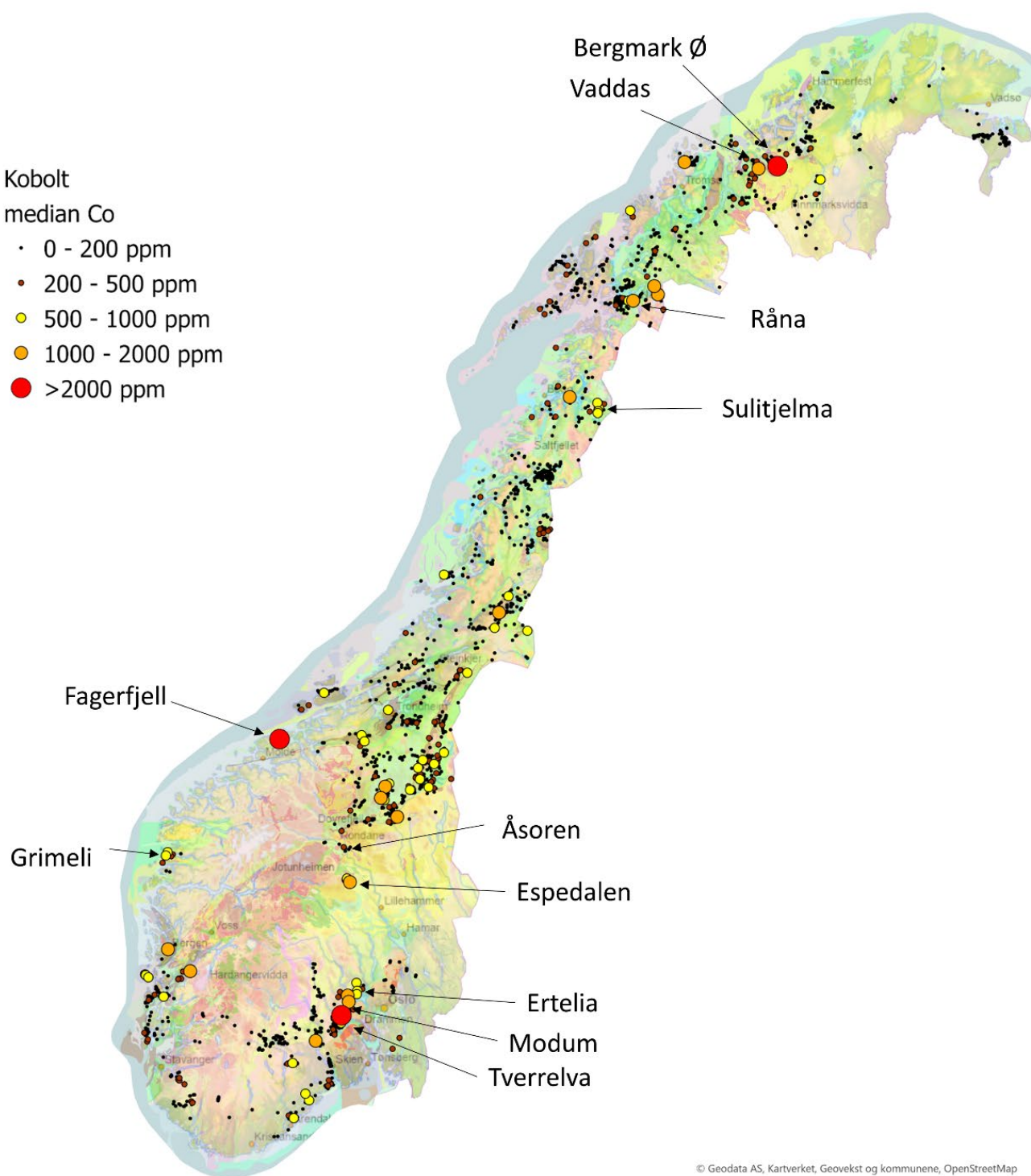
Figur 6: Kobber-innhold i norske mineralregistreringer.

Kobolt

Kobolt

median Co

- 0 - 200 ppm
- 200 - 500 ppm
- 500 - 1000 ppm
- 1000 - 2000 ppm
- >2000 ppm



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

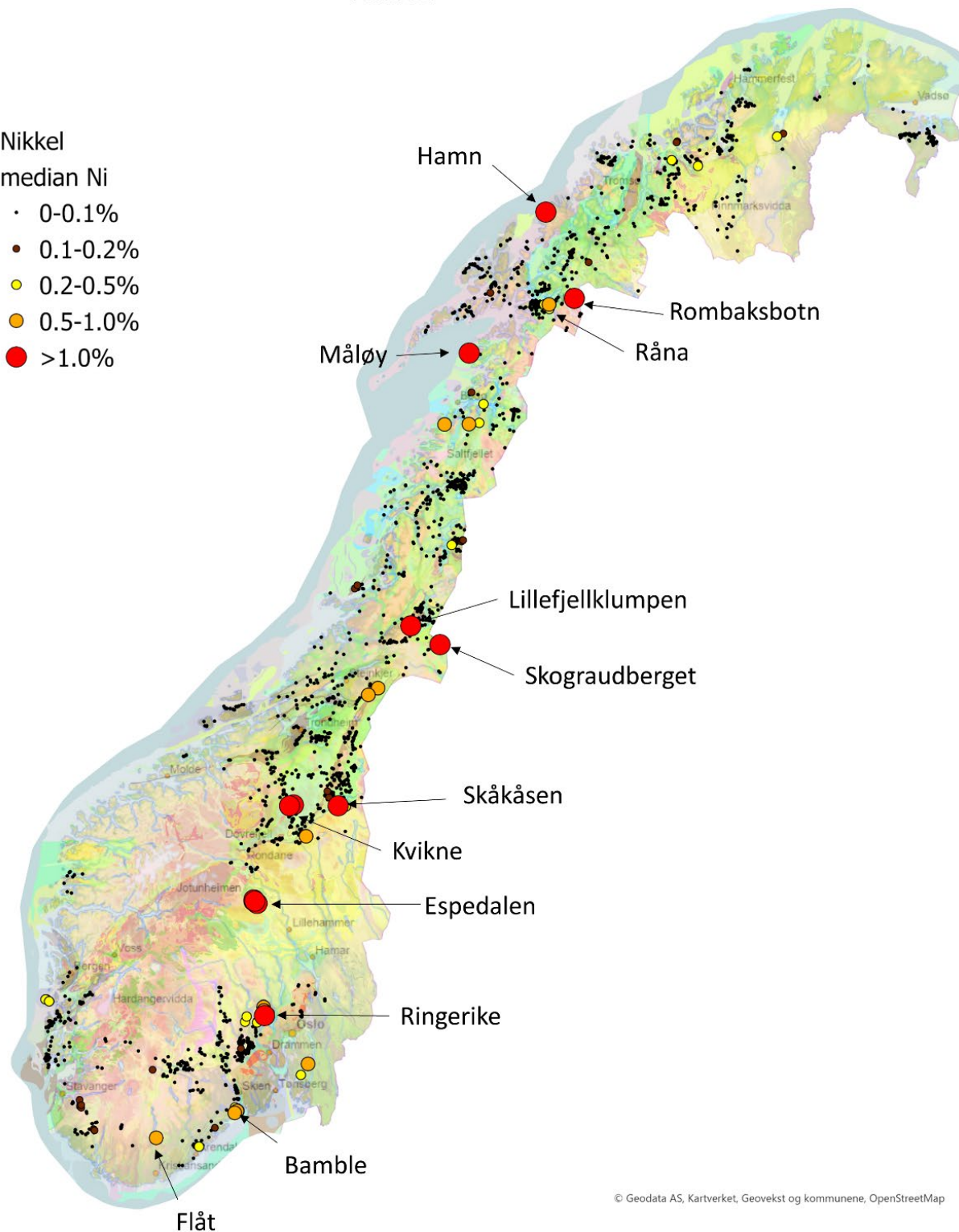
Figur 7: Kobolt-innhold i norske mineralregistreringer.

Nikkel

Nikkel

median Ni

- 0-0.1%
- 0.1-0.2%
- 0.2-0.5%
- 0.5-1.0%
- >1.0%



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

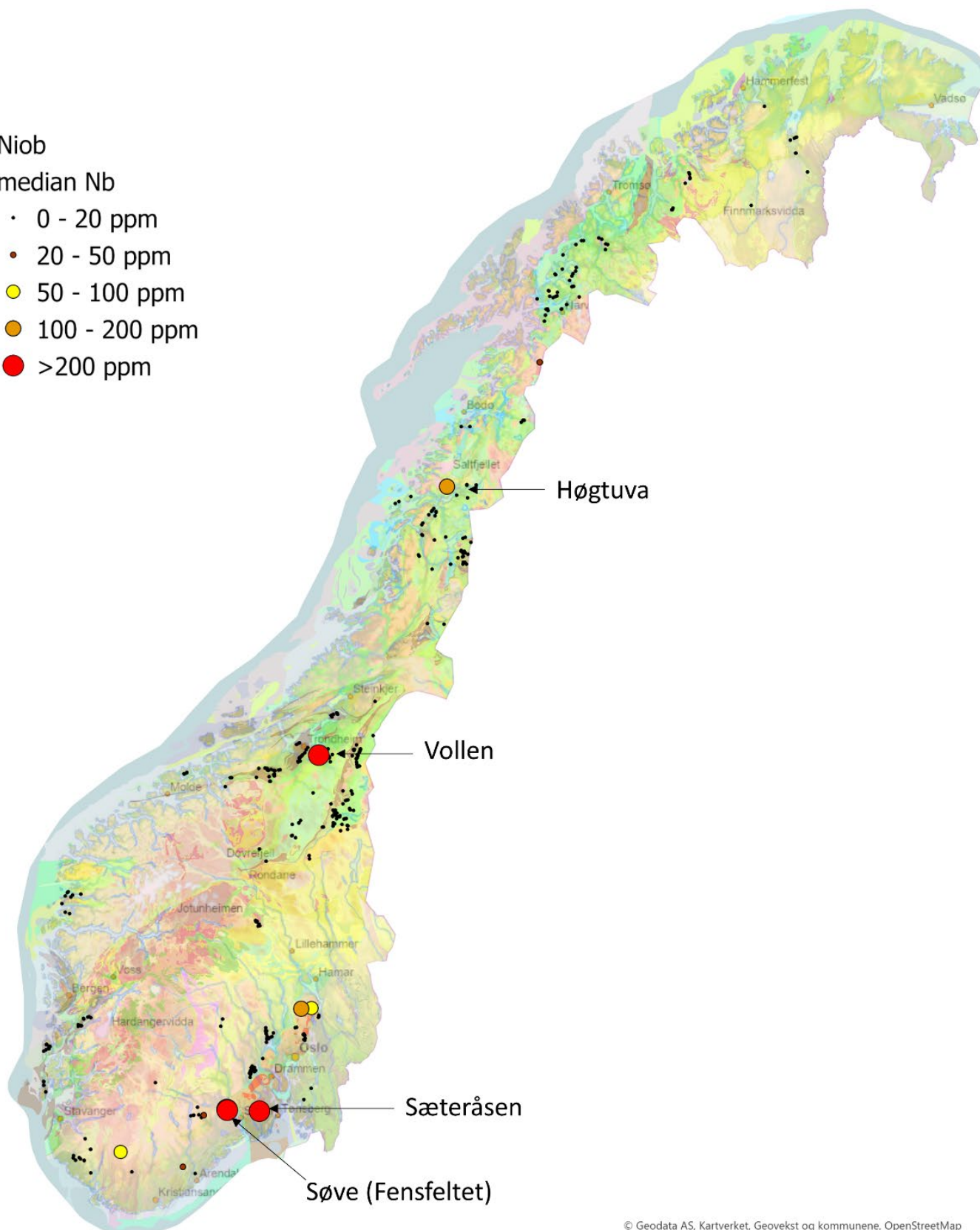
Figur 8: Nikkel-innhold i norske mineralregistreringer.

Niob

Niob

median Nb

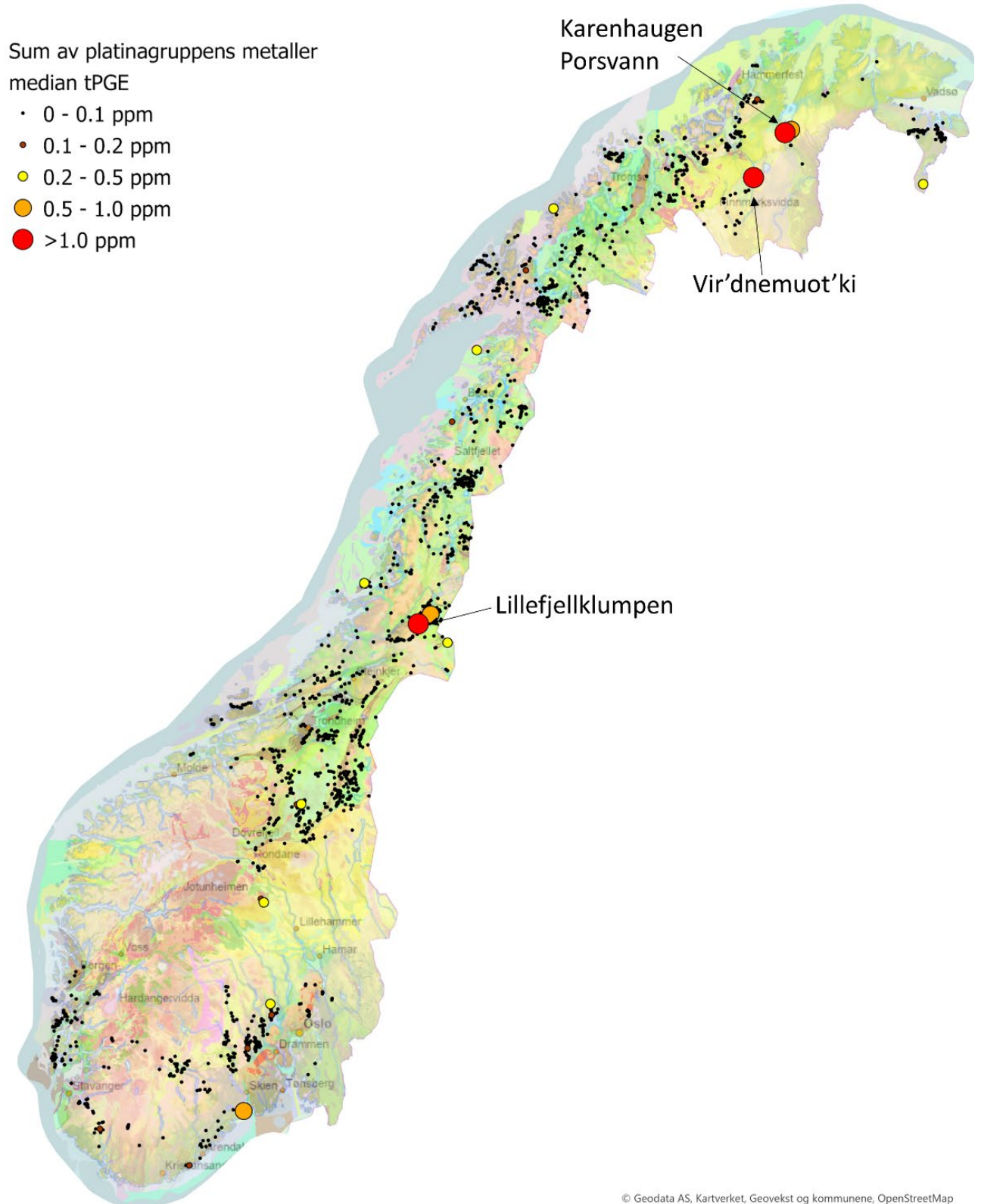
- 0 - 20 ppm
- 20 - 50 ppm
- 50 - 100 ppm
- 100 - 200 ppm
- >200 ppm



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

Figur 9: Niob-innhold i norske mineralregistreringer.

Platinagruppens metaller

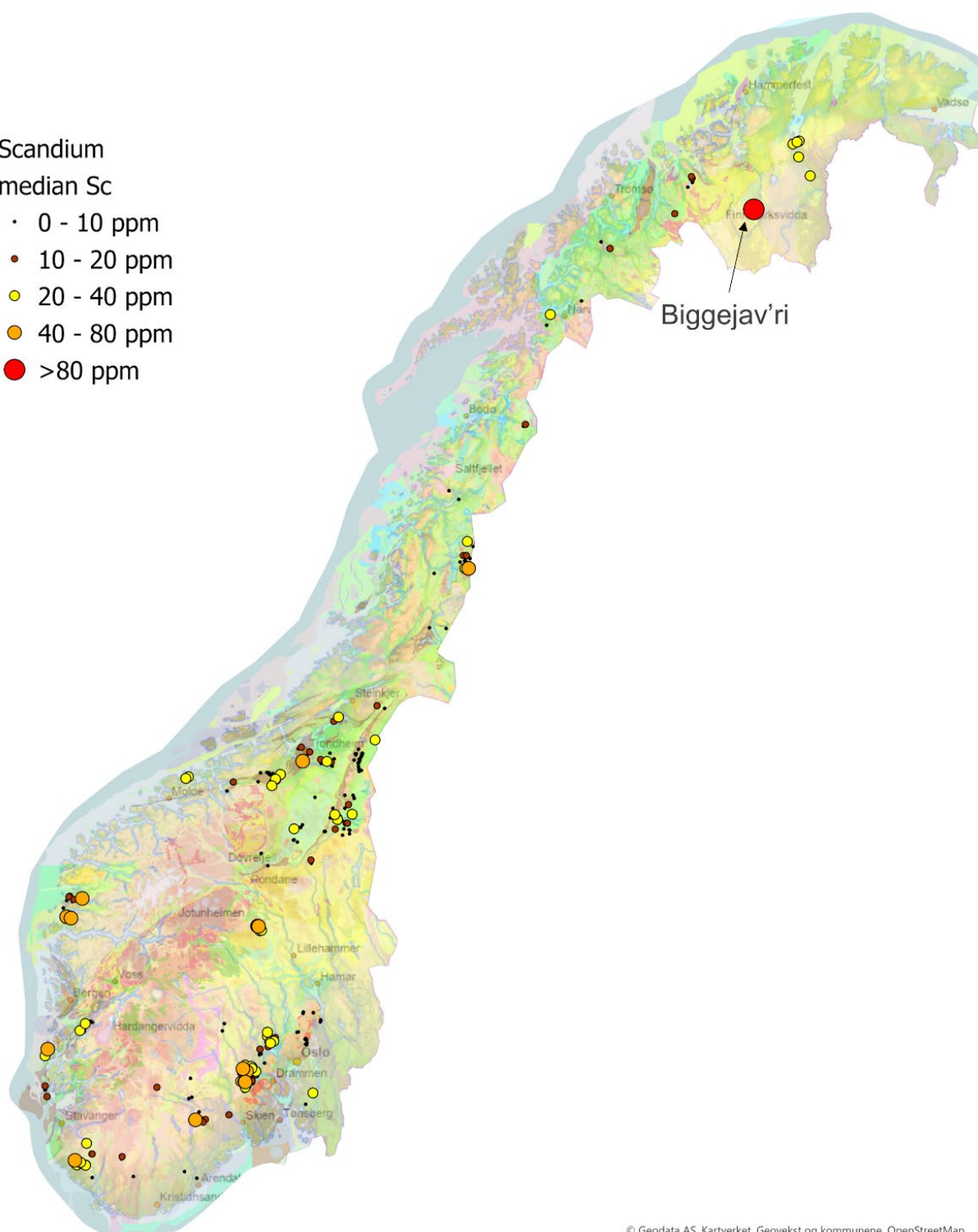


Figur 10: Innhold av platinagruppens metaller (PGM) i norske mineralregistreringer.

Scandium

Scandium
median Sc

- 0 - 10 ppm
- 10 - 20 ppm
- 20 - 40 ppm
- 40 - 80 ppm
- >80 ppm



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

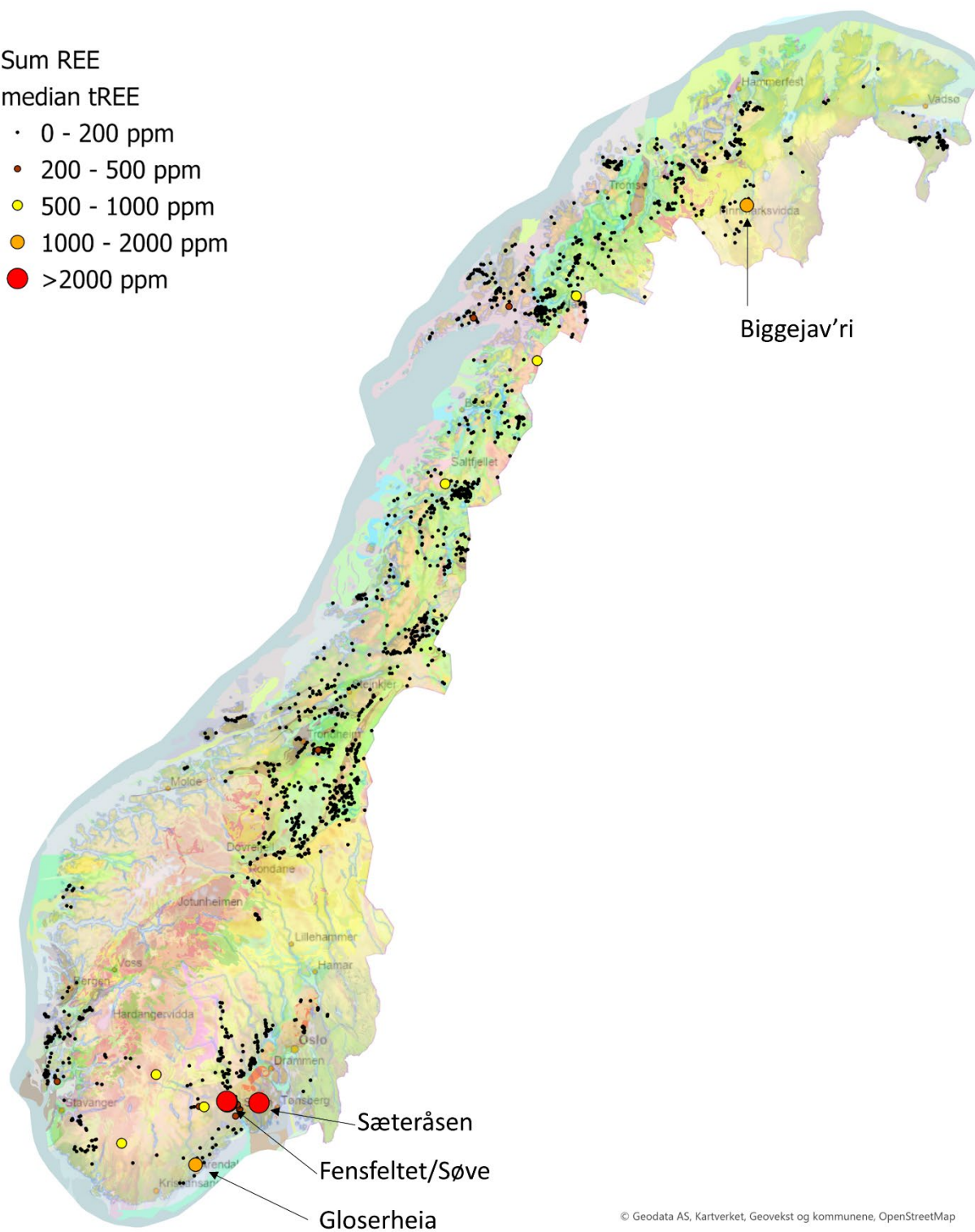
Figur 11: Scandium-innhold i norske mineralregistreringer.

Sum av sjeldne jordartsmetaller

Sum REE

median tREE

- 0 - 200 ppm
- 200 - 500 ppm
- 500 - 1000 ppm
- 1000 - 2000 ppm
- >2000 ppm



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

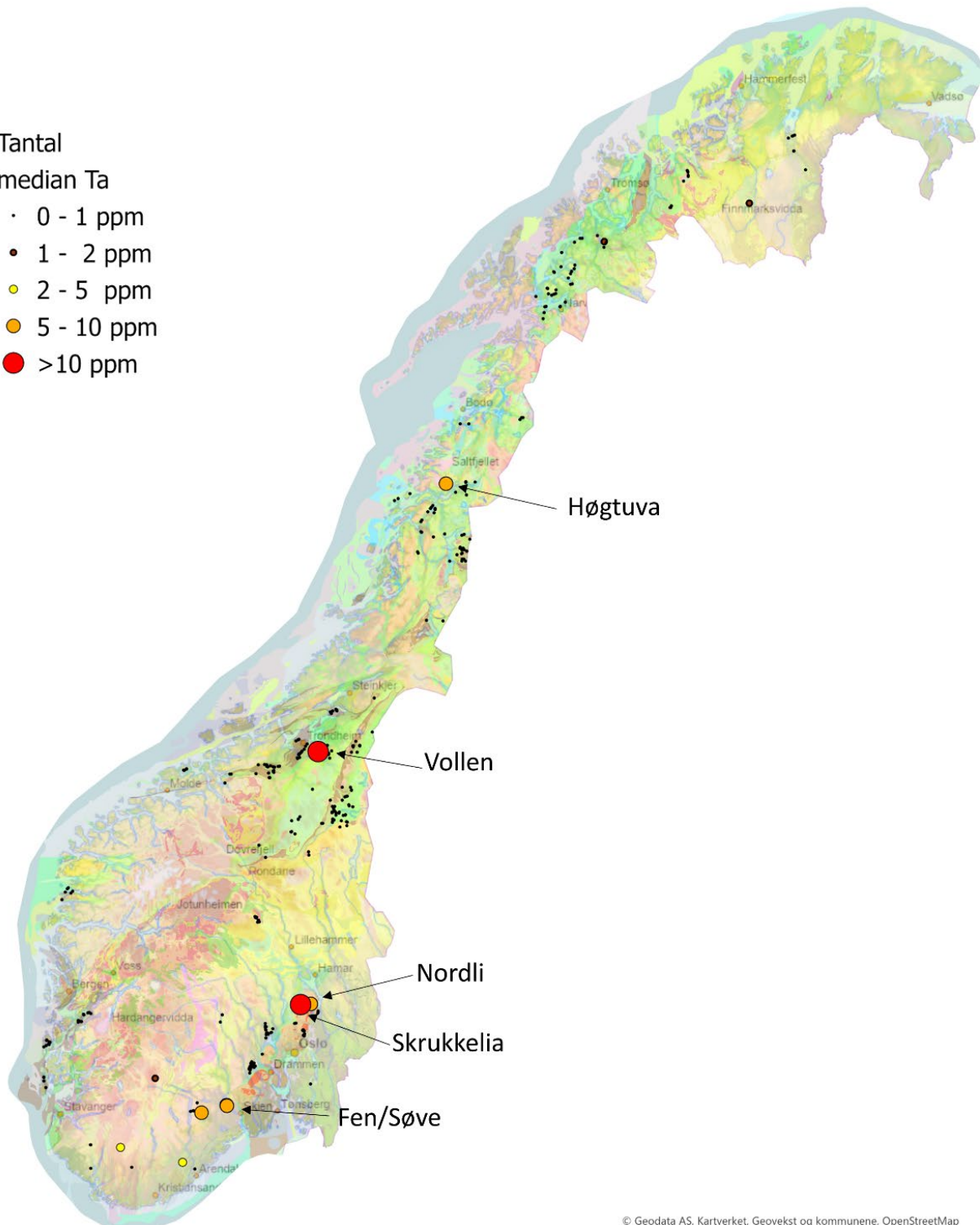
Figur 12: Sum av sjeldne jordartsmetaller (REE) i norske mineralregistreringer.

Tantal

Tantal

median Ta

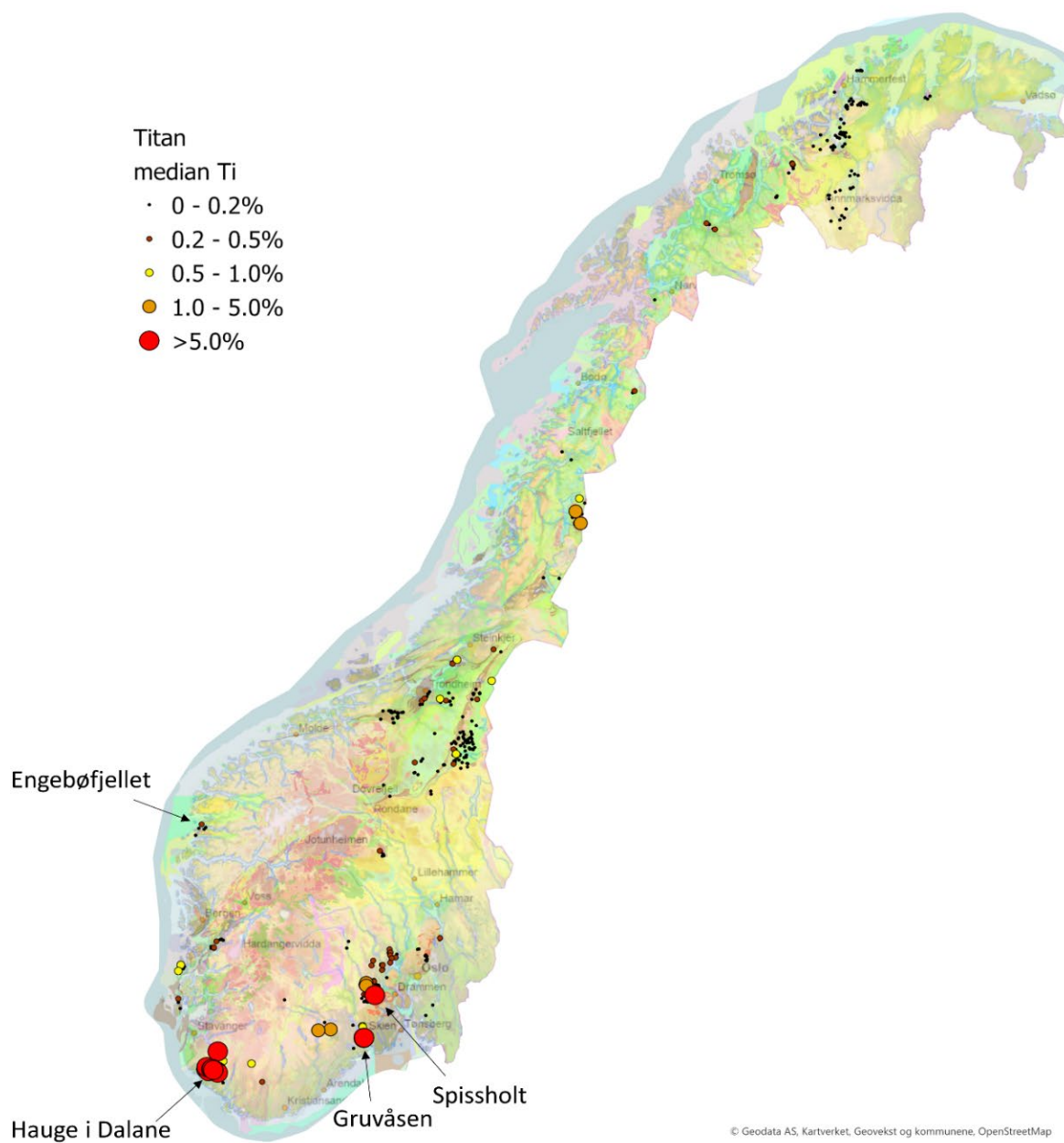
- 0 - 1 ppm
- 1 - 2 ppm
- 2 - 5 ppm
- 5 - 10 ppm
- >10 ppm



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

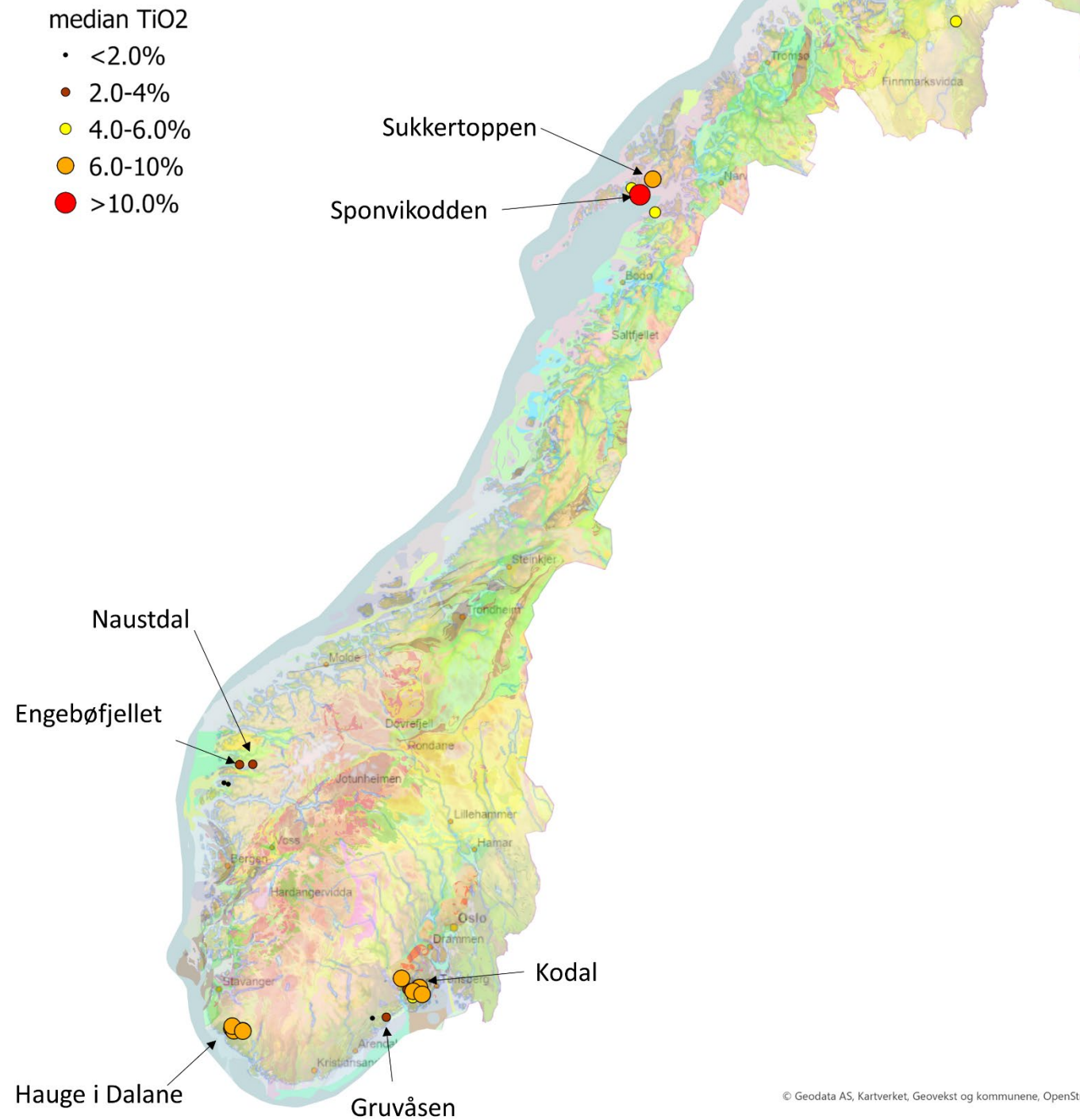
Figur 13: Tantal-innhold i norske mineralregistreringer.

Titan



Figur 14 Titan-innhold i norske forekomster og registreringer (element-analyser)

Ilmenitt og rutil registreringer

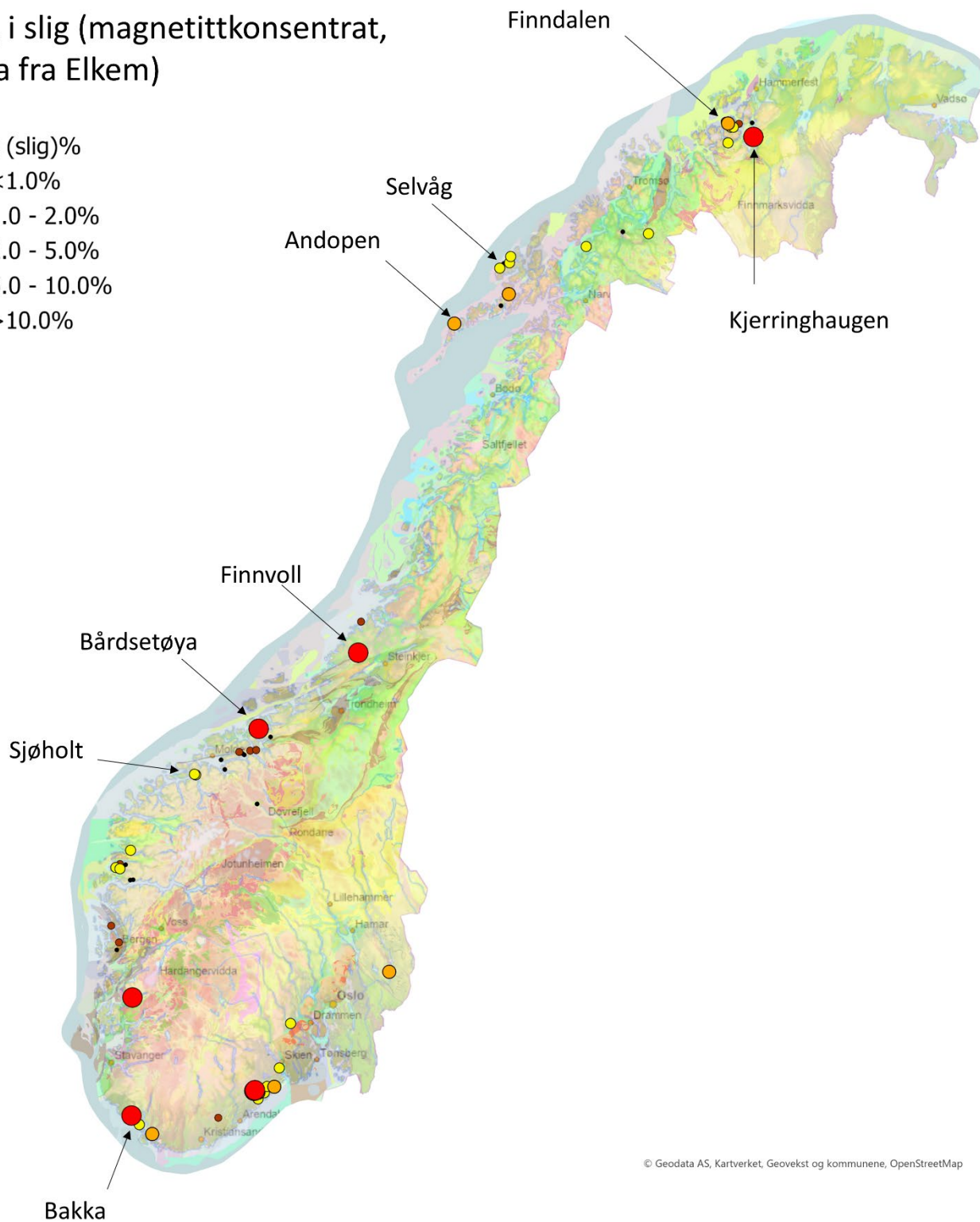


Figur 15 TiO_2 i ilmenitt og rutil registreringer (oksid-analyser).

TiO₂ i slig (magnetittkonsentrat, data fra Elkem)

TiO₂ (slig)%

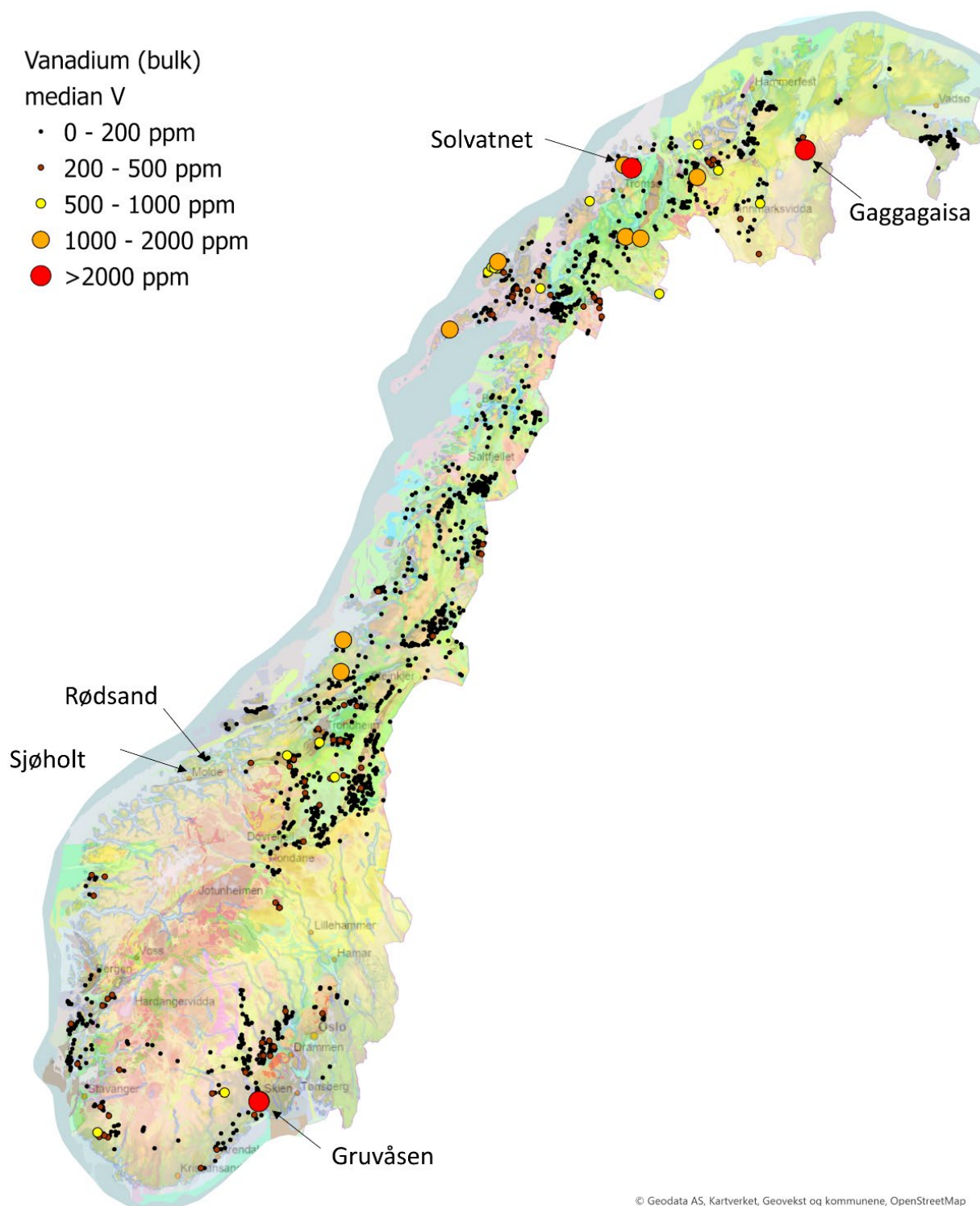
- <1.0%
- 1.0 - 2.0%
- 2.0 - 5.0%
- 5.0 - 10.0%
- >10.0%



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

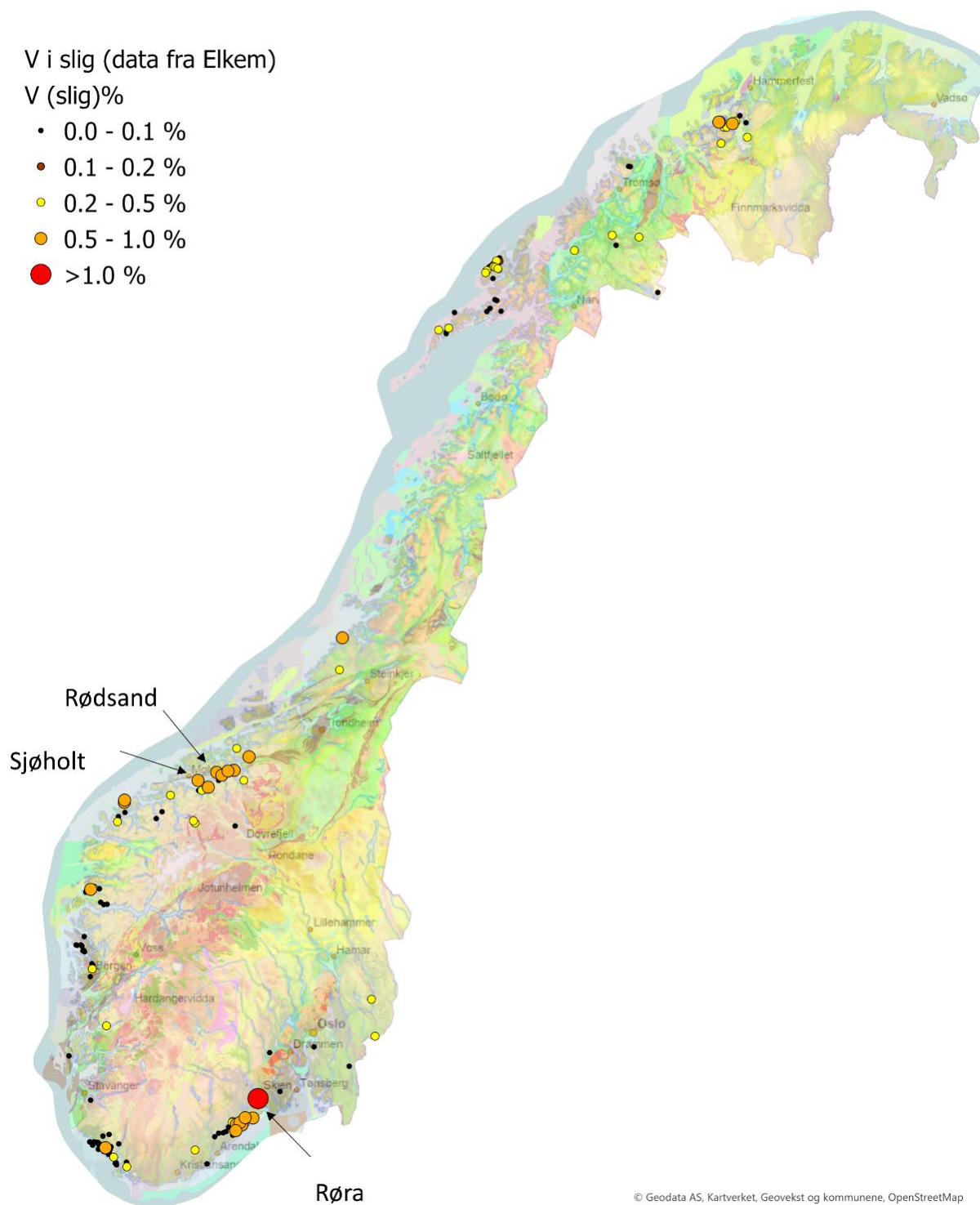
Figur 16 TiO₂ i slig (magnetittkonsentrat, data fra Elkem).

Vanadium (bulk)



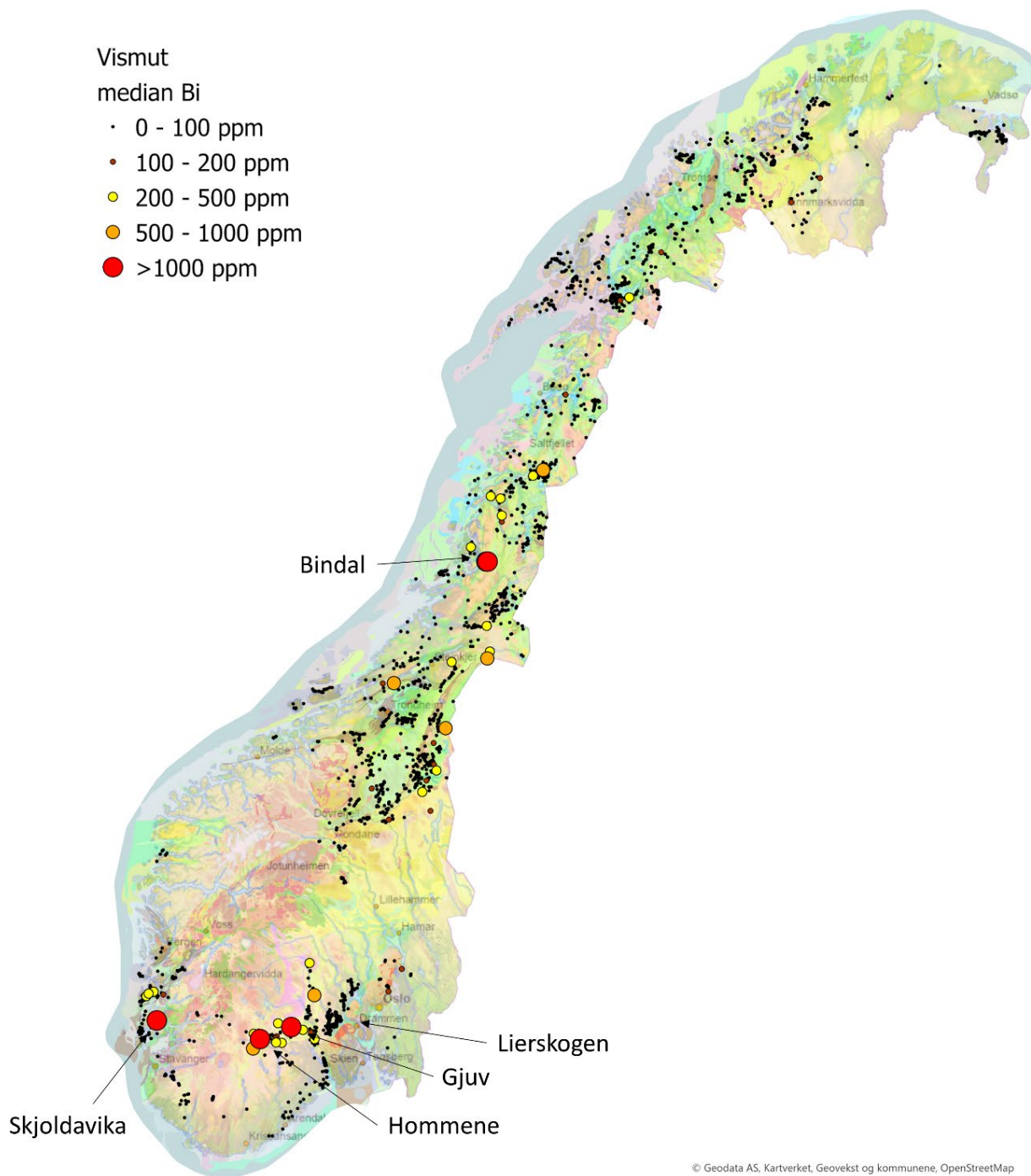
Figur 17: Vanadium-innhold i totalbergart (bulk-analyse).

Vanadium i slig (magnetitkonsentrat)



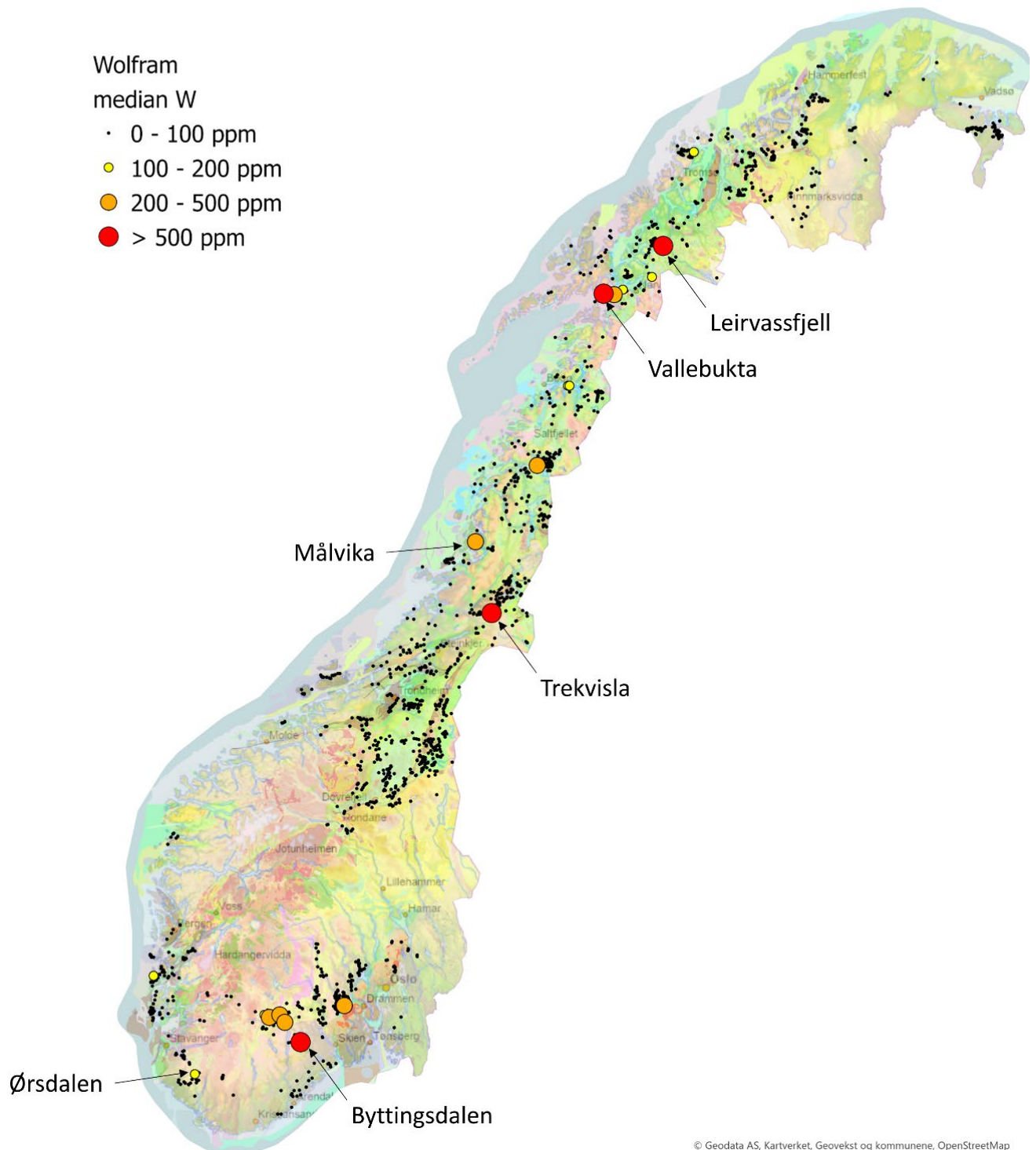
Figur 18: Innhold av vanadium i slig (magnetitkonsentrat).

Vismut



Figur 19: Vismut-innhold i norske mineralregistreringer.

Wolfram



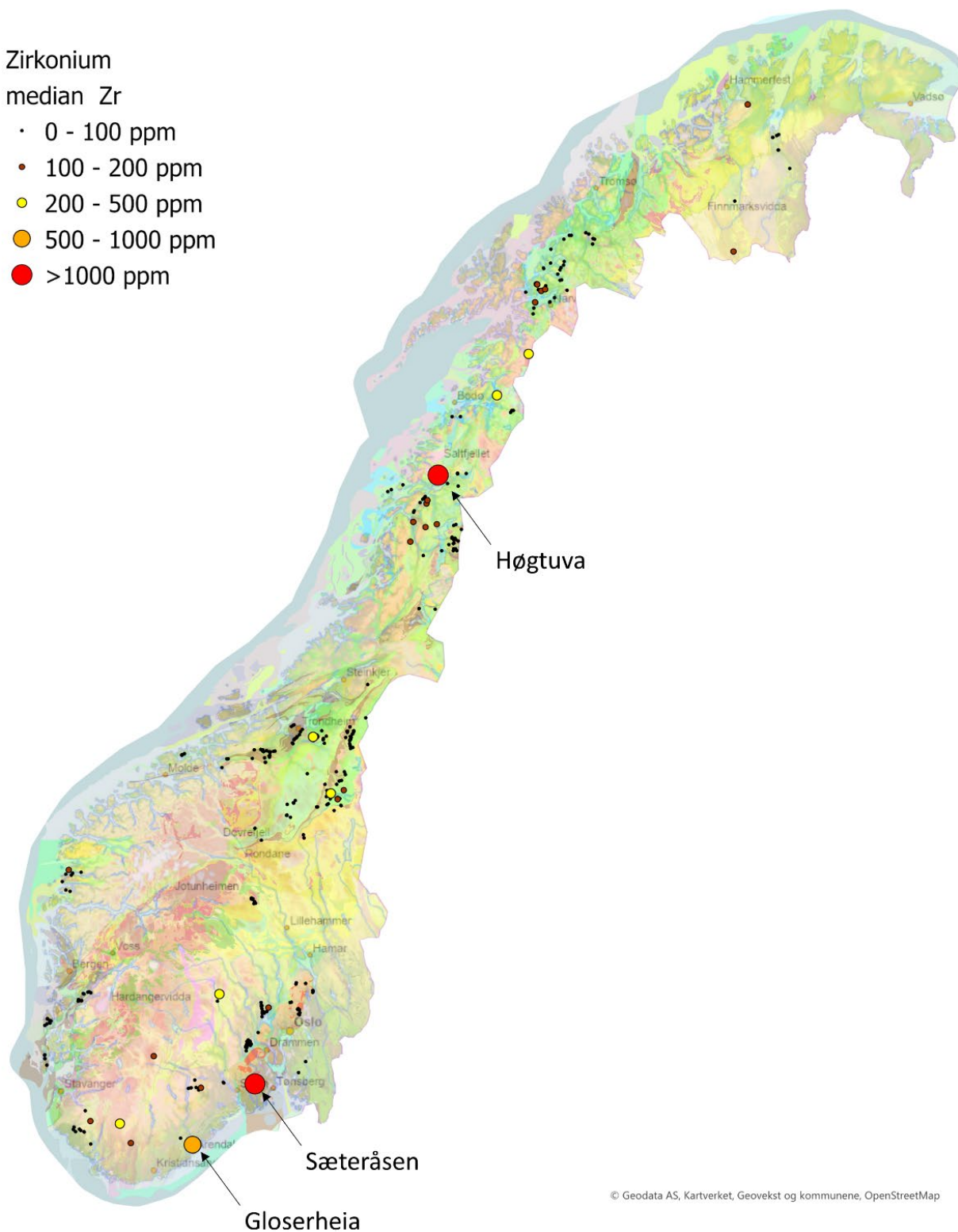
Figur 20: Wolfram-innhold i norske mineralregistreringer.

Zirkonium

Zirkonium

median Zr

- 0 - 100 ppm
- 100 - 200 ppm
- 200 - 500 ppm
- 500 - 1000 ppm
- >1000 ppm



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

Figur 21: Zirkonium-innhold i norske mineralregistreringer.

3.4 Kritiske industrimineraler

Industrimineraler er definert som enhver bergart, mineral eller naturlig forekommende substans med økonomisk verdi, unntatt metaller, mineralolje, kull og smykkesteiner (Evans, 2009). I motsetning til metallene der metallinnholdet er det viktigste med hensyn til økonomisk betydning, benyttes industrimineralene stort sett for sine fysiske og kjemiske egenskaper, slik som hvithet, hardhet, egenvekt, varmebestandighet osv. For de fleste industrimineraler har mange av kjøperne sine egne og ofte fortrolige kvalitetskrav. Derfor har det ingen hensikt å presentere kart som viser variasjon i innhold slik som for metallene.

Tabell 3 viser industrimineraler som er definert som kritiske industrimineraler med forekomster i Norge.

Tabell 4: Kritiske industrimineraler i Norge.

Mineral/bergart
Barytt
Feltspat og nefelinsyenitt
Flusspat
Fosfat
Naturlig grafitt
Olivin (magnesium-mineral) *
Dolomitt (magnesium-mineral) *
Kvarts (silisium-metall kvalitet) **

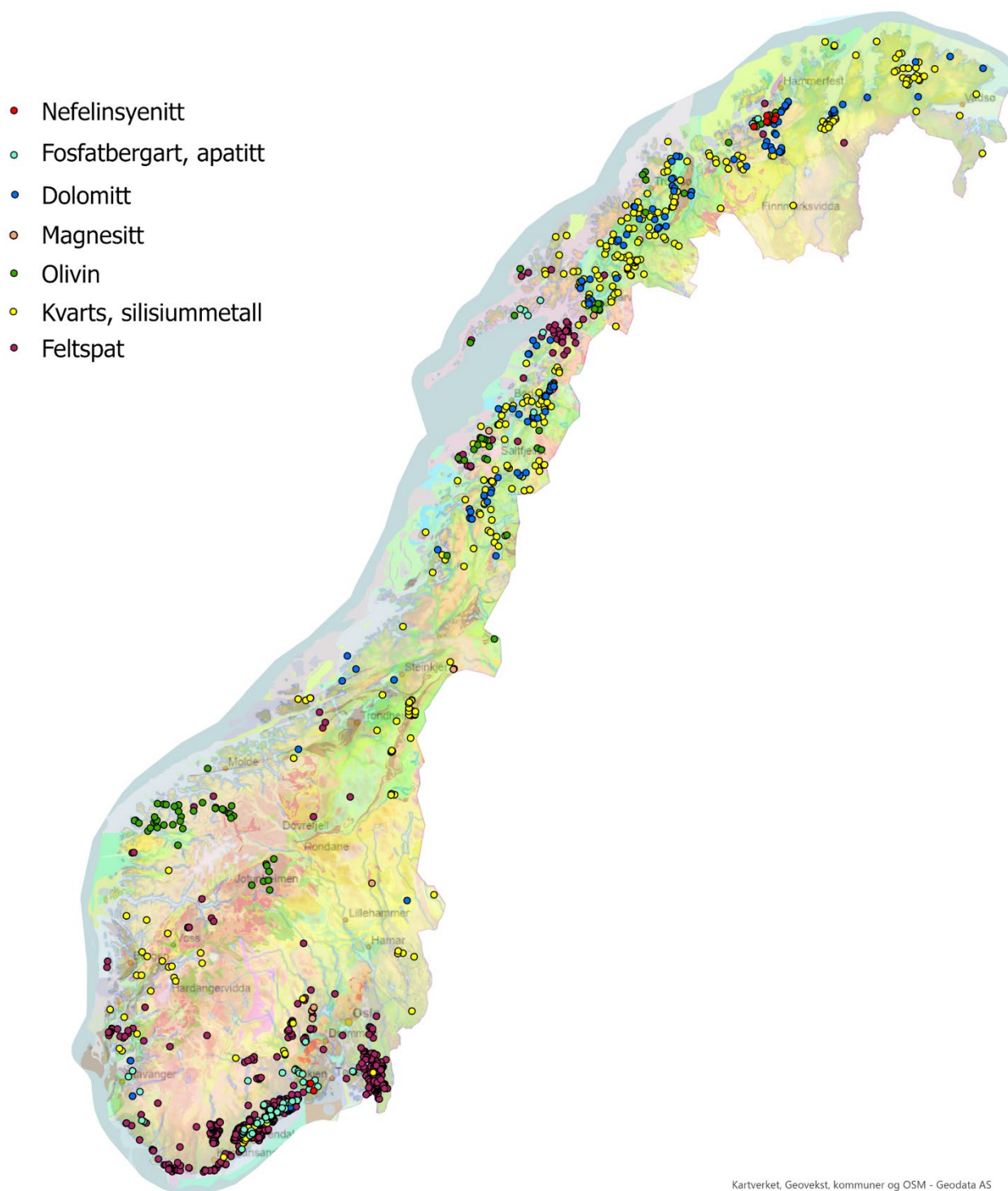
* Forutsetter produksjon av magnesium-metall

** Forutsetter produksjon av silisium

Det er kun nefelinsyenitt og grafitt som er i produksjon som kritisk mineral i Norge i dag. Norge er en stor produsent av olivin (MgSiO_4) og dolomitt ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Olivin og dolomitt er ikke i seg selv definert som kritiske, men dolomitt er et viktig mineral for framstilling av magnesium-metall og olivin kan også bli viktig for produksjon av magnesium-metall dersom teknologien for dette blir kommersialisert.

Samtlige forekomster og registreringer av kritiske industrimineraler er vist på Figur 22.

Forekomster av kritiske industrimineraler



Figur 22: Forekomster og registreringer av kritiske og strategiske industrimineraler, inkludert industrimineraler som kan bli råstoff for kritiske raffinerte metaller.

3.4.1 Barytt (BaSO₄)

Barytt er et mineral som først og fremst brukes på grunn av sin høye egenvekt og kalles derfor også tungspat. Hovedbruksområdet er til borevæske for oljeindustrien, nettopp på grunn av den høye egenvekten. Norge er en ganske stor importør av barytt. Vi har noen få registreringer av barytt i Norge, hvorav den viktigste er ved Heskestad på Lista. Denne forekomsten har vært ganske grundig undersøkt uten at det har lyktes å finne drivverdige tonnasje. På 1980-tallet ble det utført omfattende prospektering etter barytt på Varangerhalvøya. Barytt ble funnet en rekke steder, men ingen registreringer var interessante nok til å gå videre med store detaljerte undersøkelser (Bølviken et al., 1988). Det er også barytt i bly-sinkmineraliseringer i Bamblefeltet (Styggedalen) og i sølvforekomstene i Kongsbergområdet, særlig på Nord-Vinoren og Åslandsåsen, men disse er for små til å være økonomisk interessante.

Kart over Norges registrerte barytt-registreringer er vist på Figur 23 der vi har markert de forekomstene som er registrert i databasen.

3.4.2 Feltspatmineraler inkludert nefelinsyenitt

Feltspatmineraler og nefelinsyenitt har sitt viktigste bruksområde i glass og keramisk industri.

Feltspatmineraler er blant Norges og Skandinavias vanligste industrimineral. Nesten en tredjedel av de registrerte forekomstene av industrimineraler i Norge er feltspatmineraler. Før første verdenskrig og i mellomkrigstiden var det en stor feltspatproduksjon i Norge. Mange hundre forekomster har vært i drift på det som i dag må karakteriseres som små forekomster, der feltspatkvalitetene (albitt og kalifeltspat) ble separert for hånd. NGU kartla på den tiden de fleste feltspatforekomstene i Sør-Norge (Andersen, 1926, 1928; Barth, 1930; Broch, 1934; Bjørlykke, 1939). På 1980-tallet var de fleste feltspatforekomster som baserte seg på håndsortering nedlagt. Den siste store feltspatforekomsten som var i drift, Glamsland ved Lillesand, ble nedlagt i 2011. I dag er det kun en liten produksjon av feltspat i Norge. Disse og tilsvarende forekomster andre steder i Skandinavia var i drift på en tid (i hovedsak før 1970) da kostnadsnivået og markedet var svært forskjellig fra i dag. Det er usikkert hvor stor økonomisk betydning disse registreringene har og vil ha i framtiden.

Kart over norske feltspatforekomster og registreringer er vist på Figur 24.

Nefelinsyenitt er geologisk sett en ganske sjelden bergart som vi i Norge har en del ressurser av. Den viktigste forekomsten i Norge ligger på Stjernøy i Finnmark der det har vært drift siden tidlig 1960-tall. Forekomsten leverer i dag ca. 300 000 tonn eller 6 % av Europas behov for nefelinsyenitt per år. Det viktigste bruksområdet er til glass og keramisk industri. Nefelinsyenitt konkurrerer her med feltspat, men har den fordel at den har lavere smeltepunkt og dermed er energibesparende.

I tillegg til Stjernøy finnes det en del andre, mindre registreringer i Seilandsprovinsen og store forekomster i Lågendalen nord for Larvik. I det sistnevnte området gjorde Norsk Hydro undersøkelser med tanke på utnyttelse på 1970-tallet (Myhre, 1975; Lindberg, 1976). Konsentrater av nefelinsyenitt har strenge kvalitetskrav og det antas at nefelinsyenitten i Larvik-området er mer krevende å opprede enn nefelinsyenitten fra Stjernøy.

Kart over NGUs registrerte forekomster og registreringer av nefelinsyenitt er vist på Figur 25.

3.4.3 Flusspat (CaF_2)

Flusspat er et viktig utgangspunkt for produksjon blant annet av syntetisk kryolitt (Na_3AlF_6) som brukes som fluksmiddel ved aluminiumsframstilling.

Flusspatforekomstene i Norge er alle hydrotermale gangforekomster. Disse forekomstene er forholdsvis små, men er ofte rike i flusspat. Det har vært småskala drift på en rekke forekomster og litt større drift på et par flusspatforekomster i Norge. De største kjente forekomstene er Tveitstå ved Dalen i Telemark og Lassedalen ved Kongsberg. Norsk Hydro gjorde ganske omfattende undersøkelser av norske flusspatforekomster på 1970-tallet, uten å finne drivverdige forekomster. NGU ser i dag økende interesse blant prospekteringselskaper for flusspat i Norge og det har vært gjort en del undersøkelser, særlig i Lassedalen.

Kart over Norges flusspatforekomster vist på Figur 26.

3.4.4 Fosfatbergarter, apatitt

Fosfatholdige bergarter brukes for sitt innhold av apatitt $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$. Fosfat (PO_4^{3-}) er en av de viktigste komponentene i kunstgjødsel.

I Norge er det meget store ressurser av fosfatbergarter som inneholder apatitt. Det er i hovedsak tre typer apatittforekomster i Norge:

- 1) Hydrotermale gangforekomster
- 2) Apatittførende karbonatitter og alkaline komplekser
- 3) Apatittførende jern-titanforekomster.

Historisk sett var hydrotermale gangforekomster viktig, spesielt i perioder med importvanskeligheter. Før og under 1. verdenskrig var et titalls apatittforekomster i drift (Bugge, 1922). Ødegårdens verk i Bamble var den viktigste og var i drift fra 1870 til 1926 og også i en kort periode under 2. verdenskrig.

De viktigste forekomstene vi kjenner til av apatittførende alkaline komplekser er Misvær-komplekset i Beiarn (Ihlen, 2009), og Lillebukt alkaline-kompleks på Stjernøy i Finnmark, mens Fensfeltet ved Ulefoss er et apatittførende karbonatittkompleks (Gautneb & Ihlen, 2009).

De største forekomstene vi har i Norge av apatittholdige bergarter er knyttet til jern-titanforekomster. De viktigste kjente forekomstene opptrer sør for Bjerkreim i Rogaland og i Kodalforekomsten ved Larvik. Disse forekomstene har ressurser av fosfatbergart på over 3 milliarder tonn. Størrelsen tilsier at dette er forekomster av verdensklasse, og inneholder apatitt som en av flere verdikomponenter. Skulle forekomstene som nå undersøkes i Bjerkreim komme i drift, vil Norge bli en betydelig produsent av fosfatråstoff. Norske apatittforekomster kan også være viktige kilder til sjeldne jordarter (REE) (Ihlen et al., 2012)

Kart over registrerte apatittforekomster og registreringer er vist på Figur 27.

3.4.5 Grafitt

Det viktigste bruksområdet for grafitt er som ildfast materiale for metallurgisk industri, men grafitt er også viktig som anodemateriale i batterier. Grafitt til batterier produseres også syntetisk, men prisen på syntetisk grafitt er pr i dag ca. det dobbelte av prisen på naturlig grafitt.

Grafitt er et av de viktigste mineralene for det grønne skiftet og Norge har vært en viktig produsent i Europa i snart 100 år. Europas største produsent av naturlig grafitt, ligger på Trælen ved tettstedet Skaland på Senja.

Norges samlede grafittressurser er betydelige og undersøkte forekomster har antatte ressurser tilsvarende ca. 240 millioner tonn med grafittmalm, og med et potensiale for å kunne utvinne opptil 20 millioner tonn med grafitt. Forekomstene ligger stort sett i områder med høymetamorfe bergarter av tidlig Proterozoisk alder (eldre enn 1800 millioner år), hovedsakelig i Lofoten-Vesterålen, Senja og nordlige Helgeland. Grafitt-registreringer andre steder i landet anses som av mindre betydning, (Gautneb et al., 2022) for en oversikt. Med all sannsynlighet er det et betydelig potensial for økt utvinning av grafitt i Norge.

Oversikt over Norges grafittforekomster er vist på Figur 28, der vi har markert i forekomstene som er eller har vært i drift i nyere tid.

3.4.6 Magnesium-mineraler, olivin, dolomitt og magnesitt

Olivin og dolomitt anses ikke for å være kritiske mineraler i seg selv, men er, eller kan være, viktige råstoffer for magnesium-metall, som er ett av Europas mest kritiske metaller. Norge var tidligere en stor produsent av magnesium-metall fra norske råstoffer (dolomitt og sjøvann). Produksjonen ble nedlagt i 2001 og utover på 2000-tallet ble all europeisk produksjon av magnesium-metall nedlagt som følge av kinesisk konkurranse. I Norge har det i tillegg vært en liten produksjon av magnesitt (i Buskerud ved Modum og Snarum).

Skulle magnesium-metall i framtiden igjen bli produsert i Europa har Norge svært store ressurser av flere typer råstoff. Norge er verdens største produsent av olivin ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$) fra Åheim, og ressursene av olivin er muligens verdens største. I tillegg har vi meget store ressurser av dolomitt ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Produksjon av magnesium-metall fra olivin ble grundig undersøkt av firmaet SilMag på 1990-tallet. Det lyktes på det tidspunktet ikke å finne noen anvendelse for silika-komponenten (SiO_2) i olivinen (som utgjør ca. 46 %) og prosjektet ble avsluttet.

Kart over registreringer og forekomster av magnesium-mineraler i Norge er vist på Figur 29.

3.4.7 Kvarts til silisium-metall

Silisium-metall framstilles ved å smelte kvarts med karbon som reduksjonsmiddel. Norge produserer ca. 35% av EU's import og 6% av verdensproduksjonen av silisium-metall. 40 % av råstoffene (kvarts) til norsk silisium-metallproduksjon importeres, blant annet fra Spania (Jonsson et al., 2022). Bruksområdene til silisium-metall er veldig avhengig av renhet og

kvalitet. Silisium med en renhet på rundt 95% brukes til legeringer, mens halvlederkomponenter i elektronikk kreve en renhet på bedre enn 99.9999%.

Kvarts er et svært vanlig industrimineral i Norge, imidlertid er kvalitetskravene til råstoff for silisium-metall strenge og kun et begrenset antall av de norske forekomstene vil oppfylle kravene. Norske kvartsforekomster er vist på Figur 30.

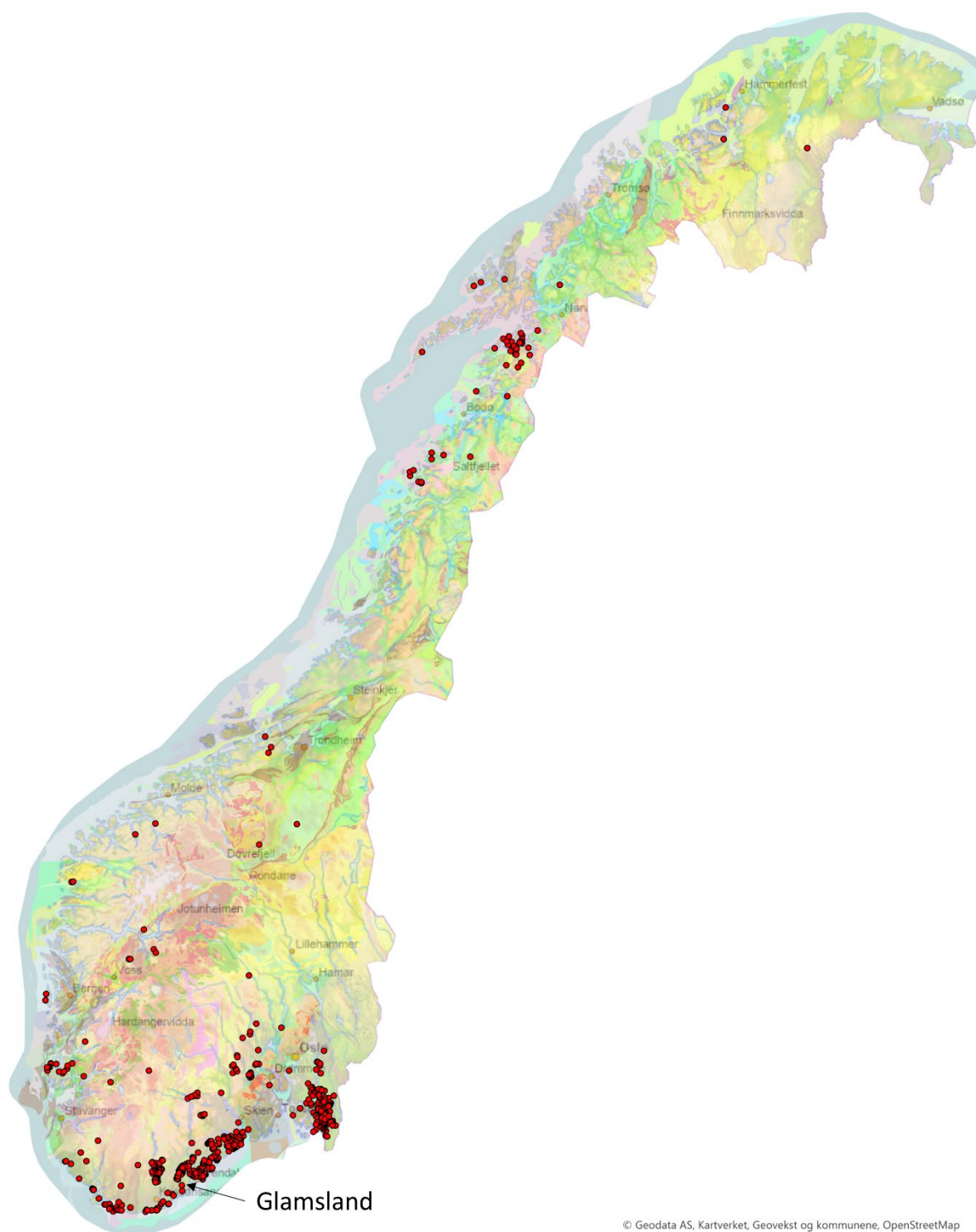
3.5 Kart over kritiske industrimineraler

Barytt



Figur 23: Norske baryttregistreringer.

Feltspat



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

Figur 24: Norske feltspat-registreringer.

Nefelinsyenitt



Figur 25: Norske forekomster og registreringer av nefelinsyenitt.

Flusspat



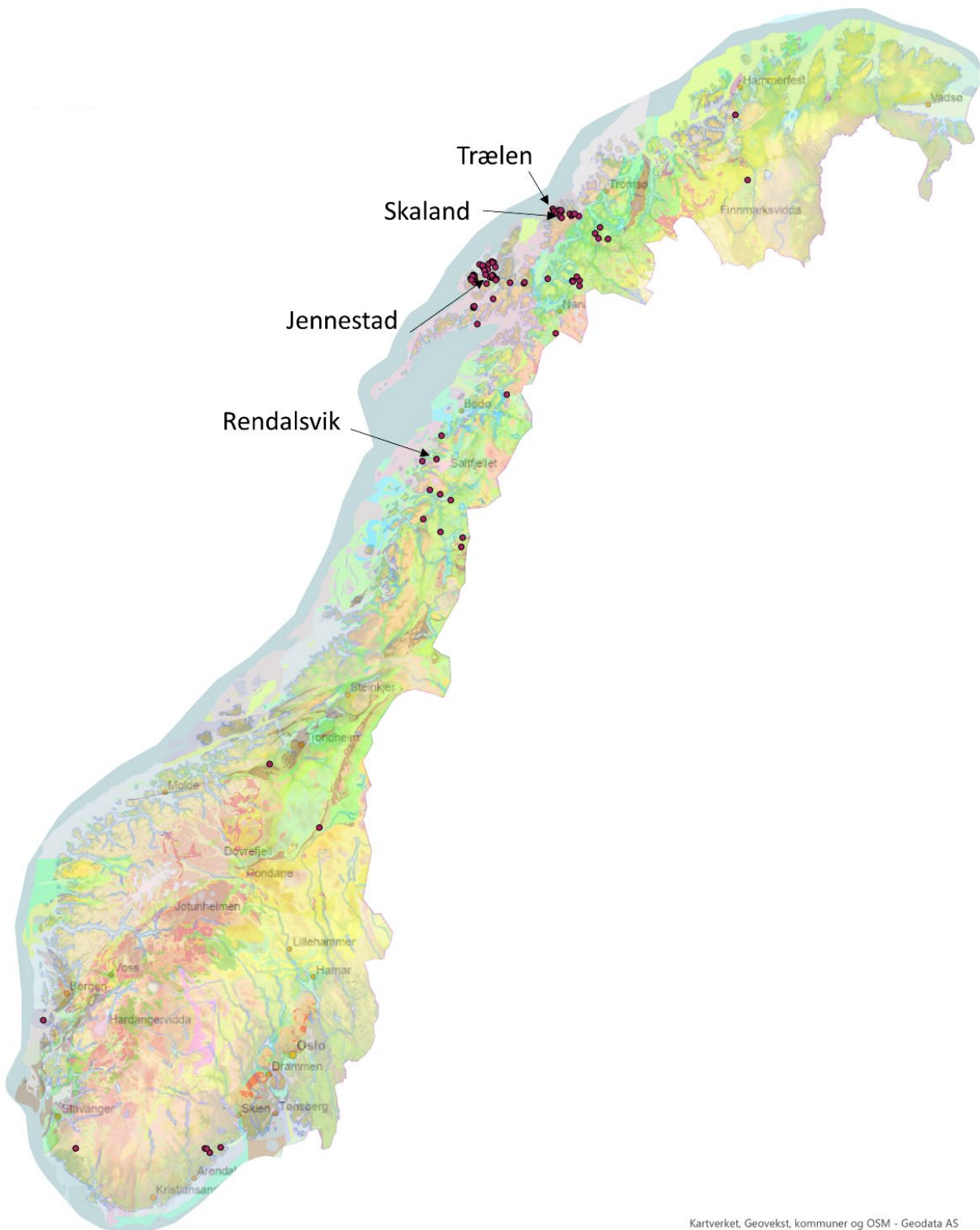
Figur 26: Norske flusspat-registreringer.

Apatitt



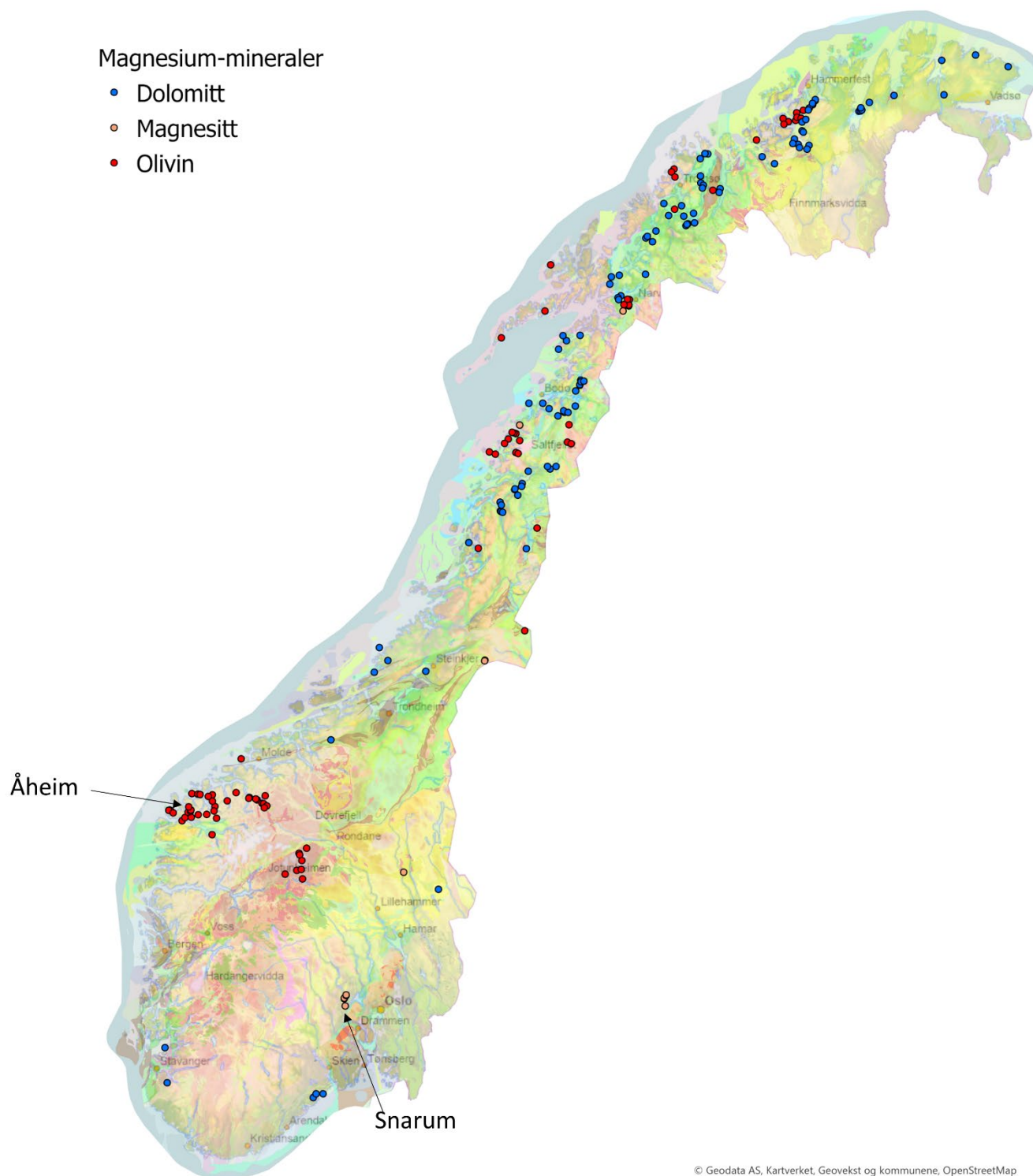
Figur 27: Norske forekomster og registreringer av apatitt (fosfat-råstoff).

Grafitt



Figur 28: Norske grafitt-registreringer. Forekomster som er, eller har vært i drift, er navnsatt.

Magnesium-mineraler



© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

Figur 29: Norske registreringer av magnesium-mineralene olivin, dolomitt og magnesitt.

Kvarts



Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS

Figur 30: Norske kvarts-registreringer. Viktige forekomster er navnsatt.

4. RESULTATER OG ANBEFALT VIDERE ARBEID

I kapitlene ovenfor har vi gjort rede for hvor kritiske og strategiske metaller og mineraler opptre i Norge basert på blant annet kjemiske analyser av prøver fra forekomstene. Norges ressurser og reserver av kritiske metaller og mineraler kan ikke kvantifiseres basert på disse dataene. For flere av disse råstoffene finnes det både antatte, indikerte og målte ressurser på grunnlag av undersøkelser gjort av gruveindustrien. Dette gjelder blant annet for kobber, nikkel, kobolt, niob, titan og beryllium. For eventuell framstilling av magnesium-metall har Norge store og veldokumenterte ressurser av olivin og dolomitt.

Norge har et betydelig ressurser av sjeldne jordartsmetaller, nefelinsyenitt og grafitt. Det er også ressurser av vanadium, flusspat og kvarts for silisiummetall.

De kjemiske analysene fra ressursdatabasene har ikke påvist interessante konsentrasjoner av elementene antimon, gallium, germanium, indium eller tantal. Det kan likevel være ressurser som inneholder disse elementene, siden mange mineralregistreringer stadig ikke er prøvetatte eller analyserte.

4.1 Videre arbeid

Denne rapporten gir en oversikt over deler av kunnskapsgrunnlaget for kritiske mineraler i Norge og vil være et viktig grunnlag for videre prioritering av NGU's mineralressurskartlegging.

Arbeidet med kritiske metaller og mineraler vil være prioritert for NGU i mange år og denne rapporten vil danne et grunnlag for stadig mer omfattende oversikter over disse råstoffene. Oversiktene i rapporten vil også være med på å definere metallogenetiske provinser, som er områder der de geologiske forholdene har eller kan ha medført en oppkonsentrering av forskjellige mineraler og metaller. Tilrettelegging av informasjon for prospekteringselskaper og annen industri som ønsker å sette nye forekomster i produksjon, slik at Europas sårbarhet i forhold til kritiske materialer blir redusert, vil være blant NGUs viktigste arbeid i årene framover.

5. REFERANSER

- Amundsen, G.B. 2015: Krigsmetallet frå Ulefoss. Utnytting av niob og andre metall- og mineralforekomster i Ulefoss, 1918 til 1965. Unpublished MA thesis, Universitetet i Agder.
- Andersen, O. 1926: Felspat I, Felspat mineralenes, egenskaper, forekomst og praktiske utnyttelse, med særlig henblikk på den Norske felspat industri. *Norges geologiske undersøkelse Bull. 128A*, 1-177
- Andersen, O. 1928: Felspat II. Forekomster i fylkene Buskerud og Telemark, i flere herreder i Aust-Agder og i Hidra i Vest-Agder. *Norges geologiske undersøkelse Bull. 128B*, 1-109
- Australian Government. 2023. Critical Minerals Strategy 2023–2030, 64, <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2023-06/critical-minerals-strategy-2023-2030.pdf>.
- Barth, T.F.W. 1930: Felspat III, Forekomster i Iveland og Vegusdal i Aust-Agder og i flere herreder i Vest-Agder. *Norges geologiske undersøkelse. Bulletin 128 8*, 1-150
- Bergstøl, S. & Juve, G. 1988: Scandian ixiolite, pyrochlore and bazzite in granite pegmatite in terdal, Telemark, Norway. A contribution to the mineralogy and geochemistry of scandium and tin. *Mineralogy and Petrology* 38, 229-243, doi: 10.1007/BF01167090.
- Bjørlykke, H. 1939: Felspat V. De sjeldne mineraler på de norske granittiske pegmatittganger. *Norges geologise undersøkelse Bull. 154*, 1-78
- Bjørlykke, H. 1953. Ørdsalen Wolramforekomst rapport BA 1142, 9,
- Blengini, G.A., Blagoeva, D., Dewulf, J., de Matos, C.T., Baranzelli, C., Ciupagea, C., Dias, P., Kayam, Y., Latunussa, C.E.L., Mancini, L., Manfredi, S., Marmier, A., Mathieux, F., Nita, V., Nuss, P., Pavel, C., Peirò, L.T., Tzimas, E., Beatriz, V.-L. & David, P. 2017. Methodology for establishing the EU list of critical raw materials. European Commission, 30,
- Blengini, G.A., E.L., L.C., Umberto, E., Torres de Matos, C., Wittmer, D., Georgitzikis, K., Pavel, C., Carrara, S., Unguru, M.L., Blagoeva, D., Mathieux, F. & Pennington, D. 2020. Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report. European Commission, 158,
- Broch, O., Anton. 1934: Felspat IV. Forekomster i Akershus og Østfold øst for Glomma. *Norges geologise undersøkelse Bull. 141*, 1-119
- Bugge, C. 1922: Statens apatitdrift i Rationeringstiden. *Norges geologise undersøkelse Bull. 110*, 36
- Bølviken, B., Olerud, S., Sand, K. & Sandstad, J.S. 1988. Baryttleting i Finnmark, sluttrapport. Norges geologiske undersøkelse rapport 88.058, 19, https://www.ngu.no/FileArchive/NGURapporter/88_058.pdf.
- Coint, N. & Dahlgren, S. 2019. Rare earth elements (REE) in two long drill-cores from the Fen Carbonatite Complex, Telemark, Norway (preliminary version). Geological Survey of Norway rapport 2019.008, 33, https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2019/2019_008.pdf.
- Dahl, R., Heldal, T. & Schiellerup, H. 2014: Klassifikasjonssystem for mineralske ressurser. *Mineralproduksjon* 5, B1-B6
- Dahlgren, S. 2019. REE mineralization in the Fen Carbonatite Complex, Telemark, Norway - A world-class exploration target for the Hi-Tech and "Green-shift" Industry? Buskerud Telemark Vestfold County Councils rapport 1-2019, 86,
- Duchesne, J.-C. & Korneliussen, A. 2003: Ilmenite deposits and their geological environment. With special referende to the Rogaland Anorthosite Province. Including a geological map at scale 1:75 000 and a CD with a guide to the province. In Duchesne, J.-C. & Korneliussen, A. (eds.): *Norges geologiske undersøkelse, special publication 9*, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, 134, doi:
- Earlam, M.R. 2020: Chapter 6 - The Kroll process and production of titanium sponge. In Fang, Z.Z., Froes, F.H. & Zhang, Y. (eds.): *Extractive Metallurgy of Titanium*, Elsevier, 97-112, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817200-1.00006-5>.
- Eilu, P., Bjerkgård, T., Franzson, H., Gautneb, H., Häkkinen, T., Jonsson, E., Keiding, J.K., Pokki, J., Raaness, A., Reginiussen, H., Róbertsdóttir, B.G., Rosa, D., Sadeghi, M., Sandstad, J.S., Stendal, H., Þórhallsson, E.R. & T., T. 2021: *The Nordic supply potential of critical metals and minerals for a Green Energy Transition.*, Oslo, 978-82-8277-115-3, doi: <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1593571/FULLTEXT02>.
- Emsley, J. 2011: *Nature's building blocks: an AZ guide to the elements*. Oxford University Press, 0199605637, 699
- European Commission. 2023. Annexex to the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations. European Commission, 16,
- European Commission. 2008: The raw materials initiative — meeting our critical needs for growth and jobs in Europe. European Commission, Brussels, 13, doi:
- European Commission. 2023: Proposal for a regulation of the European parliament and of the council, establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations, 94, doi:
- Evans, A.M. 2009: *Ore geology and industrial minerals: an introduction*. John Wiley & Sons, 144431405X, 388
- Eynard, U., Georgitzikis, K., Dominic Wittmer, Latunussa, C.E., Matos, C.T.d., Mancini, L., Unguru, M., Blagoeva, D., Pavel, C., Carrara, S., Mathieux, F., Pennington, D. & Blengini, G.A. 2020. Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020), Factsheets on Non-Critical Raw Materials. EU commission, 597,

- Gautneb, H. & Ihlen, P. 2009. Review of the geology and the distribution of phosphorous in the Lillebukt Alkaline Complex, and adjacent areas, Stjernøy Northern Norway rapport 2009.060, 42, <https://hdl.handle.net/11250/2664711>.
- Gautneb, H., Rønning, J.S. & Larsen, B.E. 2022: A step towards meeting battery raw material demand: The geology and exploration of graphite deposits, examples from northern Norway. *Geological Society, London, Special Publications* 526, SP526-2021-180, doi: 10.1144/sp526-2021-180.
- Geis, H.P. 1965: Eisen-Titanlagerstätten bei Rausand Westnorge. *Norges geologiske undersøkelse Bull.* 234, 15-52
- Grønlie, A. 1988: Platinum-group minerals in the Lillefjellklumpen nickel-copper deposit, Nord-Trøndelag, Norway. *Norsk geologisk tidsskrift* 68, 65-72
- Hallberg, A. & Reginiussen, H. 2018. Kartläggning av innovationskritiska metaller och mineral. Sveriges geologiske undersökning, 1-90,
- Handoyo, S. 2023: Worldwide governance indicators: Cross country data set 2012–2022. *Data in Brief* 51, 109814, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109814>.
- Heier, K.S. 1955: The Ørdsalen tungsten deposit. *Norsk geologisk tidsskrift.* 35, 69-85
- Horvath, O. 1943. Vorkommen von seltenen Erden. Organisation Todt, <https://www.ngu.no/FileArchive/BArapporter/BA6238.pdf>.
- Ihlen, P. 2009. Lithochemical investigations of potential apatite resources in the Misværdal and Hopsfjellet ultramafic massifs, northern Norway. *Norges geologiske undersøkelse rapport* 2008.074, 57, https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2008/2008_074.pdf.
- Ihlen, P.M., Furuhaug, L., Padget, P. & Sandstad, J.S. 1997. Instructions for the systematisation of geological data and compilation of the registration form for the Ore Data Base, *Norges geologiske undersøkelse rapport* 1997.100, 60.
- Ihlen, P., Gautneb, H., Meyer, G. & Schiellerup, H. 2012: Characterization of apatite resources in Norway and their REE potential; a review. *International Geological Congress, Abstracts = Congres Geologique International, Resumes* 34, 1799
- Jevons, W.S. 1866: *The Coal Question; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of our Coal-Mines*. Macmillan and Co, London, 0950-5679,
- Jonsson, E., Törmänen, T., Keiding, J.K., Bjerkgård, T., Eilu, P., Pokki, J., Gautneb, H., Reginiussen, H., Rosa, D., Sadeghi, M., Sandstad, J.S. & Stendal, H. 2022: Critical metals and minerals in the Nordic countries of Europe: diversity of mineralisation and green energy potential. *Geological Society, London, Special Publications* 526, SP526-2022-55, doi: 10.1144/SP526-2022-55.
- Jowitt, S.M., Mudd, G.M. & Thompson, J.F.H. 2020: Future availability of non-renewable metal resources and the influence of environmental, social, and governance conflicts on metal production. *Communications Earth & Environment* 1, 13, doi: 10.1038/s43247-020-0011-0.
- Korneliussen, A. & Foslie, G. 1985: Rutile-bearing Eclogites in the Sunnfjord Region of Western Norway. *Norges geologiske undersøkelse. Bulletin* 402, 65-71
- Korneliussen, A., Geis, H.P., Gierth, E., Krause, H., Schott, W. & Robins, B. 1985. Registered occurrences of titaniferous magnetite, ilmenite and rutile in Norway. *Norges geologiske undersøkelse rapport* 85.125, 20,
- Korneliussen, A. & Raaness, A. 2006. Oppfølgende undersøkelser av zirkon i Fritzøe skoger. *Norges geologiske undersøkelse rapport* 2006.041, 24,
- Latunussa, C.E.L., Georgitzikis, K., Torres de Matos, C., Grohol, M., Eynard, U., Wittmer, D., Mancini, L., Unguru, M., Pavel, C., Carrara, S., Mathieux, F., Pennington, D. & Blengini, G.A. 2020. Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020), Factsheets on Critical Raw Materials. European Commission,, 819, https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRM_2020_Factsheets_critical_Final.pdf.
- Lindberg, P.A. 1976. Undersøkelse av nefelinsyenitt, Lågendalen. *Norsk Hydro rapport* NH 62B, 4,
- Lindberg, P.A. 1985: Fe-Ti-P Mineralizations in the Larvikite-Lardalite Complex, Oslo Rift. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin* 402, 93-98
- Lundberg, N.H. 1986: *Grunnfjellet i norsk industri, norsk metallurgisk selskap 50 år*. Norsk metallurgisk selskap, 82-991407-0-6, 176
- Mineralloven. 2010: Lov om erverv og utvinning av mineralressurser (mineralloven) LOV-2009-06-19-101. Nærings- og fiskeridepartementet, Oslo, doi:
- Myhre, K. 1975. Nefelin som råstoff for Alumina og Alkali. *Norsk Hydro rapport* NH62C, 19,
- Müller, A. & Furuhaug, L. 2008. Resource evaluation of the Målvika tungsten deposit, Nordland. *Norges geologiske undersøkelse rapport* 2008.008, 49,
- Nassar, N.T., Graedel, T.E. & Harper, E.M. 2015: By-product metals are technologically essential but have problematic supply. *Science Advances* 1, e1400180, doi: 10.1126/sciadv.1400180.
- Nassar, N.T. & Fortier, S.M. 2021. Methodology and technical input for the 2021 review and revision of the U.S. Critical Minerals List. USGS open file report 2021–1045, 31,
- Natural Resources Canada. 2022. The Canadian Critical Minerals Strategy. Natural Resources Canada rapport M34-82/2022E, 58, <https://www.canada.ca/content/dam/nrcan-rncan/site/critical-minerals/Critical-minerals-strategyDec09.pdf>.
- Oftedahl, C. & Bollingberg, H. 1958. Rapport over leting etter zirkon i Larvik-trakten 1956. *Norges geologiske undersøkelse*, 6,

- Olerud, S. 1988: Davidite-loveringite in early Proterozoic albite felsite in Finnmark, north Norway. *Mineralogical Magazine* 52, 400-402
- Priesemann, F.-D. & Krause, H. 1985: The Selvåg Deposit: A Proterozoic Magmatic Fe-Ti-V Occurrence on Vesterålen, Northern Norway. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin* 402, 51-64
- Robb, L. 2020: *Introduction to ore-forming processes*. John Wiley & Sons, Oxford, 1119232392, 371
- Robins, B. 1985: Disseminated Fe-Ti Oxides in the Seiland Magmatic Province of Northern Norway. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin* 402, 79-91
- Røyne, A. 2019: *Menneskets grunnstoffer - byggeklossene vi og verden er laget av*. Kagge forlag, Oslo, 9788248923992, 220
- Sanetra, S. 1985: The Rødssand Fe-Ti-V Deposits, Møre, Western Norway. *Norges geologiske undersøkelse. Bull.* 402, 39-49
- Schilling, J., Bingen, B., Skår, Ø., Wenzel, T. & Markl, G. 2015: Formation and evolution of the Høgtuva beryllium deposit, Norway. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 170, 30, doi: 10.1007/s00410-015-1179-7.
- Selbekk, R. 2010: *Norges Mineraler*. Tapir, Trondheim, 552 s.
- Stendahl, H., Furuhaug, L., Korneliussen, A. & Larsen, R. 1992. Wolframmineraliseringer i Bodø-Glomfjord-regionen. *Norges geologiske undersøkelse*, 33, https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/1992/92_231.pdf.
- Szaprowicz, B.O. 1981: *How to avoid strategic materials shortages : dealing with cartels, embargoes, and supply disruptions*. Wiley, New York, 0471078433,
- U.S. Department of Justice. 2018: *Herfindahl-Hirschman Index*. <https://www.justice.gov/atr/herfindahl-hirschman-index>, Last accessed: 15.11.
- Wall, F., Rollat, A. & Pell, R.S. 2017: Responsible sourcing of critical metals. *Elements: An International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology* 13, 313-318, doi: 10.2138/gselements.13.5.313.
- Wilberg, R. & Lindahl, I. 1991. Bordvedåga beryllium-forekomst, Rana kommune, Nordland. Samplerapport. *Norges geologiske undersøkelse Report* 91.180, 38,
- Wilberg, R. 1987. Resultater fra oppboring av Bordveåga berylliumforekomst i 1987, Høgtuvavinduet, Nordland. *Norges geologiske undersøkelse rapport* 87,172, 94, https://www.ngu.no/FileArchive/NGURapporter/87_172.pdf.
- Wilson, R.J. 1985: Fe-Ti Oxides in the Fangen-Hyllingen Layered Mafic Intrusion. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin* 402, 73-78
- Åmli, R. 1977: Internal structure and mineralogy of the Glossetheia granite peg matite, Frøland, southern Norway. *Norsk geologisk tidsskrift* 57, 243-262

VEDLEGG 1: DEFINISJON AV BEGREPENE STRATEGISKE OG KRITISKE MATERIALER.

Teksten nedenfor er basert på EU kommisjonens definisjoner (Blengini et al., 2017; European Commission, 2023).

Strategiske materialer

Strategiske materialer er materialer som anses som essensielle for et lands nasjonale sikkerhetsforhold og forsvarsforhold. Dette inkluderer naturressurser slik som olje, mineraler, stål, aluminium, titan, andre legeringer og sammensatte materialer, plastikk, polymerer og keramikk. Begrepet strategiske mineraler er et nytt konsept i Europa og er basert på at metallene er relevante for den grønne, digitale omstilling, romfart og forsvarsanvendelser.

Følgende forhold er tatt i betraktning for å klassifisere om et råmateriale er av strategisk betydning:

1. Mengden av strategiske teknologier av der et råmateriale brukes
2. Mengden av råmaterialet som brukes til framstilling i de strategiske teknologier.
3. Forventet global etterspørsel for relevante strategiske teknologi

Disse forholdene definert som følger:

$$D_{F/C} = DF/GS$$

hvor:

$D_{F/C}$ er forventet global etterspørsel

DF er etterspørsel forventet for et referanseår

GS er forventet global forsyning

Hvis vi sammenligner de tilgjengelige reserver relativt til global forsyning, får vi et forhold mellom reserver og produksjon som defineres som følger:

$$R/P = R/GS$$

der:

R er kjente reserver av kjente geologiske reserver av en ressurs

P er produksjonen

Ett materiale får økende strategisk betydning når $D/F_{F/C}$ og R/P blir mindre (når produksjonen øker mer enn reservene). Dersom materialet blir definert som strategisk har EU kommisjonen definert et sett med regler og tiltak som skal vurderes og gjennomføres. Vi ser fra formlene over at det viktigste forhold for å redusere strategisk sårbarhet for et materiale er å øke de kjente reservene (den utnyttbare mengden) for dette materialet.

Kritiske metaller og mineraler

Ett materiale er definert som kritisk dersom det både har en stor økonomisk betydning og kan komme i en situasjon der forsyningsforstyrrelser kan opptre. For å kunne bruke dette begrepet i politiske og økonomiske beslutninger har begrepet fått en nøyaktig matematisk definisjon basert på handelsstatistikk og sosioøkonomiske data og parametere. Se Blengini et al. (2017) for en fullstendig metodebeskrivelse.

Økonomisk viktighet (Economic importance EI) er definert som følger:

$$EI = \sum_s (A_s * Q_s) * SI_{EI}$$

NACE = *Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne*, på norsk brukes betegnelsen næringskoder, et 4 sifret tall der de to første definerer industrisektor.

A_s er andelen av et materiale i et sluttprodukt i en industriell (S)sektor på NACE nivå 2

Q_s er relevant verdiskapning i produksjon av sluttproduktet i en sektor basert på NACE nivå 2

SI_{EI} er en faktor som tar hensyn til substitusjonen altså i hvilken grad et materiale kan erstattes av et annet.

Når økonomisk viktighet summeres opp for alle de økonomiske megasektorer ett materiale brukes i, får man et tall for materialets økonomiske viktighet.

Forsyningssikkerhet (supply risk (SR)) er definert som følger:

$$SR = [(HHI_{WGI,t})_{GS} \times IR/2 + (HHI_{WGI,t})_{EU} \times (1-IR/2)] \times (1-EoL_{RIR}) * SI_{SR}$$

Der:

x indikerer multiplikasjon og / divisjon

HHI er Herfindah-Hirschman index (et mål på graden av monopolisering av produksjon) se U.S. Department of Justice (2018) for forklaring.

WGI er world governance indicators slik som de er definert av Verdensbanken (Handoyo, 2023).

t, er en handelsparameter som tar hensyn til handelsavtaler, eksportrestriksjoner, forsyningshindringer eller fordeler,

GS og EU er henholdsvis global og europeisk forsyning,

IR import sikkerhet.

EoL_{RIR} er livsløp resirkuleringsgrad (end of life recycle input ratio). Med dette menes mengden av (skrap)materiale fra et produkt som har gjort full resirkulering og erstatter nytt råmateriale i ny produksjon av produktet.

SI_{SR} = er graden av substitusjon ved bruk av resirkulert materiale.

Forenklet kan vi si at forsyningssikkerhet bestemmes av å se på hvilke land som dominerer verdensproduksjonen, trekke fra innenlands produksjon og se på hvilken grad man kan substituere og resirkulere materiale. Å øke antall produsentland, fortrinnsvis med land med høy WGI vil redusere HHI, og HHI er den enkeltfaktor som vil redusere forsyningssikkerhet mest, dersom andre forhold er de samme.



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no