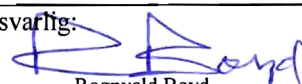


NGU Rapport 2009.009  
Evaluering av framtidig behov og tilgang på  
industrimineraler og metaller i Buskerud,  
Telemark og Vestfold



Rapport nr.: 2009.009		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Evaluering av framtidig behov og tilgang på industrimineraler og metaller i Buskerud, Telemark og Vestfold				
Forfatter: Raaness, A., Ihlen, P., Korneliussen, A., Bjerkgård, T, Gautneb, H., Sandstad, J. S. & Wanvik, J.E.			Oppdragsgiver: NGU og Regiongeologen i Buskerud, Telemark og Vestfold fylkeskommuner	
Fylke: Buskerud, Telemark og Vestfold			Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000) Oslo, Hamar, Skien, Arendal			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 122	Pris: 360 kr
Feltarbeid utført:			Kartbilag:	
Rapportdato: 02.06.2009		Prosjektnr.: 317300	Ansvarlig:  Rognvald Boyd	
Sammendrag:				
<p>Rapporten gir en evaluering av ressurspotensialet for industrimineraler og metaller i Buskerud, Telemark og Vestfold.</p> <p>Til sammen er 45 industrimineraler og 46 metaller og halvmetaller evaluert, sammen med utvalgte provinser som kjennetegnes ved stor tetthet av visse typer forekomster. De enkelte industrimineralene, metallene og de potensielle provinsene er diskutert i detalj i vedleggene.</p> <p>Det er satt opp ulike scenarier for hvilke ressurser som kan bli viktige i løpet av de neste 20-30, 50 og 100 år uten konkrete konklusjoner. For de nærmeste årene anbefaler vi at arbeidet fokuseres på:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Generell kartlegging og geofysiske undersøkelser</li> <li>- Kalkstein som råstoff for eksisterende og fremtidig sementindustri</li> <li>- Cu-Co-mineraliseringer i Modum-området</li> <li>- Sulfidmineraliseringer i Kongsberg</li> <li>- Nb og REE i Fensfeltet</li> <li>- Ta-Sc-REE i Nissedal-Tørdal-området.</li> </ul>				
Emneord: fagrapport		mineralressurser		Buskerud
		malforekomster		Telemark
		industrimineralforekomster		Vestfold



## **INNHold**

Introduksjon og bakgrunn .....	4
Oppsummering .....	6
Industrimineraler .....	6
Metalliske elementer .....	9
Potensielle mineral- og malmprovinser.....	12
Numedal/Sentrale Telemark.....	12
Nissedal-Tørdal .....	13
Bandak/Transtaulhøgdi .....	13
Hokksund .....	14
Kongsbergområdet .....	14
Fensfeltet .....	15
Scenarier.....	16
Hvilke ressurser kan bli viktige i et 20-30 års-perspektiv?.....	17
Hvilke ressurser kan bli viktige i et 50 års-perspektiv? .....	17
Hvilke ressurser kan bli viktige i et 100-300 års-perspektiv?.....	18
Muligheter for gass/CO <sub>2</sub> -basert verdiskapning .....	19
Anbefalinger.....	21

## **VEDLEGG**

Vedlegg 1: Industrimineraler

Vedlegg 2: Metalliske elementer

Vedlegg 3: Potensielle mineral- og malmprovinser



## Introduksjon og bakgrunn

Buskerud, Telemark og Vestfold har i flere hundre år hatt en næringsvirksomhet og økonomi basert på uttak og foredling av geologiske ressurser, som for eksempel jernverkene på Ulefoss, Eide, Eidsfoss, Skien og Notodden, Sølvverket på Kongsberg, Norsk Hydro på Herøya, Rjukan og Notodden, Norcem ved Brevik og larvikittindustrien ved Larvik. Med tanke på framtidens byggeaktiviteter og næringsutvikling vil tilgang på industri- og byggeråstoffer være meget viktig.

Samfunnet nasjonalt og globalt er grunnleggende avhengig av bruk av mineralske råvarer og uten tilgang til metaller og mineraler vil samfunnet kollapse. Det er globalt sett derfor ikke spørsmål om en skal drive gruvedrift eller ikke, men hvor og hvordan. Både industrimineraler og metaller kan skaffes i et internasjonalt marked så lenge handel foregår uhindret, noe man ikke kan ta for gitt i lys av Kinas etter hvert dominerende rolle med produksjon og etterspørsel av mange viktige metaller. Det er liten tvil om at egen (regional eller nasjonal) gruvedrift gir muligheter for industriell utvikling som ellers ikke vil være til stede. Det er heller ingen tvil om at videreforedlende industri gir langt større sysselsetting og verdiskaping enn ren råvareproduksjon.

For Buskerud, Telemark og Vestfold vil det være relevant å skille mellom følgende kategorier av mineralressurser:

1. Mineralressurser med lokal og regional direkte anvendelse uten videreforedling; dette gjelder i første rekke byggeråstoffer (sand, grus, og pukk og murestein). Byggeråstoffer som sand, grus og pukk er behandlet i NGU-rapport 2009.007, mens murestein og naturstein er omtalt i NGU-rapport 2009.008.
2. Mineralressurser egnet som råvare for videreforedlende industri lokalt og regionalt. I dagens situasjon gjelder dette i første rekke kalk til sementproduksjon (Norcem i Brevik), men for fremtiden kan en tenke seg flere muligheter. Denne type ressurs kan gi grunnlag for mange arbeidsplasser og svært stor verdiskaping.
3. Ressurser som i praksis er mindre egnet for lokal videreforedlende industri og dermed kun egnet for ren råvareeksport. De fleste metalliske forekomsttyper kommer i denne kategorien, som for eksempel konsentrater av kobber-, sink- og gull-malmer etc.

Det er helt nødvendig for samfunnet å forholde seg til ressursene og legge til rette for en god forvaltning som optimaliserer ressursbruken til beste for både dagens og kommende generasjoner, og for å få en god forvaltning må man vite hva man har og prøve å se fremover på hva man tror kan komme til nytte i fremtiden.

Med denne rapporten ønsker vi å si noe om hvilke geologiske råstoffer vi i dag *vet finnes* i Buskerud, Telemark og Vestfold som vi kan få bruk for i framtida, og indikere hvilke forutsetninger som må foreligge for at disse skal kunne utnyttes for å gjøre regionen konkurransedyktig for etablering av ny næringsvirksomhet.

Denne rapporten baserer seg på allerede eksisterende kunnskap for Buskerud, Telemark og Vestfold. Den reflekterer en systematisk gjennomgang av 45 ulike industrimineraltyper og 46 metaller og halvmetaller.

For de ressurstypene som kan være av økonomisk interesse nasjonalt og internasjonalt i nærmeste framtid anbefales det å gå videre med nærmere undersøkelser.

Buskerud, Telemark og Vestfold har flere provinser hvor forekomster av en rekke mineraler og metaller kan være av interesse. Det kan være aktuelt å studere disse områdene nærmere for å vurdere potensialet for økonomisk interessante forekomster. Disse er omtalt separat.



## Oppsummering

Hoved-delen av den systematiske gjennomgangen finnes i vedleggene om *Industrimineraler* (vedlegg 1), *Metalliske elementer* (vedlegg 2) og *Potensielle mineral- og malmprovinser* (vedlegg 3).

### Industrimineraler

Av de 45 industrimineralene som er vurdert har de fleste et svært lavt potensial fordi de mangler kjente geotoper<sup>1</sup> og/eller forekomster i regionen. 13 av industrimineralene er nærmere omtalt i vedleggene. Av disse anses følgende verdt å se nærmere på:

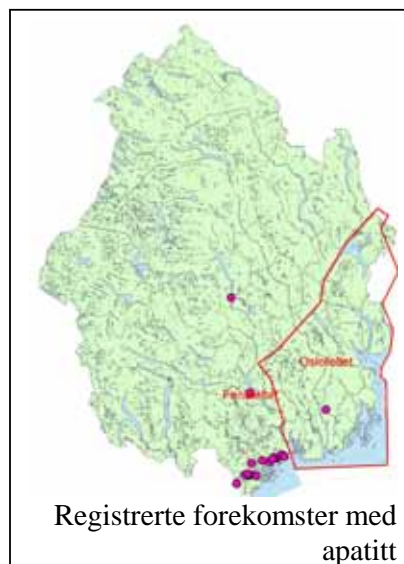
- apatitt
- barytt
- feltspat
- kalkstein
- kvartsitt
- muskovitt og biotitt
- nefelinsyenitt

Det er særlig de delene av de tre fylkene som omfatter Fensfeltet og Oslofeltet som er interessante i industrimineral-sammenheng.



#### Apatitt

Det finnes en rekke apatitt-geotoper i Buskerud, Telemark og Vestfold. Av de mer interessante kan nevnes apatitt i sammenheng med jern-titan-forekomstene i Kodal, i karbonatittbergartene i Fensfeltet og massive, båndete jern-apatitt-malmer i Nissedal. I tillegg finnes det enstatitt-phlogopitt-ganger med klor-apatitt ved Kragerø og Bamble. Denne apatitten er rik på yttrium og sjeldne jordarter, men for at denne skal være utnyttbar trengs utvikling av en annen teknologi enn dagens. Dersom skrotstein fra larvikittindustri skulle være aktuell for videre bearbeidelse og prosessering kan apatitt også være aktuell som biprodukt fra en slik produksjon. Apatitt kan dessuten være en lokal og regional ressurs med tanke på gjødsel.



<sup>1</sup> En geotop er et bergartsmiljø hvor en kan forvente å finne visse elementer/mineraler, tilsvarende biotop som habitat for visse planter/dyr.

### *Barytt*

Barytt er et mineral som både finnes på kalkspatganger i sølvgruvene i Kongsberg-feltet, i den nordlige delen av Tråk-området vest for Skien, og aksessorisk i Fensfeltet. I en helhetlig vurdering av Fensfeltet bør også barytt tas med videre som et potensielt verdielement.

### *Feltspat*

Feltspat av god kjemisk kvalitet til bruk i glass og keramisk industri finnes i en rekke pegmatitter i regionen. NGU har i 10 år arbeidet med pegmatittisk kvarts og har sett på mange av pegmatittfeltene, men det er flere pegmatittfelter i regionen som er dårlig utforsket. For å øke kunnskapsnivået er det derfor nødvendig med både befaring og kartlegging. Pegmatitter i Tørdal-Nissedal-området er kjent for å ha potensiale for en rekke verdielementer, men hele området rundt Fyresvatn og Fyresdalsheia og over mot Sauherad bør undersøkes nærmere med henblikk på Sn, Cs, Sc, Ta og REE.

### *Kalkstein*

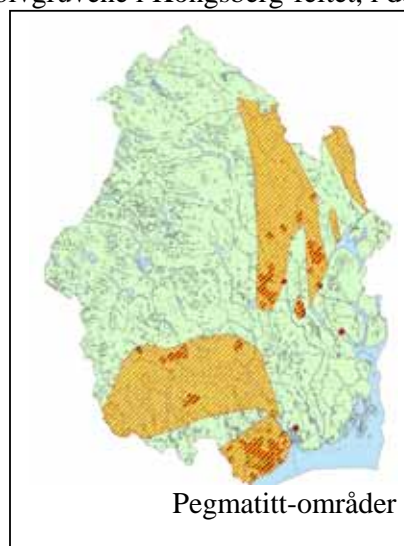
I geografisk veldefinerte områder langs randen av Oslofeltet finnes en rekke sedimentære lag som inneholder kalkstein. I dag er det drift på kalkstein ved Brevik til sement-formål. Det bør samarbeides med eksisterende industri for å utrede reservepotensialet og se på områder som kan være aktuelle for ny drift når dagens reserver er drevet ut.

### *Kvartsitt*

Regionen er rik på kvartsitter. Det foregår drift på kvartsitter ved Kragerø. Tidligere undersøkelser har vist at det også finnes kvartsitter i Seljord-Lifjell som kan egne seg for uttak og videreforedling til ferrosilisium. Ulempen er at disse forekomstene ligger langt fra sjø og eventuell drift forutsetter blant annet at transportutgiftene blir lave. Skulle transport ikke være et problem med tanke på økonomi og miljømessige ulemper i fremtiden, vil det være nødvendig med kjemiske og mineralogiske studier før man kan si noe om forekomstene vil være aktuelle for uttak.

### *Muskovitt og andre glimmermineraller*

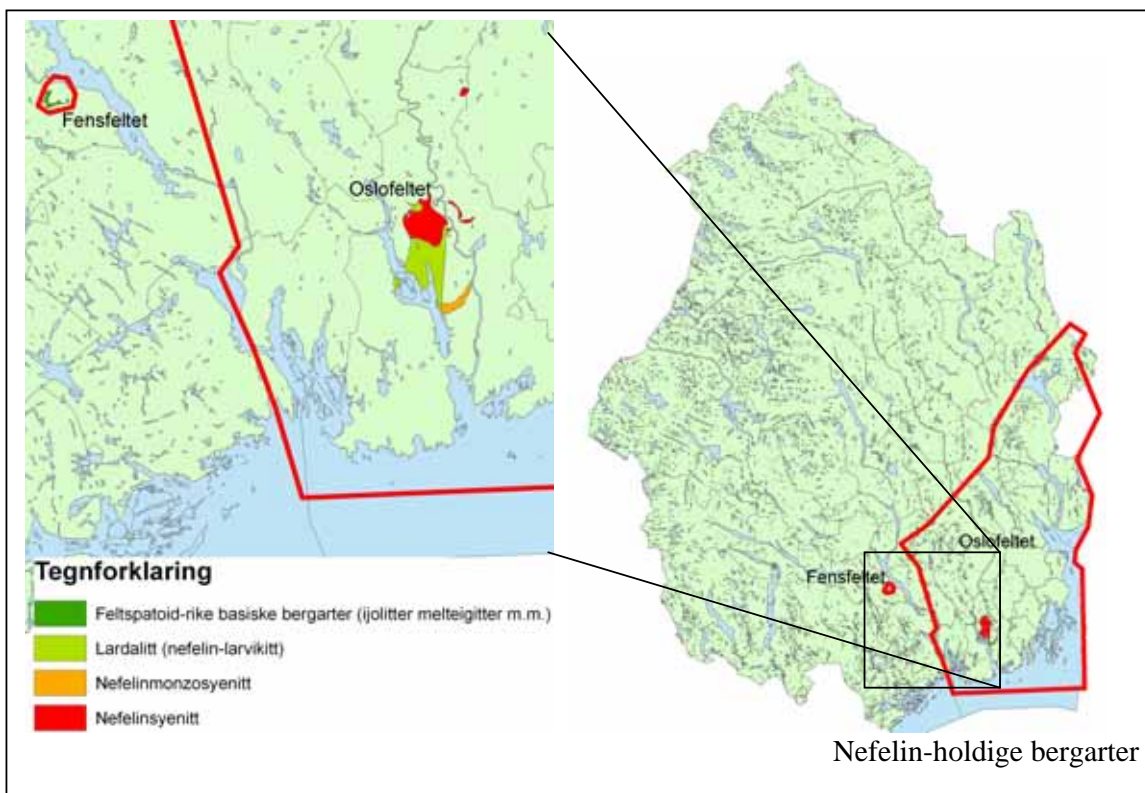
Store forekomster av muskovitt og andre glimmermineraller er spesielt kjente fra pegmatittene. Muskovittførende pegmatitter er spesielt utbredt i Numedal, Sauherad, Kviteseid og Tørdal.



### *Nefelinsyenitt*

Nefelinsyenitter opptrer i larvikitt-massivet ved Farrisvannet i Vestfold, samt at man kan finne varianter i Fensfeltet.

For å kunne gjøre en fornuftig evaluering av det fremtidige ressurspotensialet er det nødvendig å få ytterligere kjennskap til de aktuelle bergartenes sammensetning. Man vet at nefelinsyenitten er mer jernholdig enn sammelignbare forekomster andre steder i Norge, og så lenge det finnes nefelinsyenitter i som både er i produksjon med nok ressurser i uoverskuelig framtid og med en bedre kvalitet til dagens formål (Stjernøy/Seiland i Finnmark) vil det ikke være aktuelt å forske videre på nefelinsyenitter i dette Buskerud, Telemark og Vestfold.



For en ytterligere oversikt over dagens bruk, produksjon og kjente geotoper og forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold, se *Vedlegg 1 Industrimineraler*.

## Metalliske elementer

Totalt har vi gått gjennom 46 metaller og halvmetaller i Buskerud, Telemark og Vestfold. Av disse anser vi følgende metaller for å ha potensial:

- niob-tantal i Fensfeltet
- gull, sølv, jern i form av massive jernmalmer, kobber (se kjente områder nedenfor)
- kobolt-kobber-arsen-forekomster i Modum-feltet
- nikkell-kobber-forekomster i Bamble- og Holleia-Sokndal-området
- sink-kobber i Kongsberg og Holleia-Sokndal-området
- molybden i Oslo-feltet og Telemark
- vanadium i prekambriske jern-titan-forekomster
- zirkonium i Oslo-feltets intrusiv-bergarter
- sjeldne jordartselementer og yttrium i Fensfeltets karbonatitter
- sjeldne metaller i regionens pegmatitter (bl.a. i Tørdal-Nissedal-regionen) og Fensfeltets karbonatitter.

og i tillegg har vi behandlet de viktigste områdene for en del av elementene.

### *Gull, sølv, jern, kobber og nikkel*

Gull (Au), jern (Fe), kobber (Cu) og nikkel (Ni) er, historisk sett, etablerte metaller hvor markedsprisen er en avgjørende faktor for hvorvidt en forekomst regnes som økonomisk drivverdig eller ikke.

Gull (Au) finnes i høyre konsentrasjoner i blant annet Bleka-forekomsten i Telemark. Den har vært undersøkt av mange selskap som ikke har funnet bryet verdt med mer omfattende undersøkelser siden forekomsten er ansett å ha for lite tonnasje-potensial. Høyt gull-innhold er også kjent i andre forekomster, blant annet i Nissedal-området og i Bamble og Kongsberg-, og Modum-områdene.

Sølv (Ag) er et metall deler av regionen er rik på, spesielt forekomster som er dannet samtidig som utviklingen av Oslo-feltet (bl.a. i Kongsberg-området). Det har vært spekulert i om noen av sølvforekomstene er drivverdige med dagens sølvpriser. Selv om Sølvverket i Kongsberg hadde stor samfunnsmessig betydning da det ble drevet var det ingen lukrativ geskjeft. Sølv utvinnes i dag i stor grad som biprodukt i forbindelse med metallurgisk raffinering av kismalmer med kobber- eller sink-bly.

Det finnes i dag ingen jernforekomster som er interessante som råstoff for metallisk jern i regionen, men det finnes relativt store jernmalmer ved Langøya og Søftestad som kan være av interesse til industrimineralformål. Førstnevnte er så godt som fredet på grunn av beliggenheten midt i Østlandets ferieparadis og omfatter en 2-4 m bred og mer enn 1000 m lang jernmalmsone. Sistnevnte er en apatittholdig jernmalm som ble drevet fram til 1965. Partivis fører disse to forekomstene massiv malm (> 80% magnetitt) som kan ha betydning som varmemagasineringsstein eller kan anvendes til andre spesialformål som blant annet pigment. Sistnevnte krever i midlertid at jernmalmene må ha unike egenskaper som gjør at mulig å lage spesial-produkter med høy salgsverdi.

Sentrale Telemark er rik på kobber (Cu). Selv om alle de kjente forekomstene er små og økonomisk ubetydelige så vitner den store tettheten om hydrotermale prosesser som kan ha gitt opphav til store kobber-forekomster, muligens av IOCG-type (Iron Oxide-Copper-Gold), og bør derfor undersøkes nærmere.

Forekomster av nikkel (Ni) i regionen finnes i tilknytning til norittiske intrusiver i Bamble-området, i Sigdal og i et belte som strekker seg fra Ertelien ved Tyrifjorden i sør til henimot Sokna i nord (ca. 15 km). Alle forekomstene i regionen opptrer i tilknytning til relativt små intrusjoner. Opptreden av nikkel i regionen bør utredes i lys av resultatene fra nylig gjennomført prospekteringsaktivitet.

#### *Molybden*

Molybden er særlig kjent fra Oslo-feltet, men finnes i Telemark. Regionalt sett strekker det seg en sone av molybdenforekomster gjennom Sør-Norge fra Rogaland via Knaben i sørvest til Oslo-feltet i øst.

#### *Silisium i kvarts*

Silisium-rike kvartsitter er blant annet kjent fra Kragerø-området hvor nåværende uttak går til produksjon av silikomangan, som er et halvfabrikata i stålproduksjon. Potensielle ressurser i Buskerud, Telemark og Vestfold, hydrotermale kvartsganger som kan brukes i metallurgisk fremstilling av silisium metall. Systematiske undersøkelser i andre områder av landet har ført til en rekke nye funn, og bør heller ikke utelates her da man vet det er en region rik på ganger. Mange pegmatittiske ganger er alt undersøkt av NGU, men disse inneholder ikke høy-ren kvarts for eksempel til bruk i fremstillingen av solcelle-silisium.

#### *Jern, titan og vanadium*

I regionen opptrer en rekke gabbroer med jern-titanforekomster som *kan* inneholde vanadium-rik magnetitt. Selv om de kjente forekomstene er relativt små, vil den rette teknologiske eller prismessige utviklingen kunne være til gagn for utnyttelsen av disse. Men skal man finne større forekomster må det også flere og større undersøkelser til. Dog skal det sies at det finnes større jern-titan-forekomster i andre deler av landet med vanadium-holdig magnetitt, blant annet i Rogaland, noe som trolig gjør forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold mindre aktuelle.

#### *Zirkonium*

Zirkonium er i likhet med sjeldne jordarter og yttrium en ressurstype med mange geotoper i området. Zirkon-mineraler finnes i larvikitter, nefelinsyenitter og granittiske og trakyttiske bergarter. En god del undersøkelser er gjort i deler av regionen, men så langt mangler en helhetlig vurdering av zirkonium-potensialet for alle tre fylkene.

#### *Sjeldne jordarter og yttrium*

Både lette (LREE) og tunge (HREE) sjeldne jordarter (REE) og yttrium (Y) er en ressurstype med mange geotoper i området, inkludert karbonatittene i Fensfeltet og mange av sjeldne-metall pegmatittene i Bamble, Tørdal, Fyresdal og Kløvereid. Siden utnyttelsen av slike forekomster kan være teknologisk krevende og dermed kostnadskrevende er de lite konkurransedyktige i dagens marked. Gitt at den teknologiske utviklingen vi har sett fram til i dag fortsetter med bruk av spesialmetaller til høyteknologiske formål vil mange av disse forekomstene bli interessante i fremtiden. Dette skyldes også at den europeiske høyteknologi-industrien etter hvert har blitt meget sårbar grunnet mangel på forekomster i Europa og avhengigheten av import av råstoffer fra konkurrerende markeder i det fjerne Østen, bl.a. Kina. Derfor burde det i et fremtidsperspektiv være fornuftig å se nærmere på disse forekomsten.

*Sjeldne metaller (Sc, Ta, Nb, Cs, Be, Li, Th og Sn)*

De sjeldne metallene scandium (Sc), tantal (Ta), niob (Nb), Cesium (Cs), beryllium (Be) og thorium (Th) har alle viktige bruksområder i et moderne samfunn, mens tinn (Sn) er tatt med i gruppen siden det alltid opptrer i varierende mengde sammen med dem. Mineraler som består av disse grunnstoffene inneholder gjerne også yttrium og sjeldne jordarter. Slike mineraler opptrer spesielt konsentrert i mange av regionens sjeldne-metall pegmatitter (Y, HREE, Sc, Ta, Cs, Be, Li og Sn) og i Fensfeltets karbonatitter (Nb, Y, LREE, Th og Sc).

I lys av Europas sårbarhet når det gjelder råstoff til egen høyteknologi-industri (se over) og etterspørselen etter Sc til aluminiumsindustrien, Ta, Nb, Y, REE, Li og Be til elektronisk industri, Nb til fly- og romfartsindustrien, Cs til oljeindustrien og Th til miljøvennlige kjerneverk, så burde både Fensfeltet og regionens granittiske pegmatitter (bl.a. Tørdal-Nisserdal området) bli undersøkt nærmere for både sjeldne metaller og sjeldne jordartsmetaller.

For en oversikt over dagens bruk, produksjon og kjente geotoper og forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold, se *Vedlegg 2: Metalliske elementer*.

## Potensielle mineral- og malmprovinser

Buskerud, Telemark og Vestfold har flere provinser hvor forekomster av en rekke mineraler og metaller kan være av interesse. Det kan være aktuelt å studere disse områdene nærmere for å vurdere potensialet for økonomisk interessante forekomster.

Se Vedlegg 3: Potensielle mineral- og malmprovinser for nærmere informasjon om provinsene.

### Numedal/Sentrale Telemark

Det finnes meget stor tetthet av kobber-sulfid-forekomster i et belte som strekker seg fra sentrale Telemark og østover til Numedal i Buskerud. Disse forekomstene inneholder kobber-vismut og sølv ± gull.

I Numedal finnes en rekke små forekomster i området sørøst for Tunhovdfjorden og videre sørover i dalføret. Det er kvartsgangforekomster med kobberglans og bornitt, og varierer i størrelse opptil noen få hundre meter i lengde i strøklengde og mektigheter på 0,5-3 m.

Prøver fra området gir analyseverdier på 1-10% kobber, og 20-100 g/t sølv. Mange av forekomstene har også et relativt høyt innhold av gull, gjerne mer enn 1 g/t Au. Noen forekomster er også rike på molybden uran og/eller vismut.

Forekomstene er alt for små til å ha noen økonomisk interesse i seg selv, men man ser konturene av interessante forekomststyper som kan være anrikt i spesielt gull og sølv.



## Nissedal-Tørdal

Bergartene i Nissedal har mange likhetstrekk med Bamble-komplekset, inkludert apatitt-ganger og jern-apatitt-ganger. Av de mer kjente er Søftestad apatitt-jernmalm, som ble drevet fram til 1965.

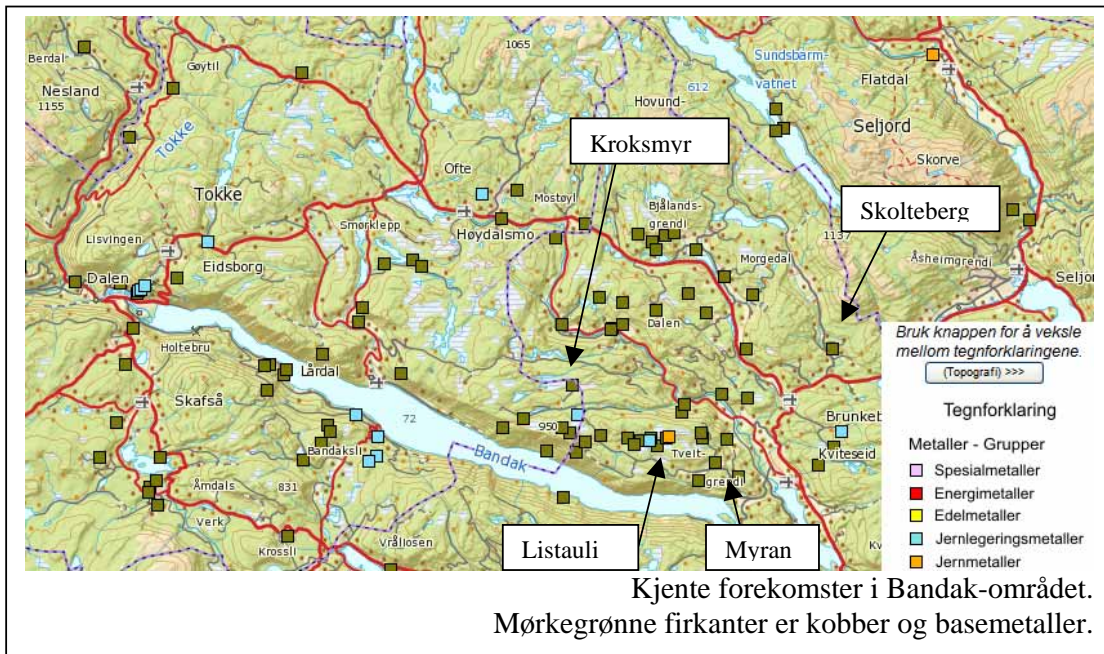
I Nissedal-Tørdal-området er det mange pegmatitter hvorav noen er anriket på sjeldne metaller som cesium (Cs), litium (Li) og rubidium (Rb), tantal (Ta), scandium (Sc), tinn, (Sn) og wolfram (W). Pegmatittenes innhold av sjeldne mineraler har vært gjenstand for detaljerte mineralogiske studier i løpet av de siste 70 år, men ingen seriøse undersøkelser har vært gjort når det gjelder pegmatittenes innhold av sjeldne metaller som potensielt kan utnyttes. Et større kartleggings- og pegmatittprosjekt burde utføres i området.



Registrerte forekomster i Nissedal-Tørdal-området: Pegmatitter (blå kors), jern (orange kors), kobber og tinn (brun sirkel), molybden (lilla trekant).

## Bandak/Transtauhøgdi

I bergartene på åsene nord for Bandak og vest for Kviteseid finnes en rekke mindre malmforekomster med varierende metallinnhold av kobber ± edelmetaller.



Kjente forekomster i Bandak-området. Mørkegrønne firkanter er kobber og basemetaller.

Disse kan være dannet under vulkansk aktivitet, men har senere blitt sterkt deformert i forbindelse med tektonisk aktivitet.



Innenfor dette området finnes både Listauli arsen-kobberforekomst, Myran magnetitt-bornitt-kobberkis-forekomst, Skolteberg sink-bly-kobber-forekomst. Alle disse er også anriket på gull med opp til 1-2 g/t (gram pr tonn). Kroksmyr kobberforekomst har også høye verdier av sølv (360- 400 g/t).

Alle disse forekomstene er for små til å ha noen økonomisk interesse alene, men den sterke anrikning av en rekke metaller viser at området bør vurderes nærmere.

## Hokksund

I Hokksund-området finnes det sulfidforekomster (VMS) som er knyttet til vulkanske bergarter. De viktigste og mest kjente av disse forekomstene har tilhørt Eiker kobberverk, som var i drift i perioden mellom 1818 og 1889.

Prøver fra Bergsgruva tatt av NGU i 1981 viser opp til 2,4 % kobber, opp til 11 % sink, 15-18 g/t bly, opptil 14 g/t sølv og 90-200 g/t selen.

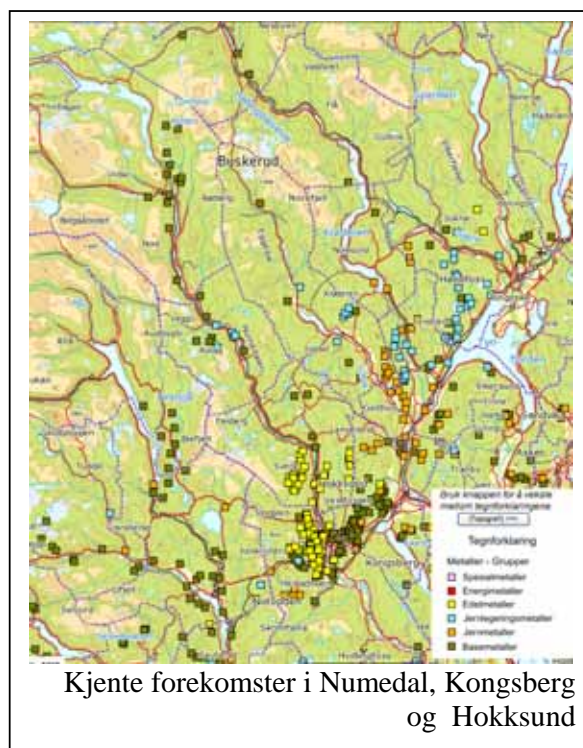
Ut fra det som er utført av kartlegging og geofysikk er det lite sannsynlig at det finnes økonomiske forekomster i området rundt Eiker Kobberverk, men det peker på muligheter ellers i gneissområdet mellom Kongsberg og Hokksund, samt videre nordover mot Sigdal. Området mellom Modum og Kongsberg har vært gjenstand for geofysiske målinger med helikopter høsten 2008 og våren 2009. Disse målingene vil gi ny viten om geologien og kunne gi indikasjoner på om det er større mineraliseringer i området.

## Kongsbergområdet

Også i Kongsberg-Numedal-området finnes det VMS-forekomster (sulfidforekomster knyttet til vulkanske bergarter). Flere mindre VMS-forekomster er befart i forbindelse med oppdateringer av NGUs nasjonale malmdatabase og flere forekomster blir befart og kartlagt i 2009.

Forekomstene inneholder primært sink og kobber eller bare kobber og kan fremstå som massive kismalmer eller nettverkssoner (stringer).

Grøsli-forekomsten 3 km nord for Lampeland er en massiv mineralisering som inneholder 0.8-0.9 % Cu, 5-10 % Zn, 0.1-0.4% Pb og 20 g/t Ag. Det ble gjort undersøkelser av forekomsten både geofysisk og boringer på 40- 50- og 70-tallet. På grunnlag av disse undersøkelsene, spesielt geofysikk, ble det konkludert med at forekomsten er for liten til å ha økonomisk interesse.



Kongens gruve på Overberget, Valders Grube på Vinoren, Verlohrne Son og Gott Vermags mellom Saggrenda og Meheia er eksempler på stringersoneminaliseringer som fremstår som uregelmessige slirer av kobberkis og magnetkis i klorittrike bergarter.

De inneholder 0.5-2 % kobber, opptil 20 g/t sølv og 0.5-1 g/t gull.

Valders Grube er en av sulfidforekomstene som er tilknyttet fahlbåndsonene gjennom Kongsbergfeltet. Fahlbåndsonene fremstår som rustne bånd og sulfider fra dem ble også tatt ut i forbindelse med sølvutvinningen i Kongsbergfeltet (Kongens Grube). Den største og mest interessante av disse er Kisgruva ved Saggrenda. Denne forekomsten domineres av sovelkis med mindre og varierende mengder magnetkis, kobberkis og sinkblende. I følge borhullsdata fra Kisgruveåsen inneholder den 0.5-1% kobber, 0.5-1% sink, ca. 10 g/t sølv og 3-400 g/t selen. Det høye selen-innholdet gjør forekomsten interessant, men oppredningsforsøk antyder at det kan være vanskelig å oppkonsentrere metallet. Det er for øvrig anslått at forekomsten kan inneholde 2-3 millioner tonn mineralisering, hvorav 581 000 tonn kan regnes som påvist på grunnlag av boringer på midten av 50-tallet og 70-tallet. Det kan derfor potensielt finnes andre og større forekomster langs disse sonene, selv om oppgitte analyseverdier og tonnasjer ikke vil være drivverdige etter dagens prisnivå.

Vår vurdering er at dette området i første rekke bør befares nærmere, spesielt ved å følge opp langs sonene hvor det er registrert sulfidmineraliseringer. En del forekomster ble befart i 2008, og nye befaringer er under planlegging. Området er også planlagt kartlagt for å se på hvilket geologisk miljø de er dannet i. Dette vil gi oss gode muligheter til å finne ut hvordan forekomstene er dannet og også se potensialet for større forekomster i regionen.

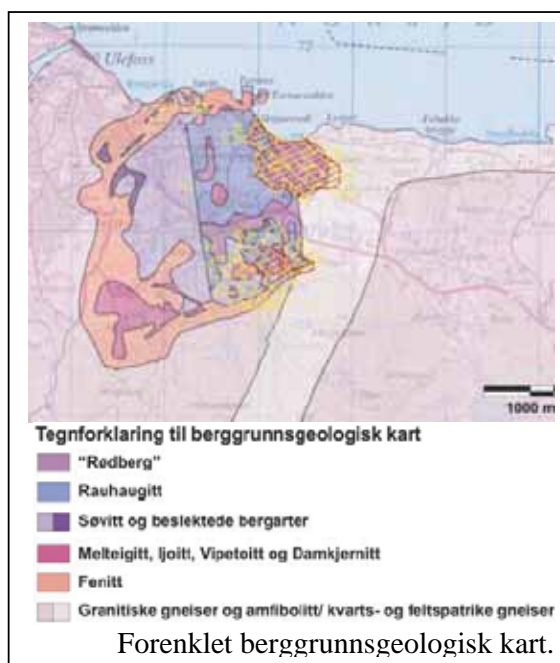
## Fensfeltet

Fensfeltet består av en rekke spesielle og sjeldne bergarter med en rekke økonomisk interessante elementer slik som niob (Nb), scandium (Sc), sjeldne jordarter (REE) og thorium (Th).

I søvitten, en kalkspatdominert karbonatittvariant, finnes blant annet mineraler som inneholder niob, som ble utvunnet fra Søve gruver i perioden 1953-1965.

Fen jerngruve ble drevet på rik hematitt-impregnasjon i karbonatitt i perioden 1652-1957.

Fordi bergartene i Fensfeltet er såpass eksotiske i en geologisk sammenheng er geologien godt kjent, men en helhetlig mineralressurvaluering for området bør gjøres. Det er blant annet kjent at området er rikt på thorium (Th), scandium (Sc) og sjeldne jordarter (REE), men forsøk på å definere og avgrense eventuelle malmer ved hjelp av for eksempel boring er ikke gjort. Videre mangler det også undersøkelser av de potensielle malmenes mineralogi for å kunne bekrefte eller avkrefte om det er mulig å utnytte slike forekomster.



## Scenarier

Om man ser bakover i tid har man i løpet av de siste 100 år hatt en eksplosjon i befolkningsveksten – og den teknologiske utviklingen har vært enorm.

Økningen i folketall har også ført til en tilsvarende vekst i bruk av mineralske råstoffer, og den teknologiske utviklingen har gjort oss i stand til å finne nye bruksområder for gamle ressurser og ikke minst å ta i bruk nye ressurser som tidligere ikke var ansett som utnyttbare.

Selv om forbruket av mineralske råstoffer øker i takt med befolkningsøkning og økonomisk velstand, er det ingen reell mangel på mineralressurser globalt sett, men verdensproduksjonen domineres av ett til to land for en rekke mineraler og metaller (bl.a. W og REE). Så lenge markedet er globalt og man får tak i det man trenger vil det ikke være noe problem, men dersom tilgangen til ressurser fra disse landene stenges vil man være nødt til å se seg om etter andre leverandører.

*Det er store utfordringer knyttet til forvaltning og teknologi når det gjelder utvikling av mineralressurser. Når og hvordan er det forsvarlig å drive en forekomst, og hvordan kan den utnyttes på en best mulig måte? I motsetning til menneskeskapte ressurser kan man ikke flytte en mineralforekomst. Det er ikke uvanlig at gode forekomster beslaglegges av annen arealutnyttelse og dette kan vanskeliggjøre framtidig drift.*

Noe som alltid har vært og vil være avgjørende for om forekomster er drivverdige eller ikke er markedskreftene: Så lenge man har et eksisterende åpent og globalt marked vil det være en rimelig god balanse mellom tilbud og etterspørsel. Periodevis økt forbruk eller mangel på enkelte råstoffer regulerer prisnivået. Høye priser fører til økt leteaktivitet og funn av nye forekomster. Økte priser kan også føre til at forekomster som tidligere ikke var regnet som lønnsomme kan bli det. Dersom markedene lukkes og splittes opp vil nasjonal og regional råstofftilgang bli desto viktigere for lokal industri som ellers er avhengig av råstofftilførsel utenfra.

Teknologi spiller en avgjørende rolle for hvilke ressurser som kan utnyttes og på hvilken måte. Visse typer råstoffer er egnet til visse typer prosesser, og vil kunne gjøre én forekomst mer interessant enn en annen. Økt etterspørsel etter råvarer har også gjort resirkulering mer lønnsomt, noe som ikke er mulig uten den rette teknologien.

Selv om fremtiden i stor grad er uforutsigbar er det rimelig god grunn til å forvente at ny teknologisk utvikling får stor betydning og at verdenssamfunnet fortsatt kommer til å være avhengige av omfattende utvinning og forbruk av mineralressurser. Vi har gjort et forsøk på å se mineralressursene i Buskerud, Telemark og Vestfold i et 25-, 50- og 100 års – perspektiv.

For å kunne si noe fornuftig om det fremtidige mineralressurspotensialet og fremtidens bruk av mineralske råstoffer bør man ha en formening om hvordan verden kommer til å utvikle seg.

Vi er fullstendig klare over at vi kan ta feil og at det er store usikkerheter knyttet til innholdet i disse avsnittet.

## **Hvilke ressurser kan bli viktige i et 20-30 års-perspektiv?**

Samfunnsstrukturen for Norges vil trolig ikke endre seg vesentlig i et 20-30 årsperspektiv, men på verdensbasis vil vi trolig se store endringer. Om dagens trender fortsetter vil Kina bli en av de fremste verdensmaktene, etterfulgt av India. Dette vil også reflekteres i verdensmarkedsstrukturen for produksjon, kjøp og salg av mineralske råstoffer.

Europa kommer sannsynligvis til å ha mye større fokus på egen tilgang til ressurser og for Norges del vil presset på arealbruken øke betydelig. Dette tvinger fram bedre forvaltnings-systemer for mineralressurser med særlig vekt på de ressurstypene som benyttes lokalt. Karbonatråstoffer/kalkstein er spesielt viktig som råstoff for sementproduksjon.

Allerede nå (2009) er man på vikende front internasjonalt når det gjelder ikke-petroleums-relatert mineralressurs-kunnskapsutvikling og -forskning. Man kan håpe at myndigheter og det politiske system blir klar over realiteten i denne problemstillingen og innser at økt kompetanse og innovasjon er avgjørende for landets videre utvikling også når det gjelder mineralressurser. Betydelige tiltak må settes i verk for å snu trenden og stimulere til ny næringsutvikling. Mineralressurser og mineralnæringen er en sektor hvor landet har naturgitte gode konkurransefortrinn.

En mulighet for ny næringsutvikling er mineralressurser i kombinasjon med bruk av naturgass til produksjon av energi og CO<sub>2</sub>. Ved forbrenning av naturgass får man CO<sub>2</sub> som kan brukes som reduksjonsmiddel i mineralbaserte industrielle prosesser. Les mer om dette i slutten av kapittelet.

Man kan tenke seg prosesser der for eksempel larvikittbergartene i Buskerud, Telemark og Vestfold, og i særdeleshet nefelinholdige larvikittvarianter (lardalitt) kan være aktuelle for produksjon av aluminiumoksid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) og silisiumoksid (SiO<sub>2</sub>) som begge har en rekke industrielle anvendelser og et stort internasjonalt marked. Internasjonale forsøk på å utvinne aluminium fra nefelinsyenitter har dog vist at nefelinsyenitt pr i dag ikke kan konkurrere med bauxitt som råstoff for alumina-produksjon.

## **Hvilke ressurser kan bli viktige i et 50 års-perspektiv?**

Samfunnet sett 50-60 år bak i tid har endret seg vesentlig både i oppbygging og organisering. Dersom de trendene man ser i dag fortsetter vil verdenssamfunnet globaliseres i langt sterkere grad. Dersom Kina holder seg politisk stabilt kommer de til å ha indirekte styring i mye av dagens 3. verden. Historisk sett vil det også være uvanlig om det går ytterligere 50 år uten en større krig. Kan hende kommer denne i noen av de viktigste kontinentene globalt sett når det gjelder mineralressurser som Asia, Midt-Østen eller Afrika og tilgjengeligheten vil endres dramatisk.

Kanskje vil klimaendringer føre til havnivåstigning som gjør at store menneskemasser må forflyttes. Dette kombinert med befolkningsvekst og omfattende politisk og sosial uro kan føre til krisetilstander som tvinger fram nye internasjonale samarbeids-mekanismer og løsninger.

Man skal ikke se bort fra at man begynner med "geo-engineering" – både omfattende klimajusterings tiltak hvor også bruk av mineralressurser inngår og forsøk på å gjenopprette tidligere tiders rovdrift på naturressurser.

Noe som kan få svært stor betydning er endringer i verdens energiforsyning. Ettersom verdens olje- og gassreserver avtar mot slutten av århundret kommer muligens olje og gass til å dels miste sin betydning om energikilde, men øke sin betydning som industrimineral. Verdens kullreserver er så store at kull fortsatt vil være en viktig energikilde internasjonalt, men bruken vil muligens avta noe. Foruten økt bruk av fornybare energikilder, inklusive hydrogen, vil trolig også kjernekraft spille en større rolle. Med tanke på store utfordringer knyttet til lagring av atomavfall fra uran-reaktorer kan man se for seg ”renere” kjernekraft ved bruk av thorium kan realiseres.

I dag er det forbudt å selge uran og thorium over landegrensene, men om dette endrer seg har det også betydning for potensiell utvinning av energimetaller fra Buskerud, Telemark og Vestfold. Dette kan være positivt dersom man finner en oppkonsentreringsprosess som gjør det billig nok å utvinne f.eks. thorium fra svært finkornige bergarter slik at man kan konkurrere mot utvinning av thorium fra tungmineralsandforekomster andre steder i verden.

Prosessteknologisk utvikling er også en forutsetning for å kunne utvinne niobium fra både trakyttiske lavabergartene i Sæteråsen og karbonatitt fra Fensfeltet, samt andre interessante elementer fra andre finkornige bergarter.

Det er rimelig sikkert at det vil bli økt aktivitet i verdensrommet. Innen 2050 er det sannsynlig at det vil være opprettet permanente baser på Månen og at vi jobber videre med bemannede ferder til Mars. For eksempel kan man tenke seg at sølv blir interessant i romfartsindustrien i elektroniske komponenter og til glassbelegning for å filtrere vekk sollys i månebaser, noe som vil føre til at sølvprisen øker. Sølv kan også tenkes å få høy etterspørsel i forbindelse med for eksempel medisinsk bruk, klesindustri og vannrensing, men verdens sølvressurser er imidlertid så store at drift på sølv alene neppe vil være økonomisk i denne perioden.

Kobolt, som et annet eksempel, kan bli ettertraktet i bruk av superlegeringer og supermagneter, så her vil prisutvikling og etterspørsel variere med verdenskonjunkturene. Dersom det startes nikkel-, kobber eller gull-gruver i Buskerud, Telemark eller Vestfold kan kobolt muligens produseres som et biprodukt gitt at innholdet er høyt nok. Ingen av de her nevnte metallene er pr i dag uvanlige, og i global sammenheng er våre kjente forekomster ikke store nok til at drift kan være aktuelt.

Regioner og land som har lagt forholdene til rette for mineralutvinning har i stor grad lyktes med å skape næringsutvikling basert på mineralske råvarer.

### **Hvilke ressurser kan bli viktige i et 100-300 års-perspektiv?**

I løpet av de neste 100-300 år kan en forvente at verden vil gjennomgå nye kriser med utgangspunkt i sosial og økonomisk ulikhet, klimaendringer og rovdrift på naturressurser som jordsmonn, ferskvann, skog og fauna. Det er også sannsynlig at en får pandemier og kriger som holder jordens befolkning i sjakk og det er ikke unaturlig å tro at verdens befolkning er minst fordoblet. Dette fører til en enorm belastning på natur og miljø, kombinert med generasjoners forringelse av jordsmonn, grunnvannsreservoarer og ørkenspredning.

Gitt at man har løst verdens vann- og energiutfordringer vil hovedutfordringen globalt sett bli å styrke jordas fruktbarhet og økosystemer og eliminere dype sosiale og økonomiske ulikheter. Dette krever ekstraordinære satsninger og samarbeidsregimer mellom forskjellige

folk og land. Det politiske systemet blir trolig helt annerledes, kan hende med Europa som én enhet og Norge som en del av det. Økonomien blir muligens styrt mer av hvilke ressurser man selv har tilgang til.

I dette tidsperspektivet kommer en sannsynligvis til å løse en del prosessstekniske utfordringer, og det kan bli mulig å utvinne nærmest hva som helst av mineralogiske komponenter og metaller fra berggrunnen. Slikt sett vil det ikke være noen reell mangel på mineralressurser i verden.

For Buskerud, Telemarks og Vestfolds vedkommende skal man ikke se bort fra at man kanskje har drift i Fensfeltet med både thorium, jern, niobium og karbonat, samt produksjon av silisium, aluminium og mineralgjødsel med høyt innhold av fosfor og kalium fra larvikitt-lardalittene som eksporteres verden rundt.

### **Muligheter for gass/CO<sub>2</sub>-basert verdiskaping**

Sett i lys av at det med tiden kan komme en gassrørledning gjennom deler av Buskerud, Telemark og Vestfold-regionen, samt ny industriell aktivitet basert på gass, er det relevant å se nærmere på hva en kan tenke seg av mineralressursutvikling i kombinasjon med dette.

Når naturgass benyttes som energikilde og forbrennes vil det, som med alle fossile brenslere, produseres store mengder CO<sub>2</sub> som avfall. Som følge av et stort nasjonalt og internasjonalt press om å begrense mengden CO<sub>2</sub> som slippes ut i atmosfæren vil ny industri som ønsker å benytte naturgass i praksis få store utfordringer med hensyn til å finne miljømessig akseptable løsninger. I denne sammenheng er det relevant å se nærmere på hvordan en kan nyttiggjøre seg CO<sub>2</sub> til ny verdiskaping i kombinasjon med mineralressurser i regionen.

CO<sub>2</sub> løst i vann danner karbonsyre. Ved å øke trykket løses mer CO<sub>2</sub> i vannet og syren blir kraftigere. I tillegg til å løse lettløselige karbonater kan også silikatmineraler som olivin, plagioklas, m.fl. løses opp i sine enkelte bestanddeler som SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> etc., og lettløselige bestanddeler som CaO og MgO vil sammen med CO<sub>2</sub> kunne felles ut som for eksempel magnesitt (MgCO<sub>3</sub>) og kalkspat (CaCO<sub>3</sub>).

Det ligger store verdiskapingsmuligheter relatert til CO<sub>2</sub>-basert mineralprosessering ved at bergarter som i utgangspunktet har lav eller ingen salgsverdi i seg selv, kan utgjøre råvare som ved CO<sub>2</sub>-prosesseringen gir produkter med stor verdi og gode markedsmuligheter (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2000-4000 kr/t, SiO<sub>2</sub> 2000-4000 kr/t, CaCO<sub>3</sub> 500-1000 kr/t, MgCO<sub>3</sub> 500-1000 kr/t).

Sannsynligvis vil verdiskapingspotensialet relatert til industrialisering ved denne type prosessering være langt større enn noe en kan tenke seg å få til ved ren råvareproduksjon fra mineralforekomster i regionen, men det er store utfordringer innen prosessutvikling som må løses før et CO<sub>2</sub>-basert mineralscenario kan realiseres.

I tillegg ligger det i denne type teknologi muligheter for CO<sub>2</sub>-håndtering relatert til industri som benytter naturgass som energikilde eller til andre formål, ved at CO<sub>2</sub> kan bindes i karbonatisk mineralogisk materiale for deponering. Hvordan dette kan verdisettes vil avhenge av størrelsen på eventuell framtidig CO<sub>2</sub>-avgift og kostnader forbundet med annen CO<sub>2</sub>-håndtering.

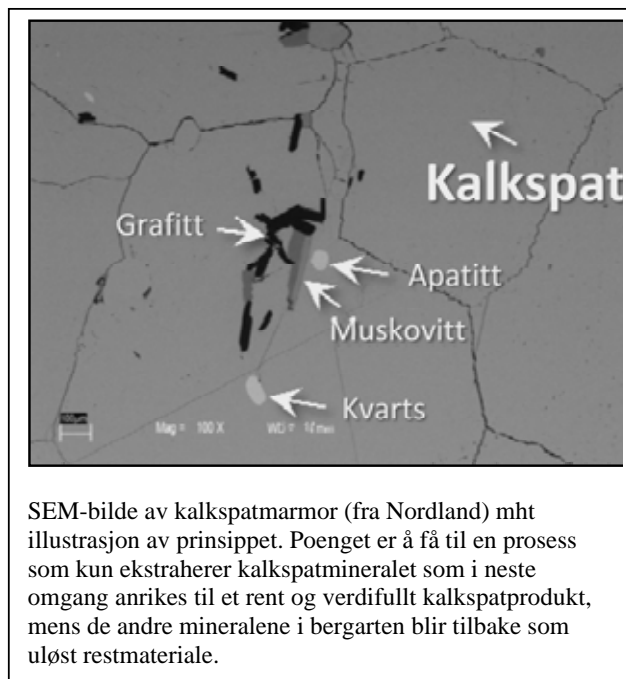
IFE (Institutt for Energiteknikk) har i noen år forsket på CO<sub>2</sub>-mineral problematikk med finansiering fra Forskningsrådet og har opparbeidet betydelig kompetanse innen dette fagområdet. Hovedinnsatsen er gjort på olivin fordi dette mineralet har en enkel oppbygging og reagerer lett med CO<sub>2</sub>. For tiden eksperimenteres det med anortositt fra Indre Sogn i et

samarbeid mellom IFE, Nordic Mining og StatoilHydro med det siktemål å utvikle en prosess for produksjon av verdifulle mineralprodukter ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  og  $\text{CaCO}_3$ ).

### ***Bergartstyper i BTV-regionen egnet for $\text{CO}_2$ -basert mineralprosessering***

#### **Karbonatbergarter**

Fra ureine karbonater kan en i prinsippet tenke seg en forsiktig selektiv  $\text{CO}_2$ -leaching hvor karbonsyren løser kalkspat, som er relativt lettløselig, mens andre mineraler som grafitt og kvarts utgjør uløst restmateriale;  $\text{CaCO}_3$  (kalsiumkarbonat) deretter felles ut på en kontrollert måte i form av et høyrent og verdifullt mineralprodukt. Dette bør kunne gjøres på siluriske kalker i Brevikområdet eller på karbonatitt fra Fensfeltet. Når det gjelder Fensfeltet så kan en slik metodikk kanskje kunne gi et salgbart kalkspatprodukt fra en bergart som også inneholder andre verdifulle mineraler. Det uløste restmaterialet etter slik prosessering vil være anrikt på bl.a. Nb og har en potensiell verdi mht videre anrikning/prosessering.



#### **Andre bergarter med høyt innhold av silikatbundet CaO, MgO og FeO**

Dunitt (olivin) og anortositt (plagioklas) er ansett som de mest egnete bergarter for  $\text{CO}_2$ -basert mineralprosessering og er derfor også prioritert i den FoU som skjer i regi av IFE, med utgangspunkt i forekomster på Vestlandet. Bergarter i Buskerud, Telemark og Vestfold som kan tenkes å være interessante i denne sammenhengen er larvikitt-lardalitt som opptrer i svært store mengder; spesielt interessant vil det være hvis en kan bli i stand til å  $\text{CO}_2$ -prosessere avgangsmateriale fra dagens larvikittproduksjon. I prinsippet kan en tenke seg at det kan bli mulig å produsere  $\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{SiO}_2$  fra denne type bergart, samt binding av  $\text{CO}_2$  i karbonater for deponering. Ødegårditt (skapolitt-hornblende bergart) fra Ødegården Verk er også en bergart som muligens kan være interessant i denne sammenheng.

## Anbefalinger

### Kartlegging og geofysiske og geokjemiske undersøkelser

For både kortere og lengre tidsperspektiv er det *viktig med god kartlegging* av ressursene, enten man tror man kan ha bruk for dem nå (som dagens prospektering gjerne går ut på) eller på lengre sikt. Hvis man ikke vet hva man har er det vanskelig å forvalte ressursene på en god måte for fremtiden.

Berggrunnskartleggingen er godt i gang, men det er fortsatt mye som gjenstår. Kjennskap til hva slags bergarter man har i et område er *viktige basiskunnskaper* for å finne utnyttbare mineralske ressurser og må derfor videreføres. Geofysiske og regionalgeokjemiske undersøkelser bidrar til å øke forståelsen av hvordan grunnen under oss er satt sammen, og kan både direkte og indirekte bidra til å finne nye mineralske ressurser.

Alle de så langt nevnte regionene er interessante fra et forskningsmessig standpunkt, men ut fra et økonomisk standpunkt vil vi anbefale nærmere undersøkelser og mer detaljert kartlegging i følgende områder:

1. Karbonater/kalkstein

Som råstoff for eksisterende og fremtidig sementindustri.

2. Kongsberg-Modum-områdene.

Ved Modum finnes mineraliseringer som kan tyde på store, lavgehaltige Cu-Co-impregnasjonsmalmer. Andre forekomsttyper med utgående i dagen ville trolig vært funnet for lengst.

Kongsberg-området er interessant i lys av områdets mange massive sulfidmalmer og en kan derfor ikke utelukke at det finnes økonomiske ressurser i området av Cu-Zn +/- pb, Ag, Au i tilknytning til slike malmer.

3. Fensfeltet

Det er særlig Nb og REE som er av interesse. Nb står bl.a. på EUs liste over strategiske mineraler, og forekomsten i Fensfeltet er en av de få kjente Nb-forekomstene i Europa.

4. Nissedal-Tørdal

Nissedal-Tørdal-området inneholder en del av de samme interessante elementene som Fensfeltet.

Bandak-distriktet er også nevnt som et mulig område, men vi tror muligheten for å finne økonomiske forekomster er bedre for de overnevnte.

### 0-30-årsperspektiv

Spesielt viktig i et 0-30-årsperspektiv er bergarter som er råstoff for dagens videreførelse industri. I dag vil det si karbonater/kalkstein som inngår i sementproduksjon. Om man fortsatt ønsker å ha en slik industri bør karbonatressursene forvaltes med stor omhu for å trygge sementproduksjonen i regionen på lang sikt. Dette bør derfor gjøres

1. Kartlegging av utbredelse og variasjoner i kvalitet av kalkstein i relativ kort avstand fra sementverket i Brevik.
2. Ta hensyn til resultatene av kartleggingen i arealplanleggingen slik at forekomstene ikke båndlegges for annen arealbruk.

En bør også være oppmerksom på de muligheter som kan ligge i viderefordeling av visse bergarter så som larvikitt/lardalitt i kombinasjon med naturgass og CO<sub>2</sub>. Dette er imidlertid avhengig av den teknologiske utviklingen og tilgjengeligheten av gass.



Det kan også være mulig å bruke larvikitt og lardalitt, samt biotittskifre, til å framstille naturlig mineralgjødsel.

I løpet av de neste 30 årene bør en helhetlig vurdering av Fensfeltet gjennomføres både med henblikk på hva man har av verdifulle mineraler, og hvordan de opptrer i bergarten og eventuelt hvordan en kan tenke seg økonomisk utnyttelse sett i forhold til gjeldende markedsmessige og teknologiske muligheter.

Nissedal-Tørdal-området inneholder også en del av de samme interessante elementene som Sc, Ta, Nb og Cs.

Også alun-skiferen kan inneholde elementer av interesse, men her er det viktig å se til hva svenske forskere har funnet ut om mineralpotensialet i alun-skiferen i Sverige.

#### 50-årsperspektiv

Mange av de samme tiltakene som nevnes under 20-30 års-scenariet vil også gjelde i et 50 års-perspektiv. God forvaltning av mineralressursene vil være ytterst relevant, både for å forhindre at gode forekomster båndlegges til annen arealbenyttelse og for å stimulere til ny verdiskapning.

Man bør fortsatt satse mot industriell utvikling av viktige mineralressurser med vekt på de muligheter som ligger i naturgass og CO<sub>2</sub> og annen ny teknologi. Innovasjon og kompetanse er avgjørende faktorer for å lykkes, samt hvordan dette faller sammen med annen industriell virksomhet.

Som nevnt ovenfor er omfattende geokjemisk, geofysisk og geologisk kartlegging i hele regionen noe som bør prioriteres.

#### 100-300-årsperspektiv

Anbefalinger av spesielle tiltak rettet 100 år fram i tid er selvfølgelig vanskelig på grunn av alle usikkerhetsfaktorer når det gjelder samfunnets og teknologiens utvikling.

Forekomster og bergarter som har økonomisk interesse i dag vil neppe ha samme betydning om 100 år, og omvendt kan man høyst sannsynlig si at bergarter som ikke er av interesse i dag vil kunne bli det om 100 år – avhengig av hvilken vei utviklingen tar.

Derfor vil anbefalingen for dette perspektivet være å følge de anbefalingene som tidligere er gjort og deretter justere kursen undervegs i forhold til samfunnets utvikling både nasjonalt og internasjonalt. Særlig internasjonale forhold vil være helt avgjørende. Det er svært sannsynlig at små nasjoner må underkaste seg en mye større grad av internasjonal styring, og det er heller ikke sikkert at det vi i dag kjenner som Buskerud, Telemark og Vestfold vil eksistere om 100-300 år.



## Vedlegg 1: Industrimineraler

Vedlegg 1: Industrimineraler .....	1
Oppsummering.....	2
Apatitt .....	3
Barytt.....	5
Feltspat .....	6
Flusspat .....	8
Granat.....	10
Grafitt.....	11
Kalkstein .....	12
Kvartsitt.....	15
Muskovitt og andre glimmermineraler .....	19
Nefelinsyenitt.....	21
Pyrofylitt .....	23
Sillimanitt-mineraler og aluminiumssilikater .....	24
Wollastonitt.....	25
Referanser .....	26

## Oppsummering

45 forskjellige industrimineraler har blitt gjennomgått. 21 av disse er ikke ytterligere omtalt grunnet mangel på kjente forekomster eller mangel på de rette geotopene i regionen.

Industrimineraler Buskerud, Telemark og Vestfold som bør evalueres ytterligere er:

- Apatitt som biprodukt og muligheter for utnyttelse av REE i apatitten i Fensfeltet
- Barytt i karbonatitten i Fensfeltet
- Feltspat i sammenheng med potensielle sjeldne-metall-pegmatitter i Tørdal-Nissedal-området
- Kalkstein for Oslofeltet og Fensfeltet.
- Kvartsitter i Kilsfjorden og kystnære strøk
- Hydrotermale kvartsganger som råstoff for silisium
- Nefelinsyenitt, også i sammenheng med evt biprodukter (Al, apatitt etc)

Hos 5 av de 13 nedenfor er datagrunnlaget for dårlig på til å kunne gi sikre slutninger for en evaluering av ressurspotensialet:

- Flusspat, på grunn av kjente geotoper som ikke allerede er undersøkt
- Granat, på grunn av mangel på nødvendig datagrunnlag
- Grafitt, på grunn av begrenset kunnskap og tilsynelatende lav utbredelse
- Muskovitt knyttet til store pegmatitter som ikke allerede er undersøkt
- Pyrofyllitt, på grunn av mangel på nødvendig datagrunnlag
- Sillimanitt, på grunn av mangel på nødvendig datagrunnlag
- Wollastonitt, på grunn av mangel på nødvendig datagrunnlag

Industrimineraler som ikke er behandlet grunnet mangel av kjente geotoper og/eller forekomster i regionen er:

- |                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| • Asbest              | • Kalialter                |
| • Bauxitt             | • Olivin                   |
| • Bentonitt           | • Perlitt                  |
| • Bor mineraler       | • Pimpstein                |
| • Celestitt           | • Sepiolitt og attapulgitt |
| • Diamanter           | • Soda aske                |
| • Diatomitt           | • Steinsalt (NaCl)         |
| • Fosforitt           | • Talk                     |
| • Gips og anhydritt   | • Vermiculitt              |
| • Ildfast kaolinleire | • Zeolitt                  |
| • Jod krystaller      |                            |

Industrimineraler behandlet under metalliske råstoff:

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| • Alumina, se aluminium     | • Magnesitt, se magnesium                        |
| • Baddeleyitt, se zirkonium | • Sjeldne jordarter, se sjeldne jordartsmetaller |
| • Dolomitt, se magnesium    | • Titan mineraler, se titan                      |
| • Celestitt, se strontium   | • Zirkon, se zirkonium                           |
| • Jernoksider, se jern      |  |
| • Kaolin, se aluminium      |  |
| • Li-mineraler, se litium   |  |



## Apatitt

Apatitt ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$ ) og andre fosfatmineraler med et høyt innhold av  $\text{P}_2\text{O}_5$  brukes blant annet for å utvinne fosfor og til produksjon av fosforsyre for produksjon av kunstgjødsel og som tilsetning i dyrefor

Verdensproduksjonen av fosfatrike bergarter i 2006 var ca 142 000 000 tonn og USGS har anslått verdensproduksjonen i 2008 til 167 000 000 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var:

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	24 %	29 %	30 %
USA	23 %	19 %	19 %
Marokko og Vest-Sahara	19 %	17 %	17 %

## Forekomstgeotoper

Det finnes en rekke ulike apatitt-typer:

*Fluor-apatitt* brukes til fosfat-gjødsel og fosfor-kjemikalier.

*Klor-apatitt*, som fører til korrosjon av rørene i prosesserings-anleggene, er ubrukelig med dagens teknologi.

*Hydroksyl-apatitt* forekommer meget sjeldent naturlig.

Fluor-apatitt utvinnes fra alkaline magmatiske silikatbergarter i tilknytning til karbonatittkomplekser. Disse omfatter malmer i Na-rike peralkaline nefelinsyenitter (Khibiny, Russland) og i flogopitt-pyroxenitter (Palaborwa i Sør-Afrika). Dessuten utnyttes apatitt som ett av flere verdimineraler i karbonatitter, som normalt inneholder 5-10 % fluor-apatitt. Tropisk dypforvitring av karbonatitter fører til dannelsen av apatittsand og apatitt-regolitter med 40-80 % apatitt som under gunstige forhold kan utnyttes. Sedimentære fosfatleier er mindre egnet til gjødsel grunnet forhøyet innhold av Cd og U. Alkaligabbroer, monzonitter, nefelinsyenitter og granittiske pegmatitter inneholder vanligvis små mengder apatitt, men aldri i slike konsentrasjoner at den alene kan gi grunnlag for drift. Dette gjelder også jern-apatitt-malmer, slik som Kiruna-typen.

## Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

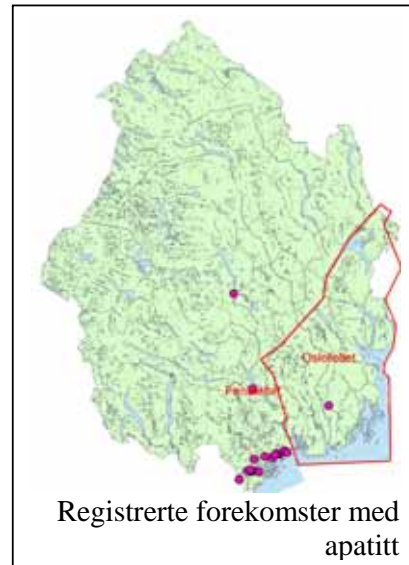
I regionen finnes det flere typer av apatittforekomster. Disse omfatter blant annet:

- 1) Apatitt (5-7 %) i karbonatitter i Fensfeltet.
- 2) Kodal Fe-Ti-apatitt-forekomst i larvikittmassivet med reserver på totalt 70 Mt med gjennomsnittlig 17 % apatitt.<sup>1</sup>
- 3) Massive og båndete Fe-apatittmalmer (3-5 % apatitt) i Nissedal, men denne forekomsten er liten.
- 4) Enstantitt-phlogopitt-ganger (0,1-1 m brede) med klor-apatitt i skapolittiserte og albittiserte gabbroer ved Kragerø og i Bamble. Klor-apatitten i gangene kan ikke utnyttes selv om den inneholder ca. 1,2 % Y+REE.
- 5) Larvikitt kan under visse forhold også inneholde mye apatitt, men det vil alltid være til stede i aksessoriske mengder.

<sup>1</sup> I følge Lindberg, 1985

## Vurderinger

Med mindre det med tiden vil finnes en prosess som kan utnytte klor-apatitt er det med dagens kjennskap til apatitt i området har ingen av de kjente forekomstene indikerer høye nok konsentrasjoner av apatitt som kan bære en eventuell drift alene. En eventuell utnyttelse bør dersom skje med utgangspunkt i apatitt som et biprodukt og med muligheter for å utnytte sjeldne jordartselementer (REE) i apatitten (>1% REE).



## **Barytt**

Barytt er et tungt mineral og brukes som filler i oljeindustrien som vektelemt i tunge sementer og boreslam, men også i maling, plast og gummi og som råmateriale for barium-kjemikalier. Det brukes i bilproduksjon som for eksempel til pedaler, som primer for billakk og for å gi tyngde på skvettlapper. Siden barytt kan blokkere røntgen- og gammastråler brukes det også i strålingsskjold og tidvis også i kontrastvæske til røntgenundersøkelser.

Verdensproduksjonen av barytt i 2006 var 8 080 000 tonn og USGS har anslått verdensproduksjonen i 2008 til 7 770 000 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var:

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	53 %	58 %	57 %
India	12 %	13 %	13 %
USA	7 %	6 %	8 %
Marokko	5 %	6 %	6 %

## **Forekomstgeotoper**

Barytt utvinnes hovedsakelig fra massive båndete baryttlag som opptrer i sedimentære sekvenser av svartskifre, siltsteiner, finkornet silika (chert) og leirskifre. De er dannet i forbindelse med sub-marine ekshalative prosesser, og de opptrer derfor ofte i områder med stratiforme Pb-Zn sedex-malmer (Meggen, Rammelsberg). Noe barytt utvinnes også fra residualforekomster som opptrer i tilknytning til dypforvitring av Mississippitype Pb-Zn-F-Ba-forekomster i karbonatsekvenser langs diskonformiteter. Forskjellige typer forkastningsbetingete gangforekomster og fortrenningsmalmer i forskjellige vertsbergarter (f.eks. sedimentære karbonater og karbonatitter) er av mindre betydning.

## **Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Barytt opptrer som underordnet bestanddel på kalkspatganger i sølvverksgruvene i Kongsbergfeltet. I den nordlige del av Tråkområdet ved Kristiansand-Porsgrunn-forkastningen opptrer en 2 m bred kalkspatgang med Pb-Zn-sulfider og partivis massiv barytt. I karbonatittene i Fensfeltet opptrer aksessorisk barytt.

## **Vurderinger**

Med dagens kjennskap finnes ingen klare geotoper for økonomiske baryttforekomster i regionen. Gangforekomstene er generelt for små til å ha noen økonomisk interesse, men det finnes ganger som inneholder ren barytt over flere metre.

Siden mange karbonatitter inneholder økonomisk utnyttbar barytt som et biprodukt bør potensialet for barytt i Fensfeltet evalueres ytterligere.



## **Feltspat**

Feltspat er en mineralgruppe med aluminiumsilikater som inneholder varierende mengder kalium, kalsium og natrium. Innen glassindustrien gir feltspat alumina for forbedret hardhet, varighet og motstand mot kjemisk korrosjon. Innen keramisk industri brukes feltspat som flussmiddel.

Verdensproduksjonen av feltspat i 2006 var 13 300 000 tonn og USGS har anslått verdensproduksjonen i 2008 til 18 300 000 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var:

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Italia	19 %	23 %	23 %
Tyrkia	19 %	21 %	21 %
Thailand	8 %	6 %	4 %

## **Forekomstgeotoper**

Det finnes fire typer av kommersielle feltspatkonsentrater, henholdsvis natronfeltspat (plagioklas) med < 2 % CaO, dentalspat (grove stykker av ekstremt ren kalifeltspat), kalifeltspat (> 12 % K<sub>2</sub>O) og anortitt (> ca. 25 % CaO). Alle disse feltspattypene har magmatisk opprinnelse.

De tre første utvinnes fra granittiske pegmatitter, som blant annet finnes langs kanten av Telemark supergruppen, og den siste fra anortositter i lagdelte gabbroer. I tillegg har det inntil nylig vært utvunnet natronfeltspat fra metasomatiske albititter på Langøya i Kragerøs skjærgård.

Pegmatittisk feltspat produseres på Glamsland i Norge av North Cape Minerals. Det lages ca 100 000 tonn konsentrat av kalifeltspat, natronfeltspat og kvarts og bare en liten andel går til avgang. Pegmatitten ville ikke være lønnsom ved produksjon av bare ett produkt.

## **Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Store kropper av lagdelte anortositter er ikke kjent, men det finnes mange områder med pegmatitter i de tre fylkene. De viktigste områdene finnes i Fyresdal, Nissedal, Tørdal, Bandakslia, Kviteseid, Sauherad, Kragerø, Bamble, Kongsberg, Flesberg, Eggedal, Hallingdal, Snarum, Modum, Holleia og Soknedal. De omfatter to typer, henholdsvis synorogene anatiske pegmatitter typisk for amfibolitt facies gneiskomplekser og residuale pegmatitter i kontakten av sen-orogene granitter (Flå, Fyresdal). Mineralogisk kan de klassifiseres som abyssale biotitt og muskovitt-pegmatitter (AB-pegmatitter) stedvis med overgang til hovedsaklig AB-HREE-pegmatitter. Pegmatittene i Tørdal representerer sjeldne-metall-pegmatitter anrikt på HREE, Li, Ta, Y, Sc, Sn og Be. I mange av områdene finnes det gamle brudd hvor det tidligere er tatt ut kalifeltspat og/eller muskovitt, samt stedvis kvarts (brudd nær smelteverk eller ved kysten), natronfeltspat og dental feltspat. I dag er ingen av bruddene i drift.

## Vurderinger

En rekke av pegmatittene kan være potensielle ressurser for feltspat, kvarts og muskovitt, men konkurransen er meget hard på det internasjonale markedet. India, Tyrkia, Tsjekia og Polen er viktige konkurrenter til et eventuelt konsentrat produsert i Norge som dekker nisjemarkeder med behov for spesielle kvaliteter. Man er også nødt til se på muligheten for eventuelle biprodukter i tillegg til feltspaten.

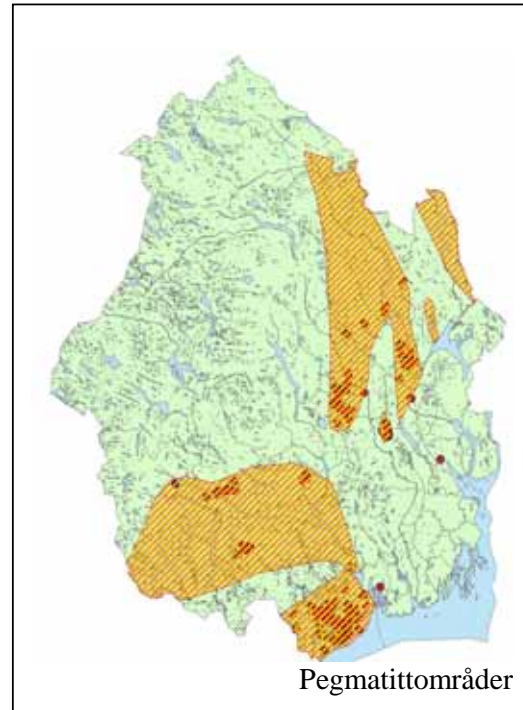
Det finnes meget få virkelig store pegmatitter med de rette kvaliteter av feltspater og kvarts som kan tåle en totalutnyttelse og som kan danne grunnlag for langvarig avbygging i størrelsesorden 150 000 tonn i året.

Produksjon av spesialkvaliteter og andre typer konsentrater av høy-pris-mineraler (høy-ren kvarts, mikronisert muskovitt, spodumen, pollucitt og tantalitt-columbitt) er derfor nødvendig for å få gode fortjeneste-marginer.

Et potensielt område for drift av feltspat fra pegmatitter bør vurderes i sammenheng med potensielle sjeldne-metall pegmatitter i Tørdal-Nissedal området.

Det finnes også store volumer av feltspat også utenfor Tørdal-Nissedal-området, men disse er ikke aktuelle i dag og er kun å regne som hypotetiske og spekulative reserver.

I midlertid finnes flere områder i nærheten av Tørdal-Nissedal, som for eksempel Fyresdalsheia, finnes en rekke utforskede pegmatitter og basert på den kunnskapen man alt har om enkelte pegmatitter med potensielt verdifulle elementer i området bør derfor de utforskede områdene undersøkes nærmere.



## Flusspat

Flusspat brukes direkte eller indirekte til produksjon av aluminium, bensin, isolasjonsskum, kjølevæsker og uranbrensel, til flussyre, som flussmiddel i stålproduksjon og annet.

Verdensproduksjonen av feltspat i 2006 var ca 5 352 000 tonn og USGS har anslått verdensproduksjonen i 2008 til 5 840 000 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var:

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	51 %	56 %	55 %
Mexico	18 %	16 %	17 %
Mongolia	7 %	7 %	7 %

## Forekomstgeotoper

Flusspat utvinnes fra en rekke forskjellige genetiske typer av forekomster. De fleste inneholder malmer med mer enn 30-40 % flusspat. De kan klassifiseres som hydrotermale gangforekomster, karstforekomster og fortrenningsforekomster, samt malmer knyttet til dypforvitring av disse forekomstene. I tillegg fører karbotermale residual-karbonatitter viktige forekomster av flusspat. De største ressursene er knyttet til forekomster i karbonatsekvenser langs diskonformiteter (Mississippi Valley-type). Dessuten finnes det fortrenningsmalmer (mantos og lagbundne malmer) i karbonatsekvenser langs kontakten av granitter og langs forkastninger hvor sprekk- og breksje-bundet innfylling av flusspat også er vanlig i forskjellige vertsbergarter. Flusspat er ofte avsatt sammen med varierende mengder av kvarts, kalkspat, barytt, svovelkis, blyglans og sinkblende.

## Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

De kjente flusspatforekomstene i regionen opptrer i tilknytning til forkastninger og sprekkesoner. De fleste forekomstene er av permisk alder og opptrer spesiell med stor tetthet i området mellom Kongsberg og Oslofeltet. I Oslofeltet er det vanlig å finne aksessoriske mengder av flusspat i de fleste sulfidforekomstene og i de granittiske intrusivene. Langs kontakten av ekerittmassivet sør for Drammen og på Hørtekollen i kontakten av Finnemarkagranitten opptrer små fortrenningsmalmer av flusspat i kalksteiner langs forkastninger.

De største forekomstene opptrer som flusspatbreksjer langs forkastninger i Lassedalen ved Kongsberg og i Stulen ved Skien. Tilsvarende forekomster av prekambrisk alder finnes ved Dalen i Telemark (Bandak-forkastningen) og rundt Bessfjellgranitten noe lengre nord. På 1970-tallet ble det nedlagt betydelig arbeid av A/S Sydvaranger og Norsk Hydro i leting etter nye flusspatforekomster i regionen. Få nye ble funnet og alle hadde små dimensjoner.

Lassedalen er den største flusspat-forekomsten i Norge, og omfatter en 10-13 m bred og 200-250 m lang flusspatsone med 40-80 %  $\text{CaF}_2$ . Dette tilsvarer 750 000 tonn

rågods fra overflaten og ned til 100 m dyp. Og i et globalt marked er dette en meget liten ressurs som ikke vil tåle langvarig drift med høy produksjon.

### **Vurderinger**

Med mindre situasjonen for flusspat i verden skulle bli prekær, og man heller ikke har funnet alternative råvarer vil ikke Lassedalen, som er den største kjente forekomsten i området, være aktuell for drift.

Det finnes ingen spesiell flusspat-anrikning i Fens-feltets karbonatitter og siden de kjente forekomstene i regionen kun inneholder små reserver vil de neppe få noen betydning i fremtiden.

Man kjenner heller ikke til klare tegn på andre geotoper i området enn de som allerede er undersøkt. I følge regiongeolog Sven Dahlgren (pers. med.) finnes det dog store mengder med flusspat i hele lavaplatået i hele Vestfold og pr i dag er disse ikke systematisk gjennomført.

## **Granat**

Granater brukes til slipemidler og kan erstatte kvartssand ved sandblåsing og til vannskjæring.

Verdensproduksjonen av granat i 2006 var ca 326 000 tonn og USGS har anslått verdensproduksjonen i 2008 til 352 000 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var:

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Australia	49 %	46 %	46 %
India	20 %	19 %	19 %
USA	11 %	17 %	17 %

## **Forekomstgeotoper**

Granat opptrer i peraluminøse bergarter som har vært utsatt for amfibolitt facies metamorfose. Granat som hovedsakelig brukes som slipemiddel kan anvendes når den har spesifikk vekt som overstiger  $4,0 \text{ g/cm}^3$  (almandin og andraditt), har lavt innhold av mikroinneslutninger av kvarts og andre mineraler, samt lavt innhold av helete mikrofrakturer. Granat utvinnes ofte fra fete glimmerskifer med grove granatkrystaller (18-20 %) som lett frigjøres ved knusing uten å danne smittede korn. Slike er å foretrekke fremfor porfyroblaster av finkornete granataggregater. Granat med rettlinjete skarpe grenser foretrekkes også fremfor korn med gradvise og diffuse grenser mot omgivende bergart.

## **Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

I Kongsberg-Bamble-formasjonen opptrer det mange granatførende bergarter. Om disse representerer en potensiell ressurs er vanskelig å vurdere. Men granat har tidligere blitt brutt på Overberget i Kongsberg hvor vertsbergarten er en kvartsitt-båndet glimmerskifer. Andraditt finnes dessuten som massive skarnkropper langs kontakten av Drammensgranitten.

## **Vurderinger**

Ressurspotensialet for granat er meget vanskelig å vurdere grunnet nødvendigheten av et stort datagrunnlag (spesifikk vekt, mikroteksturer, mikroinneslutninger, etc.). Resultatet av en slik evaluering når datagrunnlaget for en stor grad mangler, vil derfor i beste fall være svært usikkert.

I midlertid finnes det p.t. ingen europeiske granatprodusenter, og muligheten for et marked om man finner en forekomst med de rette kvalitetene kan derfor finnes.

## **Grafit**

Grafit brukes innen metallurgi, til produksjon av bremseklosser og smøremidler, som moderator i atomindustrien og til ildfaste smeltedigler.

Grafit er et dyrt industrimineral som gjør at selv små forekomster kan være interessante, men salgbare konsentrater må inneholde > 98 karbon for å være interessante.

Verdensproduksjonen av grafit i 2006 var ca 1 065 000 tonn og USGS har anslått verdensproduksjonen i 2008 til 1 110 000 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var:

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	68 %	72 %	72 %
India	11 %	12 %	12 %
Brasil	7 %	7 %	7 %

## **Forekomstgeotoper**

Økonomiske grafitforekomster opptrer som strata-bundne kroppar i høymetamorfe sedimentære bergartssekvenser. Grafitmalmen representerer sannsynligvis metamorfe kull-lag eller sterkt bitumenøse svartskifre.

## **Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes bare en registrert forekomst i regionen beliggende ved Dobbe sør for Kragerø. Det finnes også aksessoriske mengder av grafit i de fleste fahlbåndsonene, samt i de kontaktmetamorfe alunskifrene nær kontakten mot intrusjonene i Oslofeltet.

Det er registrerte grafitforekomster i nærheten av Kragerø. Det har vært drift på grafitforekomster i Vergårdshei området, i bergartsenheter som strekker seg inn mot Telemark.

## **Vurderinger**

Det er tilsynelatende lav utbredelse av grafitrike bergarter i Buskerud, Telemark og Vestfold, og det kan se ut til at sannsynligheten for å finne økonomisk interessante forekomster anses for å være liten. Kunnskapene er dog for begrensede til at en god vurdering av mineralressurspotensialet kan gjøres.

## Kalkstein

Kalkstein har en rekke bruksområder, hvor fyllstoff i papir er den viktigste for Norges vedkommende. I tillegg utgjør det ca 85% av råmaterialet i sementproduksjon og brukes i både kjemisk og metallurgisk industri og til landbruksformål.

Verdensproduksjonen av kalkstein i 2006 var ca 130 000 000 tonn og USGS har anslått verdensproduksjonen i 2008 til 290 000 000 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var og er:

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	19 %*	60 %*	60 %
India	16 %	7 %	7 %
Japan	7 %	3 %	3 %
Russland	7 %	3 %	3 %

\*) Det store spriket fra 2006 til 2007 er neppe en ren produksjonsøkning, men kan trolig skyldes at datagrunnlaget fra Kina har blitt bedre.

## Forekomstgeotoper

Kalksteiner og deres metamorfe ekvivalenter opptrer hovedsakelig i sedimentære grunnvannsavsetninger. Til visse formål kan også karbonatitter utnyttes sammen med andre assosierte mineraler. Kalsiumkarbonatene brukes som råstoff i fremstillingen av et vidt spekter av produkter. Hvithet og kjemisk renhet er to av hovedparametrene ved vurdering av utnyttelsespotensialet (Gautneb 2006)

## Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

Kalksteiner og kontaktmetamorfe ekvivalenter finnes hovedsakelig langs vestgrensen av Oslofeltet hvor de utgjør en viktig del av den over-ordovisiske til mellom-siluriske sekvensen av sedimentære bergarter. Flere av disse brytes eller har vært brutt for produksjon av sement, jordforbedringsmiddel, brent kalk og pukk. Dessuten finnes det karbonatbergarter i form av karbonatitt i Fensfeltet. I de prekambriske bergartsenhetene er karbonater nesten fraværende.

Norcem driver i dag brytning av kalkstein til sementproduksjon på 2 steder i nærheten av Brevik. Ved Dalen gruver brytes det på en 40 meter tykt kalksteinsenhet som har et CaO-innhold på ca. 88%. Ved Bjørntvedt gruve brytes det på en noe eldre kalk som er 115 meter tykk og har et gjennomsnittlig CaO-innhold på fra 50-70%. Til sammen brytes det ca. 2 millioner tonn med kalkstein pr år og med dagens produksjon er det anslått at de har



reserver for 25-35 års drift.

Nord for Skien i Venstøp-området opptrer kalkstein av samme type som ved Bjørntvedt. Dette vil være de nærmeste reservene når forekomstene ved Brevik er tomme. Venstøp-området er imidlertid godt bebygget og overdekket av jordbruksmark, som gjør det vanskelig å foreta en systematisk dokumentasjon av kalkens kvaliteter. En skal ikke se bort i fra at Norcem's anlegg kan bli nedlagt og flyttet, når dagens reserver er tomme.

Ved Mjøndalen er det også en rekke kalksteinsforekomster, men disse arealene brukes i dag til bolig- eller industriformål og vil være lite aktuelle for nyåpning.

### **Vurderinger**

Ressurspotensialet for kalksteiner er begrenset til geografisk veldefinerte områder. For disse områdene bør det i samarbeid med industrien utredes om det kan være aktuelt å anlegge ny drift.

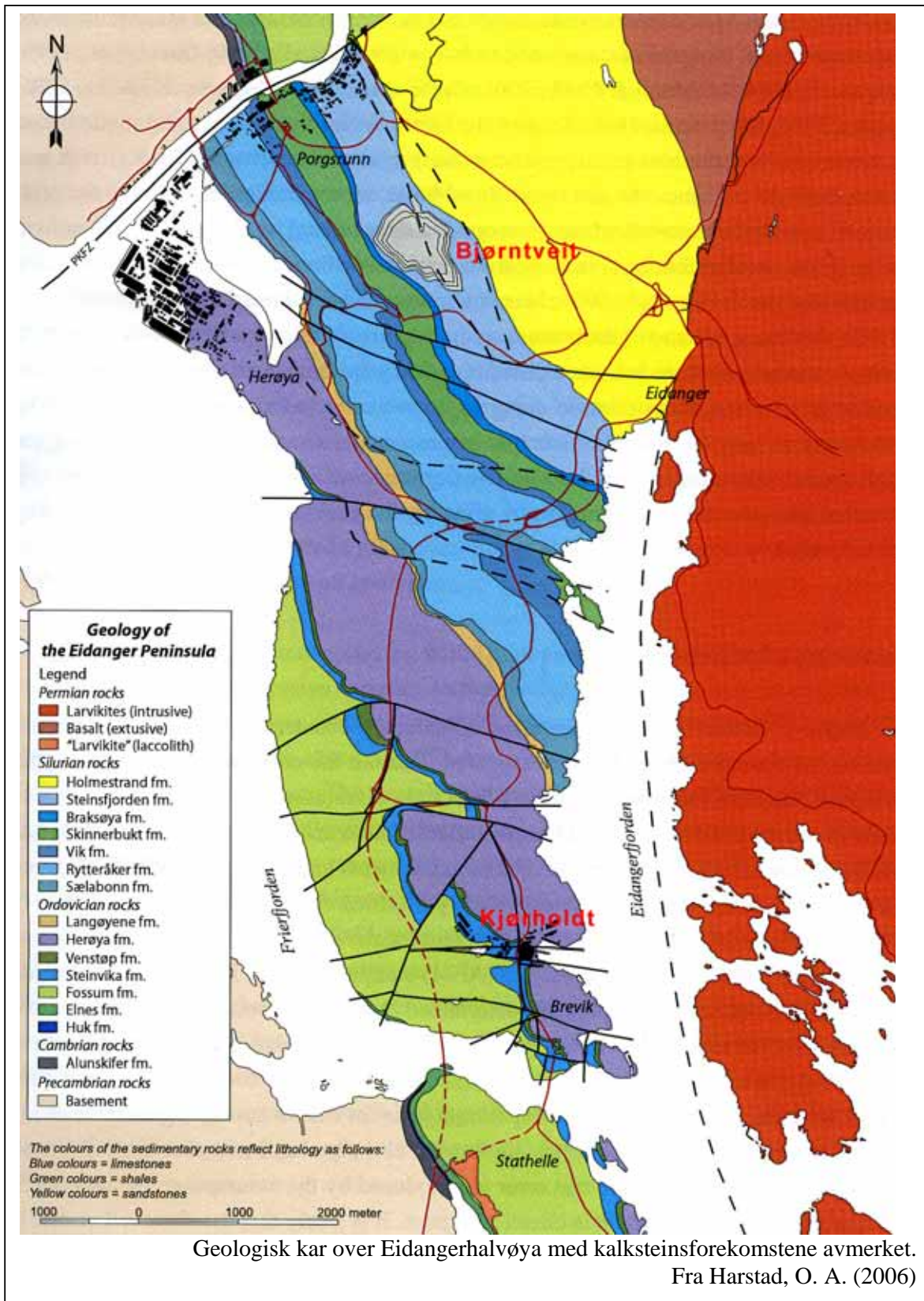
Dagens krav til anvendelse av kalkstein og metamorfe ekvivalenter varierer med anvendelsesområdene. Rene produkter, både hva andre mineraler og mineralkjemi angår, er vesentlige for høykvalitetsprodukter.

Pr i dag er kalksteinen kun i bruk til sementproduksjon. En ulempe med dagens sementproduksjon er at man får et at Norges høyeste punktutslipp av CO<sub>2</sub> som følge av brenningen. Kan hende kan man fange inn igjen CO<sub>2</sub>-gassen før utslipp og gjennomføre karbonatiseringsreaksjoner med egnede bergarter (f.eks. ødegårditt, larvikitt, lardalitt) for å binde den i disse (foreløpig teoretisk), eller den kan pumpes ned i oljebrønner i Nordsjøen for å opprettholde trykket i brønnene eller for lagring.

Kan hende finnes andre bergarter som vil egne seg bedre og at man for eksempel bruker utlutning for å utvinne kalk fra andre bergarter ved hjelp av for eksempel gass, men det er umulig å si hvilken vei teknologien vil gå. Imidlertid er det ikke usannsynlig at man fortsatt vil trenge kalkstein til bruk i sement, og ut over Grenlandsområdet finnes også underjordiske ressurser i Holmestrand.

Karbonatitten i Fensfeltet har ikke samme bruksområder som de sedimentære karbonatbergartene på grunn av et høyt innhold av sporelementer.





## **Kvartsitt**

Kvartsitt, som er forsteinet kvartssand, er et viktig råstoff for fremstilling av ulike typer glass, keramikk, vannglass og silisiumkarbid.

Verdensproduksjonen av kvarts i 2006 var ca 120 000 000 tonn og USGS har anslått verdensproduksjonen i 2008 til 127 000 000 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var:

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
USA	25 %	24 %	24 %
Slovenia	9 %	0,2 %	0,2 %
Italia	2,5 %	11 %	11 %
Tyskland	6 %	6 %	7 %

## **Forekomstgeotoper**

Forekomster av kvartssand opptrer i tilknytning til fluviale og esturiale sandavsetninger. Kvartsittforekomstene representerer metamorfe forekomster av kvartssand og opptrer normalt i sedimentære sekvenser som representerer alluviale- eller grunthavs-avsetninger.

Kvartsitter i form av stykk-kvarts (biter med diameter 3-20 cm) brukes som råstoff i produksjonen av ferrosilisium og silikomangan, samt som slaggdanner i fremstillingen av jern og stål.

Anvendelsesområdene for disse råstoff-typene er basert på kjemisk renhet. Om de skal utnyttes til metallurgiske formål må de i tillegg ha høy mekanisk og termisk styrke.

## **Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Forekomster av kvartssand finnes sikkert i regionen grunnet den store utbredelse av kvartsitter. Men sanden har neppe en renhetsgrad som er bedre enn kildebergartene forutsatt at rensende prosesser ikke har vært aktive.

Ortokvartsitter har spesielt stor utbredelse i Seljordkvartsitten Seljordkvartsitten (Vindeggen og Lifjell Formasjonene) og ekvivalente høy-metamorfe i Bamble og Modum gneis-komplekser.

## **Telemark**

Ved Kilsfjorden ved Kragerø brytes kvartsitter som råstoff til produksjon av silikomangan i Kvinesdal og Porsgrunn. Kragerøkvartsitt benyttes også i sementproduksjon i Brevik. Totalt brytes omkring 200 000 tonn i året (2007), hvorav halvparten går som stykk-kvarts til silikomangan-produksjon.

Kvartsittene ved Kragerø brytes i dag fra bruddene Litangen, Snekkevik og Bøleråsen. Det gjenstår der råstoff til minst 10 års drift med nåværende årsproduksjon. Ved nyere kartlegging av NGU er det dertil påvist tilsvarende

kvartsittkvaliteter i flere soner i marka på vestsiden av Kilsfjorden. Samlede tonnasje på et tosifret antall millioner tonn er tilstede. Forutsatt at det gis åpning for drift også innenfor disse tilleggsområdene vil Kragerø-kvartsitten kunne tilby silikomangan-kvaliteter av nåværende årlige kvanta i flere tiår fremover. Taes flere nye uttakssteder i bruk innover i marka vil det kunne være råstofftilgang ut inneværende århundre og lengre enn det.

Kvartsittene ved Kragerø ble tidligere også benyttet til ferrosilisiumproduksjon, men etter hvert som kvalitetskravene økte falt denne muligheten bort. Ved silikomanganfremstilling er kvalitetskravene lavere og Kragerø-kvartsittene egner seg utmerket til dette formålet. Eksempelvis aksepteres det dobbelt så høyt aluminiumsinnhold (opp mot 1%  $Al_2O_3$ ) til silikomangan sammenlignet med dagens råstoffkrav til ferrosilisium. I praksis er det kvartsittens innholdet av fosfor og kalium som er mest kritisk for silikomangan, og også innenfor Kragerø-kvartsittene er det kun de bedre sonene som gir tilfredsstillende innhold av disse elementene.

Silikomanganproduksjonen ved de norske verkene er relativt stabil og det forventes at kvartsittproduksjonen kan fortsette i nåværende omfang også i de kommende år. Hva som vil skje i et lengre tidsperspektiv er jo uvisst og kraftprisene vil nok være bestemmende for de norske smelteverkenes konkurransedyktighet.

Kvartsittenheter ved Notodden har også tidligere vært drevet flere steder vest for Heddalsvannet for anvendelse som slaggdanner ved Tinfos Jernverk i de årene dette eksisterte.

Seljordkvartsittene omfatter Vindegg og Lifjell-gruppenes kvartsitter, som er del av Telemark supergruppe. Særlig Vindegg-kvartsittene som krysser Seljordsvatnet og utgjør storparten av Lifjellområdet har god renhet i større partier. Selv om kvaliteten er tilfredsstillende som råstoff for ferrosilisiumproduksjon, gjør plasseringen det ikke mulig å konkurrere med kystnære kvartsitter andre steder i landet.

### **Buskerud**

Ortokvartsitter finnes også på Blefjell der de opptrer på begge sider av fylkesgrensen mellom Telemark og Buskerud.

I området mellom Eggedal og Hallingdal opptrer også mindre enheter av ortokvartsitter der de er del av Hallingdalskomplekset. Den kjemiske kvaliteten er dårligere enn telemarkskvartsittene ved Kragerø og i Lifjellområdet.

### **Vestfold**

I Vestfold opptrer fortrinnsvis sandsteiner innenfor Oslofeltet, men ingen av disse har en kjemisk renhet som kreves for kvartsråstoffer.

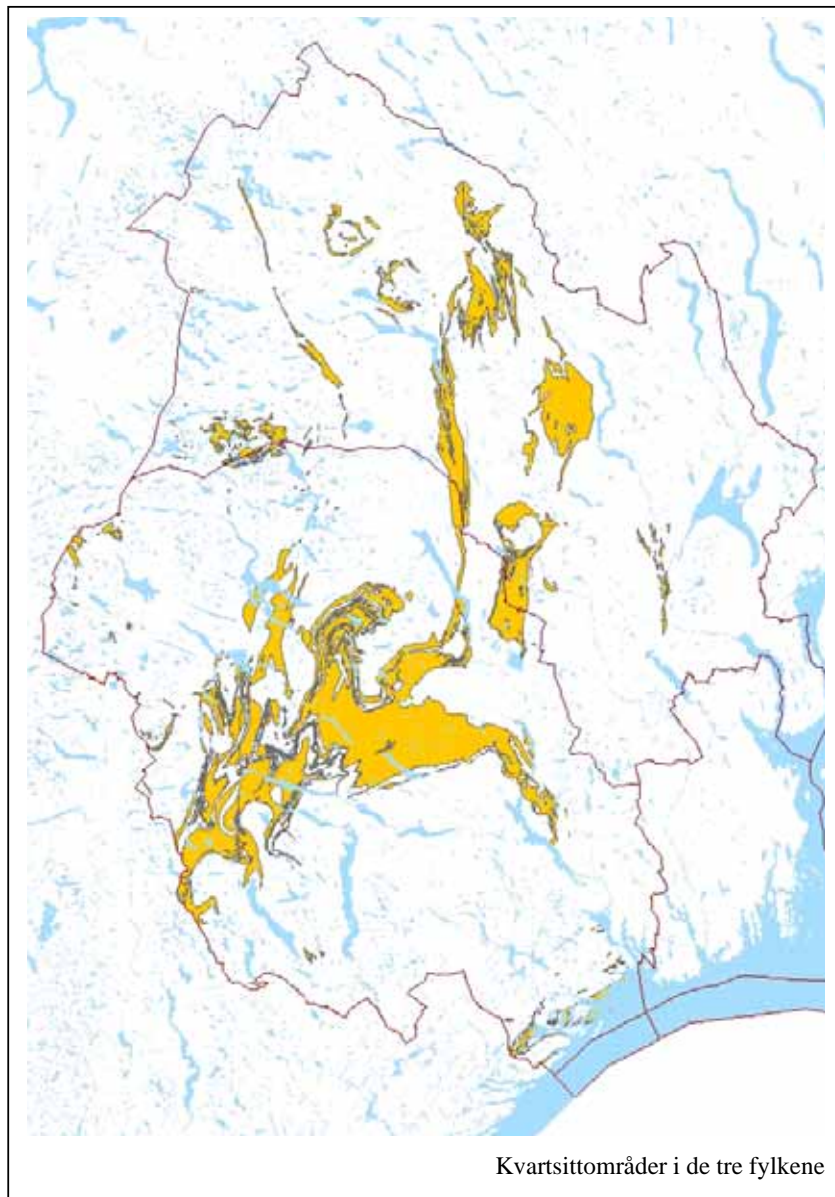
### **Vurderinger**

Kvartsittbruddene ved Kragerø dekker etterspørselen til silikomanganindustrien fra dette området i de nærmeste 10 årene. Gitt at industrien fortsatt eksisterer vil det på

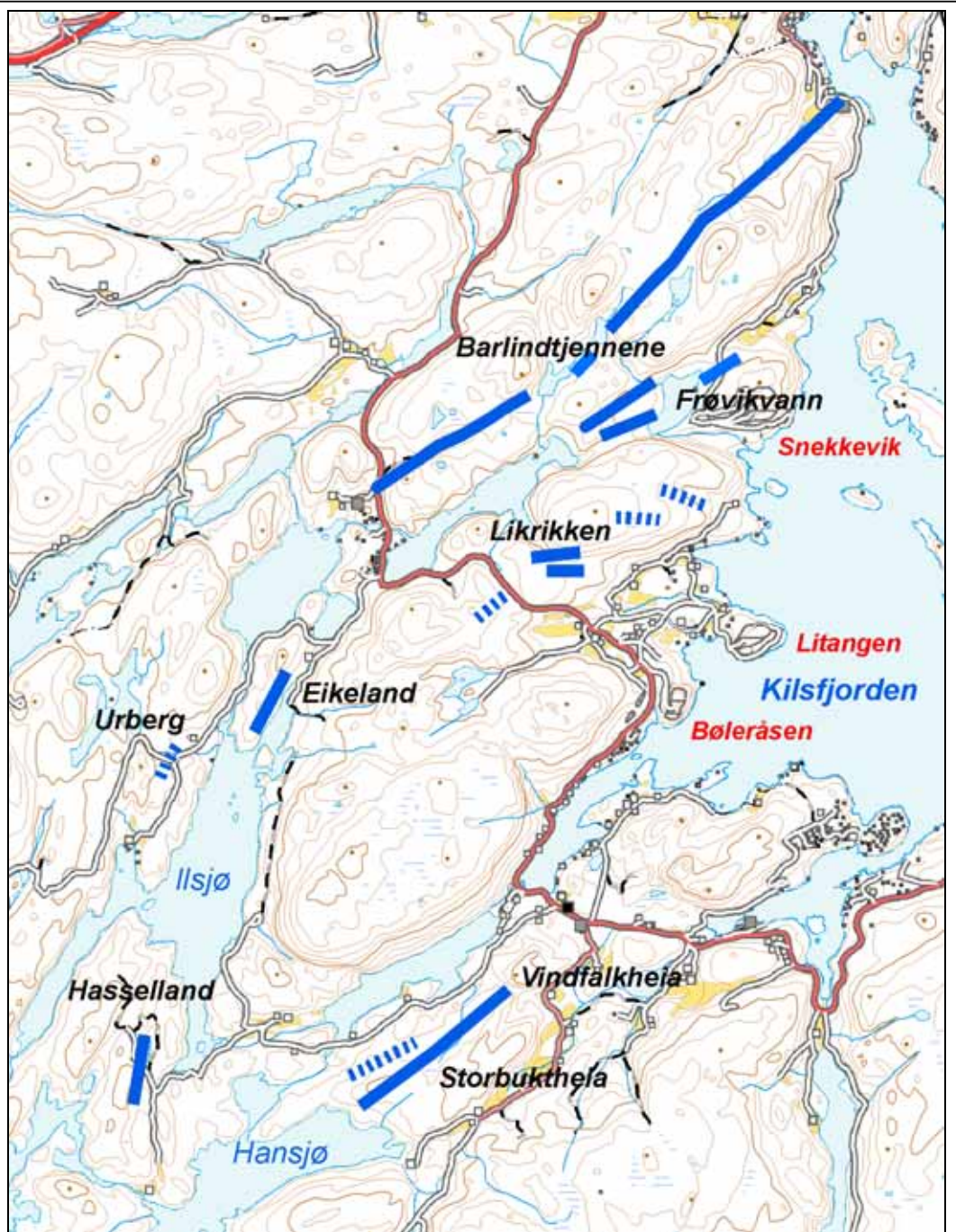
sikt kunne bli behov for sikring av nye reserver innenfor de nye gode kvartsittsonene lengre fra fjorden, og oppfølgene geologiske detaljundersøkelser vil da være aktuelle. Reservene ved Kilsfjorden er store, men uavhengig av energiprisene vil eventuell etterspørsel enten holde seg stabil eller minske.

For ferrosilisiumproduksjon har kvartsittene langs Telemarkskysten for dårlig kvalitet. De større forekomstene i Seljord-Lifjell-området er av god nok kvalitet, men har for lang transportavstand til kysten til å komme i betraktning som lavpris ferrosilisiumråstoff (~100 kr/tonn). Både for i dag og de nærmeste 20 årene vil nok transportavstand ha mye å si for eventuell utvinning.

Fremtiden til norsk kraftkrevende industri er per i dag usikker og også silikomangan-smelteverkene vil være avhengig av konkurransedyktige kraftpriser for å overleve og opprettholde sin posisjon internasjonalt.



Kvartsittområder i de tre fylkene



Gode kvartsittforekomster på vestsiden av Kilsfjorden ved Kragerø

## **Muskovitt og andre glimmermineraler**

Glimmermineralene brukes på grunn av sine fysiske egenskaper som lav elektrisk ledningsevne og stor elastisitet. De er motstandsdyktige mot UV-stråling, men gjennomskinnelige for mikrobølger, og brukes i nedmalt og mikronisert form som fyllstoff til maling, plast og lakk, kosmetikk og i elektronikk.

Av glimmermineralene er det først og fremst muskovitt som er interessant i industriell sammenheng. Phlogopitt og lepidolitt har enkelte bruksområder, mens biotitt har forholdsvis liten anvendelse.

Glimmermineralene deles gjerne inn i tre typer for produksjon:

- Flak-glimmer; store glimmerflak som splittes ned til svært tynne flak.
- Oppbygd glimmer; Små glimmerflak limes sammen til større flak
- Nedknust glimmer (enten knust i en tørr eller våt prosess). Særlig finknust glimmer blir kalt mikronisert glimmer.

Mikronisert muskovitt i pulverform er et høyt priset produkt, noe som gjør hvilken som helst muskovittrik bergart interessant med hensyn på en eventuell muskovitt-anrikning. Som industrimineral er det unikt i den betydning at det i svært liten grad finnes syntetiske alternativer. Per 2007 er det en mangel på mikronisert muskovitt i det globale markedet, hvor den viktigste anvendelsen er som spesialfyllstoff.

Verdensproduksjonen av glimmer i 2006 var ca 280 000 tonn og USGS har anslått verdensproduksjonen i 2008 til 390 000 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var:

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Russland	35 %	26 %	26 %
USA	33 %	26 %	26 %
Finland		18 %	18 %

## **Forekomstgeotoper**

Muskovitt utvinnes tradisjonelt fra grovkrystalline flak av muskovitt i granittiske pegmatitter, fra grovkornete muskovittskifre/fylonitter og om biprodukt fra produksjon av andre mineraler (ofte kvarts og feltspat fra pegmatitter).

## **Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Pegmatitter har stor utbredelse i regionens amfibolitt-facies metamorfe kompleks og omfatter hovedsakelig abyssale anatektiske pegmatitter uten spesiell tilknytning til genetisk relaterte granittplutoner (les mer under feltspat). Muskovitt-førende pegmatitter er spesielt utbredt i Numedal, Sauherad, Kviteseid og Tørdal. I flere av disse områdene har det ved siden av feltspat, vært bondedrift på muskovitt.

### **Vurderinger**

Per i dag foregår ingen produksjon av glimmer i Norge, men et ressurspotensiale for muskovitt kan utredes i lys av at mange av pegmatittene er store og kan inneholde andre brytbare mineraler som feltspat, Sn, Ta, Cs, Li og Be, f.eks. i Tørdal-området.

Biotitt har også et potensiale innenfor jordforbedringsmiddel i form av steinmel.

## Nefelinsyenitt

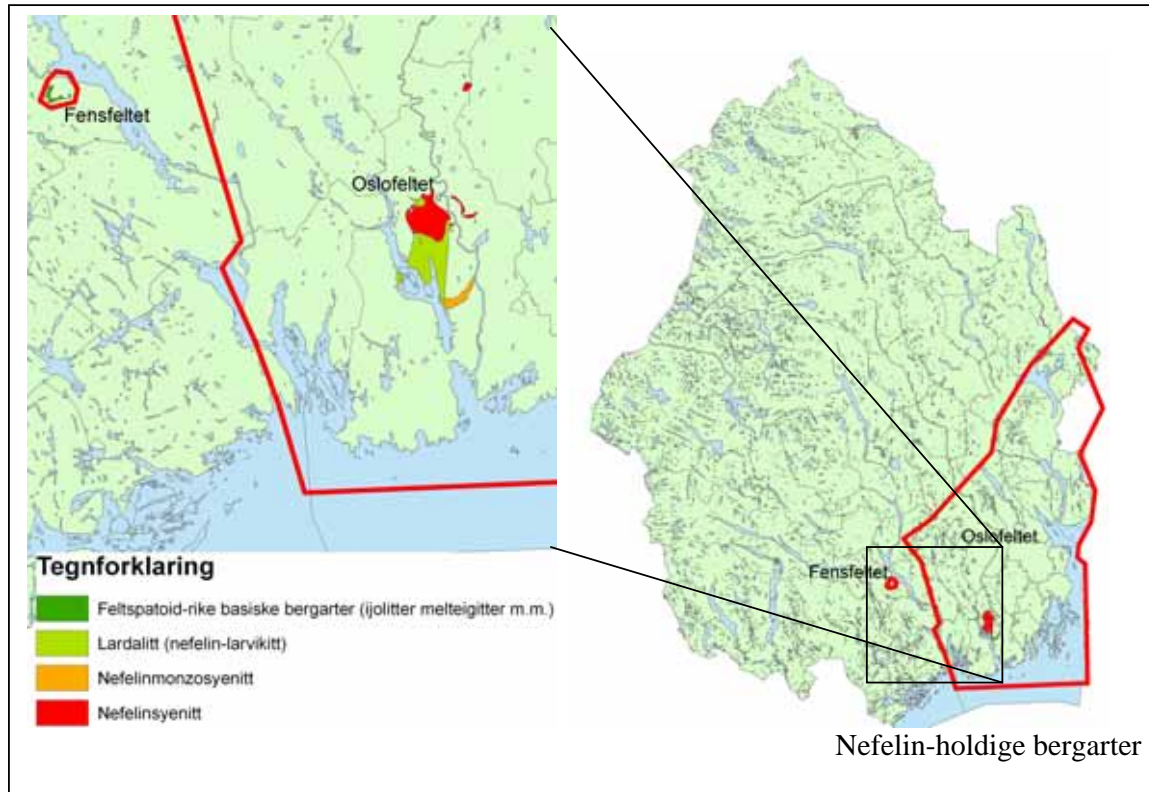
Nefelinsyenitter inngår sammen med feltspat i varierende mengde som komponent i mineralblandinger som brukes i fremstilling av ulike typer planglass og keramikk. Dessuten brukes nefelinsyenitt som filler i plastikk og andre komposittmaterialer. I Russland brukes den som råstoff for produksjon av aluminium og sement. Vanlig krav for nefelinsyenitt til glass og keramikkproduksjon er lavt innhold av Fe og andre grunnstoffer som kan generere uønsket farge i produktet og partikler av mineraler med høyt smeltepunkt (zirkon, rutil, titanitt og magnetitt).

## Forekomstgeotoper

Nefelinsyenitter opptrer i alkaline magmatiske kompleks hvor noen av dem har blitt oppgradert i tilknytning til fenittisering som for eksempel på Stjernøy i Finnmark og Ontario i Kanada og Kolahalvøya i Russland.

## Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

Nefelinsyenitter opptrer i larvikittmassivet ved Farrisvannet i Vestfold, mens ijolitter graderende mot urtitter (pyroksen-nefelinitter) finnes i Fensfeltet. Nefelinsyenittene ved Farrisvannet har flere ganger vært vurdert både ut fra ekstrahering av nefelinkonsentrater og i sammenheng med en totalutnyttelse av mineraler og/eller hovedelementer i bergarten. Resultatet har vært negativt grunnet for høyt innhold av Fe i nefelinkonsentratene, samt for høyt totalinnhold av Na og for lavt innhold av P.





Markedet krever stadig høyere renhet av nefelinsyenittkonsentratene noe som forverrer muligheten for utnyttelsen av nefelinsyenittene i larvikittmassivet. Nefelin er et mineral som kan brukes i modifiserte mineralprodukter blant annet syntetiske zeolitter, en mineral gruppe med mange anvendelser. En skal derfor ikke ser bort i fra på en langsiktig perspektiv kan finnes områder der en utnyttelse av nefelin fra regionen kan være interessant.

## Vurderinger

Det finnes to geotoper med nefelinsyenitter i regionen, men essensielle data over bergartenes sammensetning av nefelin mangler i stor grad for å kunne foreta en fornuftig evaluering av ressurspotensialet. I denne sammenheng bør fokus også være rettet mot eventuelle biprodukter som aluminium, apatitt etc.

En hypotetisk utnyttelse av nefelinsyenitten i området er kun aktuell dersom man finner bruksområder eller oppredningsmuligheter som svarer til de egenskapene nefelinsyenittene i området har.

Fensfeltet er pr i dag (2009) uaktuell som nefelinprodusent på grunn av beliggenhet (for langt fra havn) og størrelse, og er kjemisk sett uegnet til dagens bruk på grunn av for høyt innhold av jern.

Nefelinforekomstene i lardalitt og foyaitt i Lågen-området, samt ved Langesund, og feltspatforekomstene i Oslo-feltet er også uegnet for dagens formål både på grunn av kjemi (nefelinen er for rik på jern), beliggenhet og at det finnes så store forekomster med feltspat og nefelin i andre steder. Skulle derimot ny prosess teknologi og nye anvendelsesområder gjøre disse forekomstene interessante økonomisk sett må også eventuelle logistiske utfordringer på plass slik at man får et salgbart produkt til en overkommelig pris. Skal man se på en eventuell totalutnyttelse av bergartene inneholder de andre potensielle verdielementer:

Foyaitt: nefelin og feltspat

Lardalitt: nefelin, biotitt, apatitt, zirkon og badeleyitt

Nefelin og feltspat har per i dag overlappende bruksområder, og brukes blant annet i glassindustri. Biotitt og apatitt kan være aktuelle i steinmel som naturlig mineralgjødsel. Zirkon og badeleyitt er potensielle kilder for zirkonium.

## **Pyrofylitt**

Pyrofylitt er et aluminium-rikt sjiktsilikat med en struktur som kan ligne talk. Det er kjemisk inert, har et høyt smeltepunkt, gode isoleringsegenskaper og lav elektrisk ledningsevne

## **Forekomstgeotoper**

Pyrofylittforekomster opptrer i tilknytning til sterkt leiromvandlete sure vulkanitter og subvulkanske granittiske intrusjoner. Omvandlingen er utviklet i sammenheng med sirkulasjon av hydrotermale løsninger i områder med sub-aeriske vulkansentere og kalderaer. I enkelte tilfeller finnes det også stratabundne regionalmetamorfe forekomster i tilknytning til lav-metamorfe omvandling av kaolin i sericittskifere.

## **Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes ingen registrerte forekomster av pyrofylitt i regionen. Men flere av kalderaene i Oslofeltet, bl.a. Ramnes-, Drammen- og Glitrevann-kalderaen har sterk leiromvandling som kan føre pyrofylitt. Dette har aldri blitt sjekket.

## **Vurderinger**

Inntil man har skaffet til veie data er det ikke mulig å evaluere pyrofyllittpotensialet i Buskerud, Telemark og Vestfold.

## **Sillimanitt-mineraler og aluminiumssilikater**

Sillimanitt-mineraler som omfatter kyanitt, andalusitt og sillimanitt brytes for anvendelse som ildfast materiale, spesielt i smelteovner for fremstilling av jern og stål. Industrien bruker i dag hovedsakelig andalusitt.

Verdensproduksjonen av sillimanittmineraler i 2006 var ca 420 000 tonn, og USGS har anslått verdensproduksjonen i 2008 til 400 000 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var:

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Sør-Afrika (andalusitt)	56 %	55 %	55 %
USA (kyanitt)	21 %	22 %	22 %
Frankrike (andalusitt)	15 %	16 %	16 %

## **Forekomstgeotoper**

Andalusitt, som er det viktigste mineralet, utvinnes fra grove porfyroblaster i kontaktmetamorfe leirskifre. Kyanitt og sillimanitt-forekomster opptrer i tilknytning til Al-rike kvartsitter som representerer regional-metamorft omvandlete kaolin-kvarts-sedimenter dannet ved erosjon av sterkt leiromvandlete sure vulkanitter i tilknytning til sub-aeriske vulkansentre med fumaroler og varme kilder.

Kyanitt eller sillimanitt i vanlige glimmerskifre/gneiser hvor de ofte er anriktet i kvartssegregasjoner, er ubrukelig som råstoff. Dette skyldes høyt innhold av mikroinneslutninger av biotitt og andre mineraler, samt en intim sammenvoksning med disse. Dette skaper oppredningsmessige problemer og det er vanskelig å fremstille rene konsentrater med nødvendig høy gjenvinningsprosent.

## **Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det er registrert en svært liten forekomst av kyanitt ved Dobbe sør for Kragerø. Dessuten er det beskrevet kvarts-sillimanitt kropper-fra Bamble. Andalusitt-porfyroblaster (chiastolitt) opptrer i kontaktmetamorfe alunskifre i det meste av Oslofeltet, bl.a. langs kontakten av ekerittmassivet på sørsiden av Eikeren.

Det er finnes flere registreringer av sillimanitt i Bamble-regionen.

## **Vurderinger**

Det er ikke mulig å gi sikre Vurderinger om ressurspotensialet for sillimanitt-mineralene på grunn av et for dårlig datagrunnlag.

Områdene er prospektive for sillimanitt og aluminiumssilikater, og det er særlig Bamble-området som kan være aktuelt.

## **Wollastonitt**

Wollastonitt er et kalsiumsilikat og brukes hovedsakelig som tilsetningsstoff i plast, keramikk, innen metallurgi, maling, i friksjonsprodukter og som substitutt for asbest.

## **Forekomstgeotoper**

Wollastonitt utvinnes fra forekomster utviklet i regional- eller kontaktmetamorfe enheter av kvartsitter i veksling med urene kalksteiner. Disse bergartene har rekrystallisert i tilknytning til gjennomstrømning av hydrotermale løsninger derivert fra granittmagma eller dehydrerte sedimentære bergarter. Kontaktforkomstene består ofte av grovkrystallin wollastonitt i blanding med underordnede mengder av andre mineraler (kalkspat, granat og pyroksen). Regionalmetamorfe (amfibolitt facies) forekomster består ofte av mer finkornet wollastonitt. I tillegg utvinnes wollastonitt fra forekomster i karbonatitter og alkaline ultramafiske bergarter som et resultat av sene karbotermal løsninger avgitt under krystallisering av intrusjonene i karbonatitt-komplekset.

## **Forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes ingen større, registrerte forekomster av wollastonitt i regionen.

Kontakt-metamorf dannelse av underordnede mengder wollastonitt er vanlig i kalksteiner langs kontakten av Oslofeltets intrusjoner. Noen små forekomster av Mn-wollastonitt, bustamitt, kvarts og sinkblende finnes på kontakten av ekerittmassivet sør for Drammen (Andorsrud) og langs vestkontakten av Drammensgranitten (Rien). Dessuten representerer karbonatittene i Fensfeltet en potensiell geotop.

## **Vurderinger**

Datagrunnlaget for en evaluering av wollastonitt-potensialet i Buskerud, Telemark og Vestfold er for svakt til å gjennomføres.

## Referanser

Mineralstatistikk for produksjonsdata og bruksområder er hentet fra USGS sin mineralstatistikk: <http://minerals.usgs.gov/minerals/>

Harstad, O. A. 2006: Dissolution, Growth and Recrystallisation of Calcite and Limestone: Effects on impurities. Doktoravhandling, UiO.

Hysingjord, J. og Thorkildsen, C.D. 1971: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet. Nor. geol. unders. rapport 1104, 62 s + 2 bilag.

Hysingjord, J. 1973: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet III. Nor. geol. unders. rapport 1248, 11 s + bilag.

Hysingjord, J. 1974: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet IV. Nor. geol. unders. rapport 1249, 8 s + bilag.

Håbrekke, H. 1982: Magnetiske-, elektromagnetiske-, VLF- og radiometriske målinger fra helikopter over et område vest for Tønsberg, Vestfold og Telemark fylker. Nor. geol. unders. rapport 1835, 13 s + 10 bilag.

Ihlen, P.M. 1983: Geologiske og petrokjemiske resultater fra diamantboring på Sæteråsen niob-forekomst. Nor. geol. unders. rapport 1800/76B, 16 s + 11 bilag.

Ihlen, P.M., Raaness, A. M., Korneliussen, A. og Meyer, G. 2006: Rekognoserende undersøkelser av et utvalg potensielle mineralressurser i Fritzøe Skoger. NGU rapport 2006.030, 19 s.

Larsen, B. T og Olaussen, S. 2005: The Oslo Region. A study in classical palaeozoic geology. Field guide to NGF's centennial field trip 16-18<sup>th</sup> May 2005. ISBN 82-993198-3-8, Norsk Geologisk Forening.

Lindberg, P. A. (1985). Fe-Ti-P mineralizations in the Larvikite - Lardalite complex, Oslo Rift. NGU Bulletin No.402, s 93-98

Korneliussen, A. og Raaness, A. M. 2006: Oppfølgende undersøkelser av zirkon i Fritzøe Skoger. NGU rapport 2006.091

Nyland B. & Teigland J. 1984: En sedimentologisk og geokjemisk undersøkelse av de kambriske og underordoviciske marine sedimenter i Oslofeltet. Hovedfagsoppgave i geologi Universitetet i Oslo.

Eldjarn, Knut (1978): Fenakitt i Norge. Stein.  
<http://www.nags.net/Stein/1978/Fenakitt%20i%20Norge.pdf>

Eldjarn, Knut (1980): Barytt i Norge. Stein.  
<http://www.nags.net/Stein/1980/Barytt-Norge.pdf>

Store Norske Leksikon (2009): <http://www.snl.no/beryllium>

USGS Commodity statistics and information (2009)  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>

## Vedlegg 2: Metalliske elementer

Vedlegg 2: Metalliske elementer .....	1
Oppsummering.....	2
Aluminium (Al) .....	4
Antimon (Sb) .....	5
Arsen (As).....	6
Beryllium (Be) .....	8
Bly (Pb).....	9
Cesium (Cs) .....	11
Gallium (Ga).....	12
Germanium (Ge) .....	13
Gull (Au).....	14
Hafnium (Hf) .....	16
Indium (In).....	17
Jern (Fe) .....	18
Kadmium (Cd).....	20
Kobber (Cu) .....	21
Kobolt (Co).....	23
Krom (Cr).....	25
Kvikksølv (Hg) .....	26
Litium (Li) .....	27
Magnesium (Mg) .....	28
Mangan (Mn) .....	29
Molybden (Mo).....	30
Nikkel (Ni) .....	31
Niobium (Nb).....	32
Platina-gruppe-metaller (PGM) .....	33
Rhenium (Re).....	35
Rubidium (Rb) .....	36
Scandium (Sc).....	37
Selen (Se) .....	38
Silisium (Si) .....	39
Sink (Zn) .....	40
Sjeldne jordartsmetaller (REE) .....	42
Strontium (Sr) .....	43
Svovel (S).....	44
Sølv (Ag).....	45
Tantal (Ta) .....	47
Tellur (Te).....	48
Thallium (Tl).....	49
Thorium (Th) .....	50
Tinn (Sn) .....	51
Titan (Ti).....	52
Uran (U).....	54
Vanadium (V) .....	56
Vismut (Bi) .....	57
Wolfram (W).....	58
Yttrium (Y) .....	59
Referanser .....	60





## Oppsummering

Totalt er 46 metaller og halvmetaller i det periodiske system systematisk gjennomgått. Formålet har vært å definere de viktigste typene av geologiske og geotektoniske miljø, samt bergartsassosiasjoner disse opptrer i (geotoper). De viktigste kildene for utvinning av metaller som ikke danner egne forekomster er også inkludert.

De mest interessante metalltypene og –geotopene for videre undersøkelser ser ut til å være følgende:

- niobium i Fensfeltet
- gull, sølv, jern i form av massive jernmalmer, kobber
- kobolt-kobber-arsen-forekomster i Modum-feltet
- nikkel-kobber-forekomster
- sink-kobber (vulcex) i Kongsberg og Holleia-Sokndal-området
- molybden i Oslo-feltet og Telemark
- sjeldne jordartselementer og yttrium
- sjeldne metaller i pegmatitter

Elementer som kan forventes å ha en etterspørsel og kan være interessante for videre prospektering i Buskerud, Telemark og Vestfold:

- Kobolt (Co)
- Molybden (Mo)
- Platinagruppens metaller (PGM)
- Silisium (Si) i form av hydrotermal kvarts
- Sink (Zn) i form av Cu-Zn-vulcex-malmer og traktytter.
- Sjeldne jordartsmetaller (REE) og yttrium (Y)
- Energimetallene thorium (Th) og uran (U) trenger sterkere datagrunnlag
- Vanadium (V) i prekambriske jern-titan-forekomster.
- Zirkonium (Zr)

Elementer som kan vurderes som biprodukter i forbindelse med annen produksjon er

- Aluminium (Al) i forbindelse med prosessering av nefelinsyenitt og larvikitt
- Arsen (As) i forbindelse med kobolt (Co) eller kobber (Cu) i Modum-området
- Bly (Pb) i forbindelse med regionens kobber-sink-forekomster.
- Sølv (Ag) som biprodukt av VMS-forekomster

Metalliske elementer som kan evalueres i forbindelse med andre potensielle verdielementer omfatter:

- Beryllium (Be), men kan evalueres i forbindelse med pegmatittiske forekomster av Cs, Ta og/eller Sn. Beryllium i topas-rhyolitter i Rjukan-gruppen kan også være en mulig geotop.
- Cesium (Cs), litium (Li), rubidium (Rb) i forbindelse med pegmatittene (se industrimineraler) i Tørdal-Nissedal-området.
  - o Rubidium (Rb) i sammenheng med eventuelt potensielle tantal-tinn-cesium-pegmatitter i Tørdal-området.
  - o Tantal (Ta) i forbindelse med niob (Nb) og pegmatittene i Tørdal- og omkringliggende områder.
  - o Tinn (Sn) i forbindelse med en samlet vurdering av regionens Ta-Cs-Sn-Li-Rb potensial.
  - o Wolfram (W) kan undersøkes i forbindelse med pegmatitter og granitter i Nissedal-Tørdal-området.

- Gallium (Ga) kan ses på i sammenheng med industriell bruk av nefelinsyenitter (se industrimineraler).
- Germanium (Ge), indium (In), selen (Se) i forbindelse med eventuelt potensielle sulfidforekomster
- Hafnium (Hf) i forbindelse med zirkoniummineraler
- Kadmium (Cd) kan vurderes i sammenheng med potensielle vulcex-type kobber-sink-malmer i regionen.
- Kvikksølv (Hg) i forbindelse med potensielle forekomster av kobber, sink, bly og/eller gull.
- Rhenium (Re) i sammenheng med molybden.
- Scandium (Sc) kan vurderes i sammenheng med pegmatitter, rutil, sjeldne jordartselementer (REE), columbitt, chevikinitt og cassiteritt og klinopyroksener i Oslofeltet.
- Strontium (Sr) kan evalueres i sammenheng med Fensfeltet
- Thallium (Tl) i forbindelse med kobber- og sinkforekomster.
- Titan (Ti) kan vurderes som ledd i en vurdering av en totalutnyttelse av bergartene ved Ødegården (rutil) og sammen V-potensialet i titanomagnetittene i Kodal
- Vismut (Bi) i forbindelse med andre metalliske råstoff, som gull og/eller wolfram.
- Yttrium i forbindelse med REE

Elementer som mangler de rette geotoper eller på andre måter anses som uinteressante for de tre fylkene er:

- Antimon (Sb) mangler geotoper
- Krom (Cr)
- Magnesium (Mg), ingen dolomittiske karbonatsekvenser i området.
- Mangan (Mn), mangler geotoper for stratabundne Mn-malmer.
- Svovel (S)
- Tellur (Te)

## **Aluminium (Al)**

Metallisk aluminium, brukes i lettmetall-legeringer til mange formål, som for eksempel aluminiumsfolie, bokser og elektriske ledninger.

Verdensproduksjonen av metallisk aluminium i 2006 var 33 100 000 tonn og ble estimert av USGS til å være 39 700 000 tonn for 2008. De tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 1 Verdens største produsenter av aluminium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel 2008</u>
Kina	26 %	33%	34 %
Russland	11 %	10%	11%
Kanada	9 %	8 %	8%

## **Forekomstgeotoper**

Aluminium-rike bergarter som omfatter forskjellige typer av bauxitter, Al-rike lateritter, anortositter, nefelinsyenitter og kaolin-leirer.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Nefelinsyenitter i Larvikittmassivet og ijolitter-urtitter (pyroksen-nefelinitter) i Fensfeltet kan ha tilstrekkelig Al-innhold (>20 %  $Al_2O_3$ ) til at det kan utnyttes ved uttak av andre verdimineraler.

Det finnes stedvis i Oslofeltet små kaolinforekomster knyttet til forkastningssoner med hydrotermal omvandling og dypforvitring. Disse er generelt for små til å ha noen som helst betydning som Al-kilde.

Store massiver av anortositter er ikke kjent, selv om det opptrer plagioklas-rike troktolitter, bl.a. i Bamble-området.

## **Vurderinger**

Det finnes ingen klare potensialer for rene aluminiumforekomster, men det kan være aktuelt som et biprodukt for eksempel i forbindelse med en utnyttelse av nefelinsyenitter.

Biprodukt av aluminium-forbindelser kan eventuelt vurderes i sammenheng med andre typer av mineralressurser, hvis slike finnes.

Potensialet for Al bør derfor videre evalueres i forbindelse med potensielle forekomster av nefelinsyenitter.

## Antimon (Sb)

Antimon brukes innen halvlederindustri og som legeringsmetall med bly i batterier. Verdensproduksjonen av antimon i 2006 var 131 000 tonn og ble estimert av USGS til å være 165 000 tonn for 2008. De tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 2 Verdens største produsenter av antimon**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	84 %	88%	91 %
Bolivia	4 %	3 %	2 %
Sør-Afrika	4 %	3 %	2 %

## Forekomstgeotoper

Antimon utvinnes hovedsakelig som biprodukt ved metallurgisk raffinering av Cu-Zn-Pb-sulfidkonsentrater.

Forekomster som bare drives for deres innhold av Sb har liten utbredelse og omfatter hovedsakelig gangforekomster og fortrenningsmalmer av antimonglans/stibnitt ( $Sb_2S_3$ ). Disse opptrer i tilknytning til epitermale systemer rundt sub-aeriske vulkansentre i øybuer og i de øvre deler av dype forkastningssystemer i fjellkjeder.

Alle kjente Sb-dominerte forekomster er utviklet i øvre del av jordskorpen (<5 km dyp). Disse omfatter også en rekke malmer av Ta, Au, Ag, Sn, W, PGM og Hg, hvor Sb fremstilles som biprodukt i form av Sb-mineralkonsentrater eller forskjellige typer av metallurgiske produkter knyttet til raffinering av hovedmetallene i malmen, f.eks. stibiotantalitt raffineres til Ta-slagg og metallisk antimon.

## Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

Det er ikke kjent noen Sb-rike sulfidforekomster i regionen, selv om det sikkert finnes aksessoriske mengder av Sb i noen av Cu- og/eller Pb-forekomstene i Telemark og i Oslofeltet. I en veiskjæring i Åmotsdal er det påvist 0,6 % Sb og 1 ppm gull i kobberførende, kvartsfylte sprekker i en kvartsittisk bergart.

## Vurderinger

Grunnet den manglende opptreden av Sb, bør det ikke gjennomføres ytterligere detaljerte studier.

## Arsen (As)

Arsen brukes i insektmidler, til trykkimpregnering og i halvledere med gallium (galliumarsenid). Verdensproduksjonen av arsen ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) i 2006 var 59 200 tonn og ble estimert av USGS til å være 53 500 tonn for 2008. De tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 3 Verdens største produsenter av arsen**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel 2008</u>
Kina	51 %	45 %	47 %
Chile	19 %	20 %	21 %
Marokko	12 %	16 %	13 %

## Forekomstgeotoper

Arsen finnes i form av arsenopyritt ( $\text{FeAsS}$ ), orpiment/auripigment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), realgar ( $\text{As}_4\text{S}_4$ , tidligere kjent som  $\text{AsS}$ ), løllingitt ( $\text{FeAs}_2$ ) og koboltarsenider.

Arsen produseres hovedsakelig fra sulfidkonsentrater av orpiment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) og realgar ( $\text{AsS}$ ) som utgjør biprodukt ved oppredning av As-rike epitermal Au-malmer i tilknytning til sub-aeriske vulkansentre og Hg-malmer. Arsen fremstilles også ved metallurgisk behandling av metallrike arsenkiskonsentrater med f.eks. gull. Malmer som bare drives for deres innhold av arsenkis eller Fe-, Co- og/eller Ni-arsenider er sjeldne. Disse opptrer som gangforekomster og fortregningsmalmer langs sprø og duktile forkastningssoner i midtre og øvre skorpe (<15 km) i fjellkjeder og i de undre deler av epitermale systemer i forbindelse med sub-aeriske vulkansentre.

## Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

Svak disseminasjon av arsenkis finnes langs noen av de permiske syenittgangene i de siluriske sekvensene langs kontakten av ekeritt-massivet sør for Drammen. Dessuten er Co-(Ni)-arsenider vanlige mineraler i sølvgangene i Kongsbergområdet. Spredte korn av arsenkis finnes i noen av nefelinsyenittgangene i Langesundområdet og alunskiferen i Oslofeltet.

De største mengdene av arsen er knyttet til prekambriske forekomster i Telemark og Buskerud. Den eneste rene arsenforekomst finnes ved Listauli i Telemark hvor arsenkis opptrer som disseminasjon, årer og massive bånd i foldet kvartsitt og felsisk metavulkanitt sammen med amfibolitt. Representative prøver av malmen inneholder 8-13 % As, men forekomsten har svært begrenset volum.

Arsenkis finnes også som aksessorisk bestanddel i mange av de epigenetiske Cu-malmene i sentrale Telemark, i Bamble og i Numedalen. Fahlbånd i Kongsbergfeltet fører stedvis impregnasjon og årer av arsenkis, dels også i båndete jernmalmer som ved Liverud. Den største mengden av arsen finnes uten tvil langs fahlbåndene som opptrer i forbindelse med koboltgruvene i Modum-området hvor Blåfargeverket hentet sitt råstoff. Fahlbåndene og omkringliggende sillimanittkvartsitter fører svak disseminasjon av arsenkis, glaukodot og flere typer arsenider. Hovedmalmen omfatter massive slirer og bånd av koboltglans ( $\text{CoAsS}$ ), glaukodot ( $(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$ ), speiskobolt ( $\text{CoAs}_2$ ) og skutteruditt ( $\text{CoAs}_3$ ) i diopsidskarn (omvandlet dolomitt). Mange av de

prekambriske arsenmineraliseringene inneholder i partier forhøyete konsentrasjoner av gull på opptil et par gram per tonn.

### **Vurderinger**

Ingen av de kjente forekomstene kan drives bare på grunnlag av As-innholdet.

Siden arsen kan representere et biprodukt ved raffinering av Co-malmer, bør det behandles i forbindelse med Co-Cu-malmene i Modum-området, som i seg er et område man vet lite om genetisk sett.

Arsen kan også være et indikatorelement i forbindelse med andre typer elementer som for eksempel gull.

## **Beryllium (Be)**

Beryllium brukes i legeringer med kobber, som gir gode ledende egenskaper, styrke og hardhet, og i raketter og romindustri. Verdensproduksjonen av beryllium i 2006 var 127 tonn, og de tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 4 Verdens største produsenter av beryllium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>
USA	79 %	84 %
Kina	16 %	11 %
Mosambik	5 %	3 %

## **Forekomstgeotoper**

Beryllium utvinnes hovedsakelig ved prosessering av bertranditt ( $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$ ) og små mengder beryll ( $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ), men finnes også i fenakitt ( $\text{Be}_2\text{SiO}_4$ ) som blant annet er kjent fra Høgtuva i Nordland.

Den viktigste typen av Be-forekomster omfatter ekstremt finkornet disseminasjon av bertranditt og andre typer av hydrerte Be-forbindelser i leiromvandlede tuffer i sekvenser av sub-aeriske rhyolitter og ignimbriter. De sure vulkanittene er sterkt peraluminøse og klassifiseres kjemisk som topas-rhyolitter eller S-type rhyolitter. Beryll utvinnes fra peraluminøse granittiske pegmatitter.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Beryllførende pegmatitter finnes det mange av i Bamble-området ved Kragerø og i Tørdal-området. Tangen-bruddet ved Kragerø er en av de mest berømte fenakittforekomstene i Norge.

NGU har tidligere vurdert mulighetene for opptreden av topas-rhyolitter med assosierte hydrotermale omvandlingssystemer blant Rjukan-gruppens sure vulkanitter. Bekkesedimentgeokjemi ble forsøkt i området sørover fra Rjukan til Flatdal, men ingen klare anomaliområder kunne påvises. Det har senere blitt påvist topas-rhyolitter i Rjukan-gruppens bergarter, som kan være en mulig geotop i området.

## **Vurderinger**

Beryllium bør ikke vurderes alene da det ikke finnes tegn til store og/eller rike forekomster i regionen, men kan eventuelt evalueres i forbindelse med pegmatittiske forekomster av Cs, Ta og/eller Sn. Totalinnholdet av Be i en beryllførende pegmatitt er vanligvis svært lavt og overstiger sjeldent 100 ppm Be.

Avtakende bruk av beryllium som følge av sterke allergifremkallende egenskaper vil trolig føre til minimalt økning i forbruk i den vestlige verden.

## **Bly (Pb)**

Bly brukes til beskyttelse mot stråling, i batterier, farge i keramikk og glassindustri. Verdensproduksjonen av bly i 2006 var 3 360 000 tonn og ble estimert av USGS til å være 3 800 000 tonn for 2008. De tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 5 Verdens største produsenter av bly**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	31 %	41 %	41 %
Australia	23 %	17 %	15 %
USA	13 %	12 %	12 %

## **Forekomstgeotoper**

Bly utvinnes hovedsakelig fra blyglans (PbS) som opptrer i en rekke forskjellige typer av sulfid-malmer. Disse omfatter hovedsakelig:

- 1) submarine sedex-malmer (Zn-Pb-Cu-Ba-Sn) i forkastningsbetingete sedimentære bassenger langs passive platekanter,
- 2) Mississippi Valley-type Pb-Zn-malmer i karbonatsekvenser langs erosjonsdiskordanser eller diskonformiteter,
- 3) submarine vulcex-malmer (Kuroko-type-malmer, Cu-Zn-Pb-Ag-Au) i tilknytning til kalkalkaline vulkanittsekvenser med sure vulkanitter,
- 4) Zn-Pb skarnforekomster i kontaktsonen av granittplutoner og
- 5) Pb-sandsteinsforekomster langs kanten av orogene belter.

I tillegg finnes det forskjellige typer av gangforekomster med blyglans som er av underordnet betydning. Bare stedvis utvinnes blyglans fra slike forekomster, gjerne som biprodukt i forbindelse med prosessering av Ag-malmer.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Blyglans opptrer i underordnete og aksessoriske mengder i en rekke av Oslofeltets kontaktforekomster sammen med sinkblende, kopperkis, vismutglans og/eller Pb-Bi-sulfosalter. I denne sammenheng bør spesielt forekomstene på Konnerudkollen og langs nordgrensen av ekerittmassivet nevnes. Blyglans finnes også langs permiske kvartsganger som opptrer i de prekambriske gneisene rundt Oslofeltet. Gangene fører lokalt rike ansamlinger av Zn-, Cu-, og Pb-sulfider som har vært forsøkt drevet spesielt i Tråk-området og i Kongsbergfeltet.

Prekambriske Zn-Pb-Cu-malmer finnes stedvis i sentrale Telemark, bl.a. nord for Bandak. Et eksempel på dette er Skolteberg som er en mindre Zn-Pb-forekomst med anrikning av W og Au i amfibolitt. Men blyglans i prekambriske bergarter omfatter hovedsakelig aksessoriske mengder som opptrer i Telemarkområdets Cu-malmer og i vulcex-type Cu-Zn-malmer i Kongsbergfeltet.

## **Vurderinger**

Det finnes ikke noen klare geotoper for opptreden av Pb-rike malmer. Både de prekambriske og permiske sulfidforekomstene har generelt lavt innhold av blyglans og ingen av dem har dimensjoner som tilsier at blyglans kan utvinnes som biprodukt.



Det bør ikke gjennomføres nærmere detaljerte studier av rene blyråstoffer i regionen, men bly som biprodukt kan vurderes i sammenheng med regionens Cu-Zn-forekomster.

## **Cesium (Cs)**

Cesium brukes i cesiumformat (borevæske for oljeindustrien), i atomur, fotoelektriske celler og som radioaktiv isotop til kreftbehandling.

Verdensproduksjonen av cesium i 2006 var 20 tonn, og Kanada var enerådende på markedet i 2006. Cesium-ressurser er også påvist i Namibia og Zimbabwe.

## **Forekomstgeotoper**

Cesium utvinnes fra mineralet pollucitt ( $\text{CsAlSi}_2\text{O}_6 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) som opptrer i sterkt fraksjonerte Li-pegmatitter med spodumen ( $\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$ ) og/eller lepidolitt ( $\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Al,Si})_3\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$ ). Spodumen og lepidolitt opptrer gjerne i pegmatittfelt med sjeldne-metall- (rare-metal) pegmatitter i sidesteinen til S-type-leukokratiske granittplutoner. Disse pegmatittfeltene er gjerne sonerte med Be-pegmatitter nærmest kontakten, Li-Ta-Nb-pegmatitter lengre ut og Li-Ta-Cs-pegmatitter lengst ut (opptil 5 km fra kontakten). Mengden av cleavelanditt (albit) i pegmatittene øker med fraksjoneringsgraden.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Ingen forekomster av pollucitt er kjent i Norge. Dette skyldes sannsynligvis at pollucitt er vanskelig å identifisere i felt da mineralet har utseende som en krysning mellom lys grå kvarts og lys grålig perthittisk alkalifeltspat. Det eneste klart potensielle området for opptreden av pollucitt vil være Li-pegmatittene i Tørdal området, hvor det opptrer Cs-rike mineraler (bl.a. Cs-Sc-rik beryll: Cs-bazzit) og.

## **Vurderinger**

Cesium bør vurderes i forbindelse med pegmatittene i Tørdal-Nissedal området.

## **Gallium (Ga)**

Gallium brukes i halvledere i form av galliumarsenid, i laserdioder og lysdioder. Verdensproduksjonen av gallium i 2006 var 69 tonn, og de fire største produsentlandene på verdensbasis er Kina, Tyskland, Japan og Ukraina, og i 2007 var det Kina, Tyskland, Kazakhstan og Ukraina som toppet tronen. Raffinert gallium er anslått av USGS å være om lag 135 tonn for 2007, om man inkluderer gjenvinning fra skrapmetall.

## **Forekomstgeotoper**

Gallium, som er et viktig metall i halvledere som GaAs, utvinnes hovedsakelig i forbindelse med hydrometallurgisk behandling av nefelinkonsentrater (Russland, Ukraina) og forasket steinkull (Kina). Ga i sinkblendekonsentrater og bauxitter utnyttes også i enkelte tilfeller. To mineraler, henholdsvis soehngeite ( $\text{Ga}(\text{OH})_3$ ) og gallitt ( $\text{CuGaS}_2$ ) er hittil påvist.

Ga har mange atomære likhetstrekk med Al, Ge, Fe og Zn og substituerer for disse i aluminiumsilikater, germanater og sulfider. De fleste aluminiumsilikatbergarter inneholder <30 ppm Ga. Anrikninger av Ga finnes spesielt i tilknytning til nefelinsyenitter (20-100 ppm Ga), steinkull (100-1000 ppm Ga) og lav-temperaturhydrotermale sinkblendemalmer (noen tusen ppm), og muskovitt/lepidolitt i sterkt fraksjonerte Li-Cs-pegmatitter, samt i bauxitter (opptil flere hundre ppm Ga).

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes ingen kjente forekomster i regionen med spesiell anrikning av Ga. Dette skyldes mest sannsynlig at det aldri har vært gjennomført noen systematiske undersøkelser av dette grunnstoffet.

## **Vurderinger**

Ga bør ikke vurderes alene, men i sammenheng med mer detaljert gjennomgang av potensielle forekomster av nefelinsyenitter for anvendelse til andre formål.

## **Germanium (Ge)**

Germanium brukes i halvledere (silisium-germanid), infrarøde prizmer og kameraer, vidvinkel-kameralinser, reflektorer i prosjektører og til tannbehandling.

Verdensproduksjonen av germanium i 2006 var 100 tonn , hvorav USA hadde 4,6% og ble estimert av USGS til å være 150 tonn for 2008..

### **Forekomstgeotoper**

Germanium utvinnes hovedsakelig ved metallurgisk behandling av sulfidmalmer med Zn, Pb-Zn-Cu og Cu-Co. I tillegg fremstilles noe Ge fra forasket steinkull. 35% av verdensforbruket kommer fra gjenvinning.

Sulfidmineraler, spesielt sinkblende, er anriket på Ge. Den sterkeste anrikningen finnes i lav-temperatur-sulfidmalmer rike på bornitt, enargitt, luzonitt og/eller sinkblende som vanligvis inneholder noen hundre ppm Ge.

Ge<sup>4+</sup> inngår som substitusjon for Si<sup>4+</sup> i de fleste silikater, men Ge-innholdet i de fleste silikatbergarter overstiger sjelden noen ppm. Hydrotermal topas (greisen) og granat (skarn) kan inneholde flere hundre ppm Ge. Det finnes enkelte hydrotermal-Cu-Zn-As-sulfidforekomster hvor det dannes egne Ge-mineraler som argyroditt (Ag<sub>8</sub>GeS<sub>6</sub>), germanitt (Cu<sub>3</sub>(Ge,Fe)S<sub>4</sub>), reineritt ((Ge,Cu,Fe,Zn)S og briartitt (Cu<sub>2</sub>FeGeS<sub>4</sub>), men slike forekomster er meget sjeldne.

### **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes ingen kjente forekomster i regionen med spesiell anrikning av Ge. Dette skyldes mest sannsynlig at det aldri har vært gjennomført noen systematiske undersøkelser av dette grunnstoffet.

### **Vurderinger**

Ge bør ikke vurderes alene, men kun i sammenheng med eventuelt potensielle sulfidforekomster.

## **Gull (Au)**

Gull brukes i elektronikk, smykkeindustri, tannbehandling og i mynter. Verdensproduksjonen av gull i 2006 var 2 500 tonn og ble estimert av USGS til å være 2 330 tonn for 2008. De tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 6 Verdens største produsenter av gull**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	10 %	12 %	13 %
Sør-Afrika	11 %	11 %	11 %
USA	10 %	10%	10 %
Australia	10 %	10%	10 %

## **Forekomstgeotoper**

De fleste gullmalmer representerer epigenetiske malmer dannet ved hydrotermale prosesser. Noe gull fremstilles også som biprodukt ved metallurgisk behandling av mineralkonsentrater fra ortomagmatiske malmer, slik som Ni-, Cu-, Cr- og/eller PGE-malmer.

Gull opptrer i et spekter av malmer som omfatter rene gullmalmer, samt, granittrelaterte malmer (porfyr-Cu-forekomster, skarn, Olympic Dam Cu-Fe-Au-forekomster), sedimentære malmer (Fe) og vulkanogene kismalmer hvor gullet utvinnes som biprodukt, ofte metallurgisk.

Rene gullmalmer omfatter gruppen av orogene forekomster (orogenic gold; skjærsone- og gangforekomster), granitt-forekomster (Au-Bi), vulkanogene epitermale forekomster (Au-Ag-Te-As), Carlin-type epitermale forekomster (Au-Ag-As-Sb-Tl-Hg-W-Ba) og palaeoplacerforekomster (Au-U-Co, Witwatersrand).

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Bleka-forekomsten i Telemark har vært gjenstand for småskala drift og omfatter en kvarts-ankeritt-gang i albittisert dioritt. Den halvmeter brede gangen fører gull, vismutglans, kobberkis og komplekse sulfider av Pb, Bi og/eller Cu. Det finnes også andre gangforekomster i Telemark som i partier er anriktet på gull (1-10 ppm i enkelte prøver). Dette gjelder spesielt de prekambriske forekomstene av arsenkis, men også enkelte med tellurider. Enkelte permiske arsenkisganger i Kongsberg-området fører også gull. Den stor mengden og tettheten av Cu-forekomster i Telemark Supergruppe viser at området representerer en metallogenetisk Cu-provins.

Opptreden av epigenetiske Fe-P-malmer (Kiruna-type) og hydrotermale omvandlinger med albittisering og skapolittisering i underliggende grunnfjell i Nissedal-området er også interessant, sett i lys av mulighetene for Cu-Fe-Au-REE-U-forekomster (Olympic Dam-type) i regionen.

Interessante gullverdier er også påvist i stratabundne Cu-Zn-kisforekomster i Bamble- og Kongsberg-Modum-distriktene, som for eksempel Rørholt og Haugset, samt i koboltgruvene på Skutterud.

### **Vurderinger**

Mineralpotensialet for gull bør evalueres ytterligere, og så lenge gullprisene forblir høye vil gull alltid være et interessant element.

## **Hafnium (Hf)**

Hafnium brukes i reaktorstaver, vakuumbør og elektronikk. Verdensproduksjonen av gull i 2006 var 50 tonn, og Russland var den største produsenten.

### **Forekomstgeotoper**

Det finnes ingen egne forekomster eller mineraler av hafnium. Hafnium er et element med mange atomære likhetstrekk med Zr, som den substituerer for i Zr-holdige mineraler som magmatisk zirkon og baddeleyitt. Disse mineralene inneholder vanligvis et par % Hf.

Vanlige bergarter inneholder noen ppm Hf. Hf er spesielt anrikt sammen med Zr i over- og undermettete monzonittiske til syenittiske bergarter i alkaline komplekser, hvor totalinnholdet av Hf kan nå flere hundre ppm og flere titalls % i zirkon.

Hafnium utvinnes derfor ved prosessering av zirkonkonsentrater som bl.a. utvinnes fra tungmineralsand i strandavsetninger.

### **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det er finnes så langt ingen kjente zirkonmineraliseringer med ekstremt høyt innhold av Hf.

### **Vurderinger**

Hf bør ikke evalueres alene, men i forbindelse med potensielle områder eller forekomster med zirkon og baddeleyitt.

## **Indium (In)**

Indium brukes i LCD-skjermer, halvledere og lavsmeltetemperaturlegeringer sammen med gallium. Verdensproduksjonen av In i 2006 var 480 tonn og ble estimert av USGS til å være 568 tonn for 2008. De tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 7 Verdens største produsenter av indium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	63 %	57%	58 %
Japan	11 %	11%	11 %
Kanada	10 %	9 %	9 %

## **Forekomstgeotoper**

Indium er et grunnstoff som inngår som substitusjonselement i de fleste sulfider og spesielt i sulfider med tetraedriske metall-svovel bindinger slik som i stannitt, kobberkis og sinkblende. All produksjon og raffinering av In har sitt utspring i anrikete sinkblendekonsentrater med flere tusen ppm In. Også enkelte Sn- og Cu-malmer kan være sterkt anrikt på In.

Indium danner egne mineraler i naturen som omfatter roquésitt ( $\text{CuInS}_2$ ), inditt ( $\text{FeIn}_2\text{S}_4$ ), dzhalinditt ( $\text{In}(\text{OH})_3$ ) og sakuraiitt ( $(\text{Cu,Zn,Fe,Ag})_3\text{InS}_4$ ). Konsentrasjonen av In i vanlige silikatmineraler og bergarter ligger på noen hundre ppb.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes ingen kjente forekomster i regionen utenom Listulli As-forekomst hvor roquésitt ( $\text{CuInS}_2$ ) skal være påvist. Mangelen på forekomster skyldes mest sannsynlig at det aldri har vært gjennomført noen systematiske undersøkelser av dette grunnstoffet.

## **Vurderinger**

In bør ikke vurderes alene, men kun i sammenheng med potensielle sulfidforekomster i regionen.



## Jern (Fe)

Jern brukes hovedsakelig i stålproduksjon. Verdensproduksjonen av jernmalm i 2006 var 1 690 000 000 tonn, og ble estimert av USGS til å være 2 200 000 000 tonn for 2008. De tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 8 Verdens største produsenter av jern**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	31 %	35 %	35 %
Brasil	18 %	18 %	18 %
Australia	16 %	15 %	15 %

## Forekomstgeotoper

Jern er knyttet til forekomster av magnetitt ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) og hematitt ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) og deres supergene omvandlingsprodukter slik som goethitt ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) og andre jern-oksi-hydroksider som er vanlig i supergent anrikete malmer i tropiske områder.

Verdensproduksjonen av jern er knyttet til store forekomster av

- 1) båndete jernformasjoner (BIF),
- 2) hydrotermale gangforekomster av  $\text{Fe}\pm\text{P}$ -malmer (Kiruna) og
- 3) magnetitt skarnmalmer, ofte i forbindelse med porfyr-Cu-forekomster.

## Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

I regionen finnes det permiske forekomster i form av  $\text{Fe}\pm\text{Cu}\pm\text{Bi}$ -malmer i granatskarn langs kontakten av Drammensgranitten og ekerittmassivet. Jernmalmer er også utviklet langs kalksilikatganger i gneisene langs kanten av Oslofeltet ved Skien. Prekambriske metasomatiske ganger med meget høyt innhold av Fe-oksider finnes langs breksjesoner i gabbrokomplekset på Langøya ved Kragerø. Den hydrotermale aktiviteten har ført til dannelsen av skapolitt- og albitt-omvandlete gabbroer som er gjennomvannet av massive årer og ganger av sideritt, ankeritt, albitt, kvarts, magnetitt og/eller hematitt.

Søftestad gruve i Nissedal er av lignende type og ble tidligere drevet på en sterkt deformert og båndet gang av magnetitt, hematitt og apatitt som opptrer i albittomvandlete amfibolitt/hornblende gneiser. Hassel jernverk ved Skotselv hentet sin malm fra mylonittiserte kvartsitter med sterk impregnasjon av Fe-oksider. I dette området er det vanlig med årer, breksjer og omvandlinger som er dominert av albitt. Disse opptrer i kvartsitter og gabbroer. Båndete jernmalmer er bare lokalt utviklet som tynne soner i de vulkanosedimentære enhetene av gneiskompleksene langs Oslofeltet, bl.a. ved Liverud i Kongsberg.

## Vurderinger

Ingen av de kjente Fe-forekomstene har dimensjoner som tilsier at de har noe potensial som råstoffkilde for stålindustrien. Alle forekomster utenom Langøya og Søftestad fører små og generelt fattige malmer, selv om et området ved Kodal p.t. er mutet på jern.

Langøya og Søftestad er relativt store jernmalmer som partivis fører massiv malm som kan ha betydning som varmemagasineringsstein eller anvendelser til andre spesialformål, blant annet til pigment.

## **Kadmium (Cd)**

Kadmium brukes i batterier (Ni-Cd), røde og gule pigmenter, stabilisatorer i plastindustrien og i regulatorstaver i kjernereaktorer.

Verdensproduksjonen i 2006 var 20 900 tonn og ble estimert av USGS til å være 20 800 tonn for 2008. De de største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 9 Verdens største produsenter av kadmium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	22 %	20 %	20 %
Sør-Korea	13 %	17 %	17 %
Japan	11 %	10 %	10 %
Kazakhstan	10 %	10 %	10 %

## **Forekomstgeotoper**

Kadmium substituerer for sink i sulfidmineraler og inngår spesielt i krystallstrukturen til sinkblende. Selv om det finnes egne Cd-mineraler som greenockitt (CdS) så er verdensproduksjonen hovedsakelig knyttet til metallurgisk raffinering av sinkblende-konsentrater, i noen grad også av Cu- og Pb-konsentrater, fra ulike genetiske typer av sulfidforekomster.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Greenockitt skal vissnok være påvist som forvittringsprodukt av skarn sinkblende-malmer i Oslofeltets kontaktforekomster, bl.a. på Konnerudkollen, Glomsrudkollen og i en av Fossum jernverks gruver ved Skien. Norske sinkblendemalmer av forskjellig opprinnelse inneholder generelt <1 % Cd.

## **Vurderinger**

Cd bør ikke vurderes alene, men i sammenheng med potensielle vulcex-type Cu-Zn-malmer i regionen.

## **Kobber (Cu)**

Kobbertråd brukes i elektriske ledere, trykte kretskort og annen elektronikk. Kobber brukes også til taktekking og i legeringer med gull og sølv til smykker, messing og bronse. Verdensproduksjonen i 2006 var 15 300 000 tonn, og ble estimert av USGS til å være 15 700 000 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 10 Verdens største produsenter av kobber**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Chile	35 %	36 %	36 %
USA	8 %	8 %	8 %
Peru	7 %	8 %	8 %

## **Forekomstgeotoper**

Kobber forekommer i Kobberkis ( $\text{CuFeS}_2$ ), Bornitt ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), Chalcositt ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) og Malakitt ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ). Det fremstilles hovedsakelig ved metallurgisk og elektrolyttisk raffinering av Cu-sulfid-konsentrater. Disse utvinnes hovedsakelig fra

- 1) porfyr-type Cu-(Mo)-forekomster i granittiske intrusjoner i øybuer, samt assosierte Cu skarnmalmer langs kontakten av intrusjonene,
- 2) Olympic Dam-type hydrotermale Cu-Fe-Au-REE-forekomster,
- 3) Vulcex-forekomster av Cu-Zn-Pb og
- 4) Cu-skifer-forekomster langs diskonformiteter, noen med høyt innhold av Co, V, U og/eller Ag.

Impregnasjonsmalmer av Cu-sulfider og gedigent kobber i sandsteinsforekomster og basalt-sandsteinssekvenser har etter hvert fått mindre betydning som råstoffkilde. I tillegg finnes det gangforekomster med Cu-sulfider som stedvis er store og rike nok til å bli utnyttet.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det er meget stor tetthet av epigenetiske Cu-sulfid-forekomster i sentrale Telemark. Disse forekomstene, som er av prekambrisk alder, kjennetegnes ved metallskapet Cu-Bi-Ag±Au, som hovedsakelig omfatter sulfider, og i liten grad metaller eller tellurider. Prekambriske vulkanogene forekomster finnes både innenfor Telemark Supergruppe (Sundbarm) og i Kongsberg-området (Bratt gruve) hvor Cu-dominerte sulfidforekomster er utviklet i form av deformerte ekshalasjonssentre (stringer-soner). I tillegg finnes det i Bamble-og Kongsbergområdene flere vulcex-type Cu-Zn-malmer (Rørholt og Grøsli, Eiker kobberverk, Humlebekk). Tilsvarende forekomster finnes også i den nordlige delen av Kongsbergbeltet med Ni-forekomster på Holleia.

Fahlbånd i gneisene omfatter finkornete biotittgneiser og –skifre, dels grafitt-førende med svak disseminasjon av finkornete Fe-sulfider. Forvitring av sulfidene gjør at fahlbåndene fremstår som rustsoner i dagen. Fahlbåndenes opprinnelse er uklar og de kan representere vulkanogene avsetninger, metamorfe svartskifre eller hydrotermale avsetninger langs skjærsoner. Noen av fahlbåndsonene er såpass anriket på Cu-sulfider at de i perioder har vært utnyttet slik som på Kisgruveåsen, i Kongens gruve (Ag) og i Skutterudgruvene på Modum.

Noen små Cu-sandsteinsforekomster finnes i de siluriske sandsteinene ved Sundvollen og i grove vulkanoklastiske sedimenter i lavasekvensen på Krokskogen (Gyrihaugen).

De permiske forekomstene omfatter også kvartsganger med Cu-Zn-Pb mineraliseringer i Tråk og Kongsberg-området, Cu-Fe-Bi-skarnmalmer langs kontakten av Drammensgranitten og gedigent kobber i blærerom og sprekker (dels fylt med kalkspat-prehnitt) i afyriske alkalibasalter ved Holmestrand (B<sub>1</sub>), Skien (B<sub>1</sub>) og Krokskogen (B<sub>2</sub>)

### **Vurderinger**

Selv om alle de kjente forekomstene er små og økonomisk ubetydelige så vitner den store tettheten av epigenetiske Cu-forekomster i sentrale Telemark om stor-skala hydrotermale prosesser som kan gi opphav til store Cu-Au-Fe-forekomster av Olympic Dam-type og bør derfor undersøkes nærmere.

## **Kobolt (Co)**

Kobolt brukes blant annet i

- stål-legeringer (for rustfrihet og styrke), hardmetallegeringer, såkalte superlegeringer (hvor høy temperatur og styrke er viktig, for eksempel i turbinblader),
- magnetiske lagringsmedier og supersterke permanente magneter (som aluminium-nikkel-kobolt (alnico) og samarium-kobolt-magneter) som brukes i elektriske motorer, mikrofoner, høyttalere og sensorer.
- Som katalysator i petrokjemisk industri og galvanisering
- til fargepigment (for eksempel koboltblått)

Verdensproduksjonen i 2006 var 57 500 tonn og ble estimert av USGS til å være 71 800 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 11 Verdens største produsenter av kobolt**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kongo	38 %	39 %	45 %
Zambia	15 %	12 %	11%
Kanada	10 %	13 %	12 %
Australia	10 %	9 %	5 %

Andre viktige produsenter er Kanada, Russland, Polen og Cuba.

Fram til år 1900 fra Norge en av verdens viktigste koboltprodusenter. Råstoffet gikk da til pigmentframstilling (Modum Blaafarveværk).

## **Forekomstgeotoper**

Kobolt fremstilles hovedsakelig som biprodukt ved metallurgisk og elektrolyttisk raffinering av Ni-sulfid-konsentrater og er derfor et viktig verdielement i de fleste Ni-malmer. Co er også være anriket i svovelkis som opptrer i forbindelse med de stratabundne malmene i kobberskiferbeltet i Zambia. Dessuten substituerer Co for Fe i arsenkis (FeAsS) og noe utvinnes ved metallurgisk behandling av Au-arsenkiskonsentrater. De viktigste koboltmineralene er kobaltitt (CoAsS) og glaukodot ((Co,Fe)AsS).

Verdens kobolt-reserver er anslått til  $\approx 7$  mill. tonn, mens de potensielle ressursene, inklusive de kjente reservene, er i størrelsesorden 13 mill. tonn. Med et forbruk som i dag på ca. 58 000 tonn pr. år så er verdens reserver nok til 120 års forbruk. Det meste av ressursene finnes sammen med nikkel i lateritter, i ortomagmatiske Ni-Cu forekomster og i de sedimentære kobberforekomstene i de Zambiske kobberbeltet. En ukjent ressurs er knyttet til mangan-nodulene på havbunnen.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Som nevnt tidligere fører alle arsenkisforekomster i regionen anrikninger av Co i form av glaucodot-molekyler (CoAsS) i arsenkisens atomgitter. I tillegg fører regionens Ni-Cu-malmer forhøyet innhold av Co.

De eneste rene Co-forekomstene opptrer i tilknytning til turmalin-rike fahlbånd i Modum-området sillimanittkvartsitter hvor arsenkis, koboltglans og en rekke Co-arsenider (saffloritt, speiskobolt, skutteruditt) opptrer i form av disseminasjon langs fahlbåndene og umiddelbart omkringliggende kvartsitter, samt som massive bånd og årer i diopsidskarn. Dannelsen av disse forekomstene er enigmatisk. Både hydrotermale avsetninger langs skjærsoner og syngenetiske avsetninger dannet umiddelbart etter sedimentasjonen har blitt foreslått.

Arsenkisforekomster i regionen har anrikninger av Co i form av glaukodot (CoAsS) i arsenkisen.

De største mengdene av arsen er knyttet til prekambriske forekomster i Telemark og Buskerud. Den eneste rene arsenforekomst finnes ved Listauli i Telemark hvor arsenkis opptrer som disseminasjon, årer og massive bånd i foldet kvartsitt og felsisk metavulkanitt sammen med amfibolitt, men forekomsten har svært begrenset volum. Arsenkis finnes også som aksessorisk bestanddel i mange av de epigenetiske Cu-malmene i sentrale Telemark, i Bamble og i Numedal. Fahlbånd i Kongsbergfeltet fører stedvis impregnasjon og årer av arsenkis. Arsen er også kraftig anriktet i enkelte båndete jernmalmer som ved Liverud sørøst for Kongsberg. Sulfidforekomstene knyttet til fahlbåndsonene, som Koppervollane, Verlorne Sohn og Gott Vermags i Saggrenda inneholder 3-400 ppm Co. Det samme gjør forekomstene knyttet til Eiker Kobberverk.

Regionens Ni-Cu-malmer forhøyet innhold av Co. Ni-forekomster i regionen finnes i tilknytning til norittiske gabbroer i Bambleområdet, i Sigdal og i et belte som strekker seg fra Ertelien ved Tyrifjorden i sør til henimot Sokna i nord (ca. 15 km). Alle forekomstene i regionen opptrer i tilknytning til relativt små intrusjoner som ikke bærer bud om de helt store tonnasje. Forekomstene undersøkes for tiden av Blackstone Ventures i samarbeid med Sulfidmalm AS.

## Vurderinger

Det bør forestas en inngående analyse av utbredelse og størrelse på Co-forekomstene i Modum-området da dette så langt aldri har blitt gjort.

## **Krom (Cr)**

Krom brukes i rustfritt stål, til forkromming, i pigmenter og i katalysatorer. Verdensproduksjonen i 2006 var på 20 000 000 tonn kromittmalm tonn og ble estimert av USGS til å være 21 500 000 tonn for 2008. De tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 12 Verdens største produsenter av krom**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Sør-Afrika	40 %	45 %	
Kazakhstan	18 %	17%	
India	17 %	15%	

## **Forekomstgeotoper**

Krom er nesten utelukkende anriket i ultramafiske bergarter av magmatisk opprinnelse. Verdensproduksjonen av krom kommer fra forekomster av kromitt (kromspinell,  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ), som danner semi-massive til massive stratiforme malmer i lagdelte gabbrokomplekser, og som massive kropper i tilknytning til oppgraderte ultramafittenheter i ofiolittkomplekser.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes ingen kjente forekomster eller kromitt-førende ultramafitter i regionen.

## **Vurderinger**

Grunnet den sparsomme opptreden av ultramafiske bergarter i regionen er det utenkelig at store krommalmer kan opptre. Derfor bør det ikke gjennomføres noen mer grundig vurdering av krompotensialet.



### **Kvikksølv (Hg)**

Kvikksølv brukes i meteorologiske instrumenter, til belysning, batterier og i insektmidler. Verdensproduksjonen i 2006 var 1 400 tonn og ble estimert av USGS til å være 950 tonn for 2008. De to største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 13 Verdens største produsenter av kvikksølv**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	79 %	68 %	63%
Kirgisistan	11 %	21 %	26 %

### **Forekomstgeotoper**

Kvikksølv utvinnes fra hydrotermale forekomster av sinober ( $\text{HgS}$ ), og opptrer ofte sammen med orpiment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), realgar ( $\text{AsS}$ ) og antimonglans ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ).

Kvikksølvforekomstene representerer overflatenære avsetninger som opptrer i langs tilførselskanaler for varme kilder og langs dype forkastninger i områder uten assosiert geotermisk aktivitet (Almaden). Malmene omfatter dels stratabundet, disseminasjon og årer i porøse sandsteiner og siltsteiner. Noen lav-temperatur epigenetiske Pb-Zn-malmer kan dessuten være anriket på Hg.

### **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes ingen registrerte Hg-forekomster i regionen og det er heller ikke kjent sulfidforekomster med anrikning av kvikksølv.

### **Vurderinger**

Potensielle ressurser av kvikksølv bør ikke vurderes alene, men eventuelt i forbindelse med potensielle forekomster av Cu, Zn, Pb og/eller Au.

## **Litium (Li)**

Brukes i keramiske produkter, glass, batterier, smørefett og farmasøytisk industri. Verdensproduksjonen av litium i 2006 var 21 100 tonn, og de tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 14 Verdens største produsenter av litium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Chile	39 %	43 %	47 %
Australia	18 %	27 %	27 %
Kina	14 %	12 %	14 %

I Portugal brukes blant annet nedknust Li-pegmatitt som fyllstoff i keramiske fliser. Lepidolitten senker smeltetemperaturen og fører til mindre energiforbruk.

## **Forekomstgeotoper**

Litium utvinnes hovedsakelig fra saltlaker (LiCl) i ørkenområder langs Stillehavskysten av Sør-Amerika. Spodumen (Li-pyrokseen,  $\text{LiAl Si}_2\text{O}_6$ ) og petalitt ( $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ ) er de eneste Li-mineralene som er omsettbare på verdensmarkedet og som brukes i fremstilling av  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , som er et halvfabrikata for videreforedling. Disse mineralene opptrer i sterkt fraksjonerte Li-Cs-Ta-pegmatitter som opptrer i kontaktsonen av leukokratiske S-type-granittintrusjoner.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Selv om spodumen nylig ble identifisert i en liten pegmatittkropp ved Kilsfjorden, representerer de fleste pegmatittene i regionen (Bandaksli, Kviteseid, Bamble, Sauherad, Numedal, Hallingdal, Modum og Kongsberg) synorogene anatektiske pegmatitter uten potensial for opptreden av Li-, Cs- og Ta-malmer.

Det er bare Li-pegmatittene i Tørdal som vitner om assosiasjon med Ta og granittintrusjoner, men pegmatittene i Tørdal fører utelukkende lepidolitt og synes derfor å ha lavt Li- potensial.

## **Vurderinger**

Siden det ikke finnes noen potensielle egne Li-forekomster i regionen bør mulighetene for opptreden av Li i andre områder vurderes i sammenheng med Cs og Ta.

## **Magnesium (Mg)**

Magnesium brukes i lettmetall (oftest i legeringer), elektronikk og som MgO i ildfast materiale, glass og sement.

Verdensproduksjonen i 2006 var 4 050 00 tonn i form av magnesitt og ble estimert av USGS til å være 4460 tonn for 2008. De tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 15 Verdens største produsenter av magnesium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	35 %	45 %	45%
Tyrkia	21 %	14 %	13 %
Nord-Korea	9 %	8 %	8 %

## **Forekomstgeotoper**

Magnesium er et lettmetall som utvinnes elektrolyttisk fra Mg-klorid-laker bestående av saltsyreløst dolomitt ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) eller magnesitt ( $\text{MgCO}_3$ ) tilsatt Mg-rik saltlake fra evaporitter. Karbonatbergartene som brukes må ha lavt innhold av Fe, Ni og Co. Brucitt ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) er en mindre kilde til magnesium på verdensbasis.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes ingen rene forekomster av dolomitt i regionen. Magnesitt finnes bare i tilknytning til små kropper av edel serpentinit i Modum-området.

## **Vurderinger**

Grunnet manglende opptreden av større forekomster av ren magnesitt og dolomitt bør det ikke gjennomføres en nærmere utredning.

## **Mangan (Mn)**

Mangan brukes i stållegeringer, aluminiumslegeringer, som manganoksid til batterier, i plantegjødning, dyrefor og fargestoffer.

Verdensproduksjonen i 2006 var 11 000 000 tonn og ble estimert av USGS til å være 14 000 000 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 16 Verdens største produsenter av mangan**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Sør-Afrika	20 %	21 %	21 %
Australia	14 %	20 %	16 %
Kina	10 %	16 %	20 %
Brasil	15 %	7 %	9 %
Gabon	14 %	12%	11%

## **Forekomstgeotoper**

Mangan utvinnes utelukkende fra stratabundne eller stratiforme malmer som utgjøres av littorale- og grunthav-avsetninger som dels opptrer i tilknytning til jernformasjoner (Sør-Afrika). Mange av de produktive Mn-malmene representerer supergent anrikete malmer som opptrer i tropiske områder.

Mn-mineraler er pyrolusitt ( $\text{MnO}_2$ ) og rhodochrositt ( $\text{MnCO}_3$ ).

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

I regionen finnes det noen små forekomster av wad, som representerer en blanding av Mn-oksider og -hydroksider, ofte også med et vesentlig innhold av andre metallers oksider og hydroksider. Disse representerer forvitring av Mn-rik wollastonitt, bustamitt ( $\text{MnSiO}_3$ ) og rhodonitt ( $\text{CaMn}_4(\text{SiO}_3)_5$ ), som opptrer i skarnomvandlede kalksteiner langs kontakten av ekerittmassivet sør for Drammen (Skoger).

Supergene anrikninger av Mn-oksider finnes også i forbindelse med porfyr-type molybden-mineraliseringer i Glitrevannskaldraen hvor Mn-oxid med finkornete Ag-mineraler finnes utbredt som sprekkebelegg i den ytterste delen av hydrotermal-systemet. Ved Bolkesjø finnes lokalt anrikning av Mn i uregelmessige kvartslinser i kvartsitt, men forekomsten er alt for liten til å ha noen økonomisk betydning. Ved Brandsnuten finnes en annen lokal anrikning av hvor det på begynnelsen av 1900-tallet ble utført prøvedrift. Forekomsten er i dag ikke interessant i en mineralressurssammenheng, men inneholder mange spesielle mineraler.

## **Vurderinger**

Det finnes ingen større manganforekomster i regionen, ei heller typiske geotoper for mangan. Den utelukkes derfor fra en nærmere vurdering.

## **Molybden (Mo)**

Molybden brukes i legeringsmetaller (stål og superlegeringer), varmebestandig element i katalysatorer, smøremidler og i pigmenter. Verdensproduksjonen i 2006 var 179 000 tonn og ble estimert av USGS til å være 212 000 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 17 Verdens største produsenter av molybden**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
USA	34 %	28 %	29 %
Kina	23 %	29 %	28 %
Chile	22 %	22 %	21 %

## **Forekomstgeotoper**

Størstedelen av verdensproduksjonen er knyttet til porfyr-Mo og Cu-(Mo)-type forekomster i ensigmatiske og ensialiske øybuer. Kjente økonomiske forekomster av denne typen er alle av mesozoisk eller tertiær alder. Pegmatitt- og kvartsgangforekomster av molybdenglans ( $\text{MoS}_2$ ) er generelt for små til å danne grunnlag for langvarig drift samtidig som de fleste Mo-malmene er lavgehaltige (<1 %  $\text{MoS}_2$ ).

Molybden finnes også som wulfenitt ( $\text{PbMoO}_4$ ) og powellitt ( $\text{CaMoO}_4$ ).

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Porfyr-type-molybdenforekomster finnes flere steder i tilknytning til Oslofeltets kalderaer som er dannet i en sen fase av i Oslofeltets stratovulkanutvikling.  $\text{MoS}_2$ -mineraliseringer i ignimbriter og subvulkanske granittiske sentralplutoner finnes i Glitrevann-kalderaen, mens ringgangen er mineralisert i Ramnes-kalderaen.

Intraplutonske kvartsganger med molybdenglans og dels wolframitt-vismutglans finnes i Drammensgranitten.

I Telemark finnes både kvartsganger (Dalen) og pegmatittganger (Tørdal) som er rike på molybdenglans.

## **Vurderinger**

Molybden har så langt et uutforsket potensiale. Oslofeltets forekomster kan ha et potensial på lengre sikt, men også Telemark kan ha potensiale for forekomster. Fylkene bør derfor undersøkes nærmere med tanke på molybden, både som primærelement og i forbindelse med kobberforekomster.

## Nikkel (Ni)

Nikkel brukes i rustfritt stål, superlegeringer (særlig i flyindustrien), i kobbernikkel, batterier, mynter og til fornikling. Verdensproduksjonen i 2006 var 1 550 000 tonn og ble estimert av USGS til å være 1 610 000 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 18 Verdens største produsenter av nikkel**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Russland	21 %	17 %	17 %
Kanada	15 %	15 %	16 %
Indonesia	9 %	14 %	14 %
Australia	12 %	10 %	11 %

## Forekomstgeotoper

Økonomiske forekomster av nikkel opptrer utelukkende i tilknytning til ultramafiske og mafiske plutoner, ganger og lavaenheter, samt latterittiserte ekvivalenter i tropiske områder. Malmene omfatter disseminasjon, årenettverk og massive kroppar av magnetkis, pentlanditt ((Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>), kobberkis og stedvis svovelkis og platinagruppe-metaller som hovedsakelig opptrer langs underkontakten av de mafisk-ultramafiske enhetene. Noritter, anortosittiske gabbroer, pikrittiske basalter og olivin-rike komatiitter er vanlige vertsbergarter. Nikkel opptrer også i nikkelførende limonitt ((Fe,Ni)OOH) og garnieritt (Falcondoitt) (Ni<sub>3</sub>MgSi<sub>6</sub>O<sub>15</sub>(OH)<sub>2</sub>·6(H<sub>2</sub>O)).

## Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

Ni-forekomster i regionen finnes i tilknytning til norittiske gabbroer i Bamble-området, i Sigdal og i et belte som strekker seg fra Ertelien ved Tyrifjorden i sør til henimot Sokna i nord (ca. 15 km). Alle forekomstene i regionen opptrer i tilknytning til relativt små intrusjoner. Forekomstene er nylig undersøkt av Blackstone Ventures i samarbeid med Sulfidmalm AS.

## Vurderinger

Videre opptreden av nikkel i regionen bør utredes i lys av resultatene fra nylig gjennomført prospekteringsaktivitet.

## Niobium (Nb)

Niobium brukes i stål- og superlegeringer til fly- og rakettmotorer. Verdensproduksjonen i 2006 var 59 900 tonn og ble estimert av USGS til å være 60 000 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 19 Verdens største produsenter av niobium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Brasil	93 %	95 %	95 %
Kanada	6 %	5 %	5 %
Australia	0,3 %		

## Forekomstgeotoper

Niob er et grunnstoff som anrikes i alkaline magmatiske bergarter, både undermettede og overmettede. Det utvinnes nesten utelukkende fra karbonatitter hvorav melilitt-type-karbonatitter er den viktigste klanen for økonomiske forekomster av Nb-oksider mineraler (pyroklor ((Na,Ca)<sub>2</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(OH,F)), mikrolitt ((Ca, Na)<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(O, OH, F)), og columbitt ((Fe,Mn)(Nb,Ta)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>).

## Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

Niobium-forekomster finnes i nefelin-type-karbonatittene i Fensfeltet som ble drevet i perioden 1953-65 inntil markedsprisen sank til et nivå som umuliggjorde lønnsom drift. Malmen inneholdt ca 0,5 % pyroklor og 7 % apatitt.

Mange av Oslofeltets alkaline vulkanitter (trakytter) og intrusjoner (nefelinsyenitter, peralkaline granitter og syenitter, larvikitter, etc.) inneholder Nb-førende mineraler som både pyroklor og mer komplekse Nb-oksider og silikater med ofte høyt, men sterkt varierende innhold av titan og sjeldne jordartsmetaller. I de fleste tilfellene opptrer de kun i aksessoriske mengder.

Unntaket er trakytter og syenittganger i Sæteråsen-området i Hedrum som er sterkt anrikt på Nb, REE, Zr og Th. To trakyttkropper på Sæteråsen er kartlagt og oppboret av NGU som beregnet ressursen ned til ca 75 m dyp til 8 Mt med 0,35 % Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,52 % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> og 490 ppm Th.

## Vurderinger

Karbonatittene i Fensfeltet og andre potensielle vertsbegarter for niobium-mineraliseringer i regionen bør vurderes nærmere; Spesielt Nb-anrikete bergarter i Oslofeltet.

I Fensfeltet er de mest aktuelle områdene nedbygd, så med mindre deler av folket flyttes og man får et dagbrudd med totalutnyttelse vil det ikke være aktuelt å ta ut Nb fra dette området. Fensfeltet er imidlertid kanskje en av Europas største Nb-forekomster og samtidig er Nb et strategisk viktig metall for EU. Dette tilsier at Nb-ressurser i Fensfeltet bør undersøkes nærmere.

## **Platina-gruppe-metaller (PGM)**

(Platina, Pt; Iridium, Ir; Osmium, Os; palladium, Pd; rhodium, Rh og ruthenium, Ru)

Platinagruppermetallene brukes i smykker, katalysatorer i kjemisk industri, i elektroder og elektronikk. Verdensproduksjonen platina i 2006 var 223 tonn, og palladium 222 tonn og ble estimert av USGS til å være 200 tonn platina og 206 tonn palladium for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 20 Verdens største produsenter av PGM**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
<u>Platina</u>			
Sør-Afrika	77 %	78 %	77 %
Russland	14 %	13 %	13 %
Kanada	3 %	3 %	3,6 %
<u>Palladium</u>			
Russland	44 %	44 %	43 %
Sør-Afrika	39 %	39 %	39 %
USA	6 %	6 %	6 %
Kanada	6 %	5 %	6 %

## **Forekomstgeotoper**

Platinagrupperens metaller finnes metalliske eller som legeringer mellom ulike platinagruppermetaller som for eksempel osmiridium, iridiosmium og sperrylitt (PtAs).

Forekomster som brytes kun for innholdet av platinagruppermetaller er utelukkende knyttet til store lagdelte gabbrointrusjoner hvor de opptrer som disseminasjon sammen med små mengder Cu- og Ni-sulfider langs pyroksenittiske lag eller kromittlag. I tillegg utvinnes PGM som biprodukt ved metallurgisk og elektrolyttisk raffinering av sulfidkonsentrater fra Ni-Cu-malmer. Dessuten utvinnes spesielt palladium og beslektete platinagruppermetaller fra porfyr-Cu-malmer i alkaline intermediære plutoner i øybuer. Skjærsonemalmer med hydrotermal anrikning av Cu og Pd finnes også. PGM er også funnet anrikt i cm- og dm-brede stratabundne soner i bitumenøse svartskifre i forbindelse med de permiske kobberskifrene i Zechsteinbassenget.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes ingen store lagdelte gabbrointrusjoner i regionen. PGM-innholdet i de kjente Ni-Cu-forekomstene er relativt lavt. Om det finnes PGM anrikt i de kambriske alunskifrene i regionen er ukjent, men disse representerer så langt vi vet ingen viktig råstoffkilde.



### **Vurderinger**

Forekomster med PGM synes ikke å ha noe særlig økonomisk potensial pr i dag og bør bare vurderes som tilleggsverdi i forbindelse med eventuelt potensielle Ni-Cu-forekomster i regionen. Alunskiferen bør undersøkes mhp eventuelt innhold av PGM.

## ***Rhenium (Re)***

Brukes i katalysatorer til oljeraffinering, superlegeringer til høytemperaturs turbinmotorer, filamenter i massespektrometre og trykkfølere for ultralave trykk.

Verdensproduksjonen i 2006 var 44,6 tonn, og de tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 21 Verdens største produsenter av rhenium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Chile	45 %	45 %	48 %
Kazakhstan	18 %	15 %	14 %
USA	14 %	14 %	13,5 %

## **Forekomstgeotoper**

Rhenium har mange atomære likhetstrekk med molybden som den substituerer for i molybdenglans ( $\text{MoS}_2$ ), som er et av råstoffene for utvinning av Re. Det er spesielt anriket i sulfider i porfyr-Cu-(Mo)-malmer. Råstoff hentes også fra enkelte malmer i bitumenøse skifre (Cu-Co) og sandsteiner (Cu, Cu-U) som kan føre flere hundre ppm Re. I slike forekomster finnes det enkelte sjeldne Re-mineraler hvor metallet hovedsakelig er bundet til Cu og S. Re-innholdet i vanlige silikatbergarter ligger på 1-2 ppb Re.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det er ingen kjente spesielt Re-anrikete Cu-Mo-forekomster i regionen.

## **Vurderinger**

Re som verdielement bør bare vurderes under behandlingen av eventuelt potensielle forekomster av kobber og molybden.

### **Rubidium (Rb)**

Rubidium brukes i medisin (bl.a. DNA-separasjon), fiber-optikk, lamper, nattsyn-utstyr, kjemi og fyrverkeri. Verdensproduksjonen er ukjent, men trolig mindre enn 20 tonn med Kanada som dominerende produsent.

### **Forekomstgeotoper**

Rubidium er et grunnstoff som har mange atomære og kjemiske likhetstrekk med kalium, som det i stor grad substituerer for i mineraler som glimmer, alkalifeltspat og pollucitt ( $\text{CsAlSi}_2\text{O}_6 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ).

Det meste av verdensproduksjonen stammer fra prosessering av Li-muskovitt (Zinnwalditt  $\text{KLiFeAl}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ) og lepidolitt ( $\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Al},\text{Si})_3\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$ ) med omkring 3% Rb og som biprodukt ved utvinning av Cs fra pollucitt. Disse mineralene utvinnes fra sterkt fraksjonerte Li-Cs-Ta-pegmatitter, og Rubidium produseres dermed sammen med litium og/eller cesium.

### **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det er p.t. ingen kjente Rb-rike pegmatitter i regionen. Synorogene abyssale muskovitt- og biotitt-pegmatitter, som er de dominerende typene av pegmatitter i regionen, har normalt lavt Rb-innhold. Bare de fraksjonerte pegmatittene i Tørdal-området kan forventes å være anrikt på Rb.

### **Vurderinger**

Med bakgrunn i lavt konsum og manglende praktiske anvendelser for Rb, utenom til forskning, anbefales det at det ikke utføres mer detaljerte vurderinger. Rb kan eventuelt behandles i forbindelse med eventuelt potensielle Ta-Sn-Cs-pegmatitter i Tørdal-området.

## **Scandium (Sc)**

Scandium brukes i legering med aluminium for økt styrke og letthet, til spesielt sterke lyskilder (sammen med Hg) og lasere. Scandium er et viktig metall som tilsettes aluminiumlegeringer for å gjøre det duktilt og smibart.

Verdensproduksjonen i 2006 var mindre enn 100 kg, med Kina, Kazakhstan, Russland og Ukraina som produsentland.

## **Forekomstgeotoper**

Det finnes i dag ingen egne forekomster av scandium, men scandium utvinnes fra et stort spekter av mineralkonsentrater og forekomsttyper. Noe ekstraheres fra lutelaken ved behandling av uranmalmer og tantalmalmer. Konsentrater av molybdenglans, W-rutil og wolframitt i Climax-porfyr-Mo-forekomst har også vært benyttet som råstoff for utvinning av Sc.

Thortveititt ( $(\text{Sc}, \text{Y})_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ) er det eneste kjente Sc-silikatmineral som finnes. De fleste silikatbergarter inneholder mindre enn 100 ppm Sc, som vanligvis er anrikt i ferromagnesiummineraler.

De viktigste mineralene som stedvis kan være sterkt anrikt på scandium ( $>0,2\%$   $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ) er cassiteritt, rutil, wolframitt, **columbitt** (Nb-Ta-oksidi), samarskitt, **beryll**, granat, zinnwalditt (Li-biotitt), **chevikinitt** (Ca-LREE-Ti silikat), titanitt, zirkon, xenotim, monazitt og daviditt. Columbitt, beryll og chevikinitt kan i enkelte tilfeller inneholde flere %  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ . Pyroksen kan også anrikes på scandium.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Tørdal-området inneholder pegmatitter med Sc-anrikete mineraler. Utenom dette er det ingen kjente forekomster i regionen, selv om mange av mineralene som kan være anrikt på Sc finnes mange steder.

## **Vurderinger**

Det bør ikke foretas en separat vurdering av scandium i regionen, men Sc bør behandles som verdielement i forbindelse med andre forekomsttyper hvor det er sannsynlig at Sc kan være anrikt. Dette kan f.eks. forekomster av rutil, REE-mineraler, columbitt, chevikinitt og cassiteritt og klinopyroksener i Oslofeltet.

## Selen (Se)

Selen brukes for å fjerne grønnfarge fra jernforurensning i glass og for å motvirke solvarme i vindusgalss, i pigment i plast, keramikk, tilsetning i messing for økt smibarhet, i gjødning og shampo. Verdensproduksjonen i 2006 var 1 390 tonn fra raffinering og ble estimert av USGS til å være 1 590 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 22 Verdens største produsenter av selen**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Japan	46 %	52 %	53 %
Belgia	14 %	13 %	13 %
Kanada	22,3 %	8 %	8 %

## Forekomstgeotoper

Det finnes ingen forekomster som kun utnyttes for innholdet av selen. Verdensproduksjonen av selen kommer hovedsakelig fra raffinering av finkornet elektrodeslam ved elektrolyttisk behandling av Cu-malmer. Noe selen utvinnes også fra U-Cu og U-V-malmer i sandsteiner. Kobberkis, bornitt, arsenkis og sinkblende er sulfider som kan inneholde mellom 100-2000 ppm Se. Vulkanske ekshalasjoner er også gjerne anriket på Se.

## Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

Den eneste kjente forekomsten i regionen med anrikning av selen finnes i Kisgruveåsen Cu-Zn-forekomst hvor flere semi-massive sulfidlinser gir en samlet tonnasje på 2 Mt med 1-1,0-1,5 % Cu, 0,5-1,0 % Zn, 10 ppm Ag, <100 ppb Au og 400 ppm Se. Metallinnholdet i malmen er for lavt til å kunne gi økonomisk drift. Det er mulig at Se kan være anriket i noen av fahlbåndene, som malmen på Kisgruveåsen er en del av.

## Vurderinger

Ut fra det vi vet i dag, er det ikke nødvendig med en egen vurdering av regionens selenpotensial, men selen bør betraktes som verdielement i vurderingen av andre potensielle sulfidforekomster.

## Silisium (Si)

Silisium-metall brukes i databrikker og relaterte produkter, til halvledere, i solceller og LCD-skjermer og i en rekke legeringer (bl.a. til lettmetallslegeringer sammen med aluminium og sammen med jern til ferrosilisium m.m.). De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 23 Verdens største produsenter av silisium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	51 %	59 %	58 %
Russland	13 %	11 %	11 %
Norge	6 %	4 %	6 %
Brasil	5 %	5 %	5 %

Ikke-metallisk silisium, det vil si i komposittmaterialer, brukes i bygningsbransjen, til keramikk/glasur, glass, slipemidler (hvor silikonkarbid er det mest viktige) og innen medisin.

## Forekomstgeotoper

Metallurgisk silisium fremstilles fra ren stykk-kvarts (3-20 cm) som har lavt innhold av Al, Fe, Ti og P (hver av dem <0,1 %). Stykk-kvartsen må dessuten ha god mekanisk og termisk styrke slik at den ikke smuldrer opp i smelteovnen. Store forekomster (>1 Mt) av hydrotermal kvarts er best egnet som råstoffkilde grunnet de store kvanta av kvarts smelteverkene årlig forbruker.

Lav-PB-kvarts med ekstremt lavt innhold av P og B (Al- og Ti- innhold er mindre kritisk) brukes som råstoff i raffineringen av metallurgisk silisium til solar-kvalitet-silisium. I prosessen med å fremstille poly- og monokrystallin solarkvalitet-silisium for produksjon av halvlederplater i solceller kreves dessuten store smeltedigler av høy-ren kvarts. Høyt årlig konsum krever store forekomster av Lav-PB-kvarts, mens konsumet av høy-ren kvarts er mye mindre og krever forekomster i størrelsesorden 200 000 tonn. Høy-ren kvarts finnes som massive kvartskjerner i sonerte granittiske pegmatitter og som hydrotermale kvartsganger i prograde og retrograde grønnskifer-facies metamorfe kompleks. Usonerte pegmatitter i tilsvarende geologiske miljø kan også benyttes hvis det kan skapes salgbare feltspatkonsentrater. Lav-PB-forekomster er mindre avhengig av områdets metamorfosegrad.

## Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

Hydrotermale kvartsmasser og ganger med potensielt lav-PB-kvarts og høy-ren kvarts finnes i kvartsittene i Krødsherad-Eggedal området. Mange andre potensielle geotoper med kvartsganger finnes sannsynligvis også blant kvartsittsekvensene i den nordlige halvdel av Telemark. Det er ikke kjent noen store forekomster av hydrotermal kvarts som kan tilfredstille smelteverkene langvarig behov for store mengder stykk-kvarts til fremstilling av metallurgisk silisium.

## Vurderinger

Hydrotermal kvarts er en potensiell ressurs som bør vurderes. Les mer i vedlegg 1.

## Sink (Zn)

Sink brukes til galvanisering, messing, batterier, anoder og som pigment i maling (sinkoksid). Verdensproduksjonen i 2006 var 10 000 000 tonn og ble estimert av USGS til å være 11 300 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 24 Verdens største produsenter av sink**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	25 %	27 %	28 %
Australia	14 %	14 %	13 %
Peru	12 %	13 %	13 %

## Forekomstgeotoper

Sink utvinnes hovedsakelig fra sinkblende((Zn,Fe)S) som opptrer i en rekke forskjellige typer av sulfidmalmer. Disse omfatter hovedsakelig:

- 1) submarine sedex-malmer (Zn-Pb-Cu-Ba-Sn) i forkastningsbetingete sedimentære bassenger langs passive plate-kanter,
- 2) submarine vulcex-malmer (Cu-Zn-Pb) i øybuer og marginal-bassenger
- 3) Mississippi Valley-type Pb-Zn-malmer i karbonatsekvenser langs erosjonsdiskordanser eller diskonformiteter,
- 4) Zn-Pb-skarnforekomster i kontaktsonen av granittplutoner og
- 5) Pb-sandsteinsforekomster langs kanten av orogene belter.

I tillegg finnes det forskjellige typer av gangforekomster med sinkblende som er av underordnet betydning.

Sink opptrer også i willemitt ( $Zn_2SiO_4$ ), og hemimorphitt ( $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot (H_2O)$ ).

## Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

Sinkforekomster i regionen omfatter både permiske og prekambriske gangforekomster. Kvartsganger med Cu-Zn-Pb mineraliseringer er utbredt i Tråkområdet og i Kongsbergfeltet, samt på nordsiden av Bandak. Sinkblende er også det dominerende mineral i skarnforekomster langs kontakten av Drammensgranitten og ekerittmassivet sør for Drammen, samt langs kanten av Finnemarkgranitten ved Tyrifjorden. Prekambriske Cu-Zn-vulcexmalmer finnes dessuten flere steder i Kongsbergområdet, bl.a. ved Grøsli og Kisgruveåsen, Rørholt i Bambleområdet og Skolteberg nord for Bandak.

Alle de nevnte typene av forekomster er generelt små og overstiger neppe totaltonnasjer på mer enn et par millioner tonn. Visse trakyttiske lavaer i Vestfold er markant anrikt på zink (0,3-0,4 % Zn), noe som ikke er økonomisk interessant i dagens situasjon men kan bli det i framtiden avhengig av utviklingen innen prosesseringsteknologi.

## Vurderinger

Ressurspotensialet for sulfidbundet sink er lavt og det er bare geotopområder for vulcex-malmer som fortjener en nøyere gjennomgang i den sammenheng. En bør

imidlertid vurdere nærmere hvordan sink i trakyttene opptrer for å vurdere hva som eventuelt kreves før slike bergarter kan bli økonomisk interessante.



### **Sjeldne jordartsmetaller (REE)**

Lantan (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), prometium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb) og lutetium (Lu).

Sjeldne jordarter brukes i bilkatalysatorer, i metallurgisk industri, glass og keramikk, i lyskilder, TV og dataskjermer, permanente magneter og til oljeraffinering . Verdensproduksjonen i 2006 var 123 000 tonn i form av oksider (REO) og ble estimert av USGS til å være 124 000 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 25 Verdens største produsenter av REE**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	98 %	97 %	97 %
India	2 %	2 %	2 %
Brasil		0,5 %	0,5 %
Malaysia	0,1 %	0,3 %	0,3 %

### **Forekomstgeotoper**

Sjeldne jordartsmetaller og ytterium (Y) fremstilles hovedsakelig fra monazitt ( $\text{CePO}_4$  /  $(\text{Ce,La,Nd,Th})\text{PO}_4$ ) som utvinnes fra tungmineralsand i strandavsetninger. Den andre hovedtypen av råstoff omfatter karbonatittmalmer, dels som biprodukt ved behandling av niobmalmer. Magmatiske melilitt-type karbonatitter og karbotermale residual-karbonatitter er de som fører de fleste forekomstene REE (bl.a. Mountain Pass, Colorado).

På verdensmarkedet er det bare monazitt og bastnäsitt ( $(\text{Ce,La,Y})(\text{CO}_3)\text{F}$ ) som omsettes. Andre alkaline og peralkaline magmatiske bergarter som trakytter, nefelinsyenitter og riebeckitt-granitter inneholder også varierende mengder (ofte aksessoriske) av komplekse REE-mineraler. Slike mineraler er ikke omsettbare og det må derfor utvikles egne prosesser for hver malmtypen hvis REE skal utvinnes.

### **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Nefelin-type-karbonatittkomplekset i Fensfeltet inneholder en rekke sjeldne jordartsmetaller. Dette gjelder også de alkaline vulkanittene og intrusjonene i Oslofeltet, hvor Sæteråsen-traktytten er den mest kjente anrikningen, dvs. 8 Mt med 0,35 %  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , 0,52 %  $\text{Y}_2\text{O}_3+\text{REE}_2\text{O}_3$ , 490 ppm Th og c.2,3 % zirkon.

### **Vurderinger**

Regionen har flere geotoper for magmatiske Y+REE-malmer og ressurspotensialet for disse metaller bør vurderes nærmere.

## **Strontium (Sr)**

Strontium brukes i glass til katoderør og TV-skjermer for å skjerme for røntgenstråling. Ellers brukes det i fyrverkeri og til magneter. Verdensproduksjonen i 2006 var 500 000 tonn og ble estimert av USGS til å være 512 000 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 26 Verdens største produsenter av Sr**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	32 %	37 %	39 %
Spania	30 %	37 %	39 %
Mexico	22 %	19 %	19 %

## **Forekomstgeotoper**

Strontium utvinnes fra mineralene celestitt/cølestin ( $\text{SrSO}_4$ ) og strontianitt ( $\text{SrCO}_3$ ). Celestitt finnes akkumulert i forbindelse med halitt og gipsavsetninger i evaporittsekvenser, mens strontianitt opptrer anrikt i visse typer karbonatitter. Det meste av verdensproduksjonen av Sr er knyttet til forekomster av celestitt.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Karbonatittene i Fensfeltet og omgivende områder kan potensielt inneholde strontianitt.

## **Vurderinger**

Ressurspotentialet for strontium bør ikke utredes utenom i forbindelse med andre verdielementer knyttet til Fensfeltet.

## **Svovel (S)**

Svovel i form av svovelsyre ( $H_2SO_4$ ) brukes mye til fosfat- og ammoniaproduksjon. Ellers brukes svovel til batterier, rengjøringsmidler, vulkanisering av gummi, fyrstikker, krutt og fyrverkeri. Verdensproduksjonen i 2006 var 66 000 000 tonn og ble estimert av USGS til å være 69 000 000 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 27 Verdens største produsenter av svovel**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
USA	14 %	13,3 %	13,5 %
Kanada	14 %	13,1 %	12,9 %
Kina	12 %	12,4 %	12,4 %
Russland	11 %	10,3 %	10,4 %

## **Forekomstgeotoper**

Elementært svovel utvinnes hovedsakelig ved rensing av naturgass og råolje under fremstilling av ulike typer raffinering produkter. En liten andel fås også ved rensing av avgasser fra koksproduksjon og kullfyrte kraftverk, samt ved desulfurisering av steinkull og luting av svovellag i toppen av steinsaltdiapirer.

Svovel til produksjon av svovelsyre utvinnes fra vulkanogene massive svovelkismalmer og som biprodukt ved røsting og metallurgisk behandling av Cu-, Zn-, Mo- og/eller Pb-malmer.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes verken forekomster av naturgass, råolje, steinkull eller steinsalt i regionen, ei heller store forekomster av massive svovelkismalmer.

## **Vurderinger**

En mer detaljert vurdering av svovelpotensialet i regionen bør ikke utføres.

## Sølv (Ag)

Sølv er det metallet som har høyest varmeledningsevnet og leder elektrisitet best. Det har også høyest optisk refleksivitet. Det brukes til mynter, i smykkeindustri, elektriske kontakter, speilbelegg, fotografisk film, katalysatorer i kjemiske reaksjoner og rensing av vann. Sølv-ioner og sølvforbindelser har en toksisk effekt på visse typer bakterier og virus, sopp og alger i likhet med bly og kvikksølvforbindelser, men er ikke giftig for mennesker. Det brukes også derfor i medisin.

Verdensproduksjonen i 2006 var 19 500 tonn og ble estimert av USGS til å være 20 900 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er :

**Tabell 28 Verdens største produsenter av sølv**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Peru	16 %	17 %	17%
Mexico	15 %	14 %	14 %
Kina	13 %	12 %	12 %

Andre viktige produsentland er Chile, Kanada, Polen og USA. I dag utvinnes det ikke sølv i Norge. I forbindelse med drift på sulfidmalmene tidligere var sølv et viktig biprodukt.

Verdens reserver av sølv anslås til 270 000 tonn, dvs. til ca. 14 års drift med dagens utvinningstakt. De potensielle ressursene, inklusive de kjente reservene, anslås til 570 000 tonn, dvs. at verden kan utvinne sølv i nesten 30 år med de forekomstene vi vet om i dag og med dagens utvinningstakt.

I 2006 var etterspørselen av sølv større enn tilgangen (700 t), noe som førte til svært høye priser (gjennomsnitt 11.20 USD pr. troy unse (31.103 g)  $\approx$  360.09 USD pr. kg). Bruk av sølv økte til tross for nedgang i bruk av fotografisk film, fordi sølv i økende grad brukes til fotografisk fargepapir. Små mengder sølv brukes også i økende grad i bandasjer og for behandling av hud-infeksjoner. Det er også stor interesse for å bruke sølv i sports- og fritidsklær for å regulere kroppstemperatur og motvirke svettelukt.

## Forekomstgeotoper

Sølv forekommer gedigent, som argentitt/acanthitt ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ), chlorargyritt ( $\text{AgCl}$ ), dyscrasitt ( $\text{Ag}_3\text{Sb}$ ) og proustitt ( $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$ ).

Det utvinnes i stor grad som biprodukt ved prosessering av Cu-, Zn- og/eller Pb-malmer av forskjellig opprinnelse. Rene Ag-forekomster omfatter forekomster dominert av gedigent sølv, sølvsulfider, sølvsulfosalter og sølvtellurider. De omfatter gangforekomster (Mexico), storkverksforekomster (Bolivia) og mantoforekomster (fortrengningsmalmer, Peru) som er dannet i tilknytning til vulkansk og sub-vulkansk hydrotermal aktivitet, samt i tilknytning til overflatenære granittplutoner (Cornwall).

Gangforekomster av gedigent sølv og arsenider (Ag-Co-Ag; Cobalt, Ontario) som opptrer i tilknytning til områder gjennomsatt av ganger og lagerganger av diabas og lamprofyrer har en enigmatisk opprinnelse. Vanlige metallselskap i sølvforekomstene

er Ag-Pb-Sb, Ag-Sn-Sb, Ag-Au-Te og Ag-Co-As og mange av de assosierte metallene utvinnes som biprodukt.

### **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

De Ag-Co-As-førende kalkspatgangene på Kongsberg omfatter en egen klasse av gangforekomster på global skala som fører gedigent sølv og opptrer innenfor et 400 km<sup>2</sup> stort område (Sølvtriangelet). Det har i mange år vært drøftet om noen av disse kunne være økonomisk drivverdige med dagens priser, men så lenge det er vanskelig å frembringe tall for gjennomsnittsgehalter har det blitt med tanken. Alle sølvgruvene er dessuten båndlagt med fredningsbestemmelser.

De fleste kontaktforekomstene rundt Oslofeltets granittplutoner og hydrotermale sprekkebelegg av Mn-oksider i kalderaene er anriket på sølv. Konnerudkollen gruve er tidligere drevet på en polymetallisk Zn-Pb-Cu-Bi-Ag-malm med 100-350 ppm Ag i råmalmen. Her opptrer bl.a. gedigent sølv og komplekse Ag-sulfider, mens det i andre forekomster finnes elektrum (AgAu) og Ag-tellurider. Mange av Cu-forekomstene og enkelte Zn-Pb-forekomster i Telemark og Buskerud er anriket på sølv og flere forekomster inneholder mer enn 100 ppm Ag.

### **Vurderinger**

En av de aller viktigste kildene til sølv er som bi-produkt fra VMS-forekomster, så selv om innholdet ofte er i størrelsesorden 10-20 g/t Ag, så blir det 10-20 tonn sølv pr. 1 mill. tonn malm. Det er et potensial for å finne drivverdige VMS-forekomster i regionen.

## **Tantal (Ta)**

Tantal brukes i kondensatorer i datamaskiner, mobiltelefoner og annen elektronikk, samt høytemperaturslegeringer og superlegeringer. Verdensproduksjonen i 2006 var 1290 tonn og ble estimert av USGS til å være 815 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 29 Verdens største produsenter av tantal**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Australia	57 %	53 %	53 %
Brasil	20 %	22 %	22 %
Etiopia	5,4 %	9 %	9 %
Mosambik	6 %		

## **Forekomstgeotoper**

Verdensproduksjonen av tantal kommer hovedsakelig fra metallurgisk behandling av Nb-konsentrater (pyroklor) fra forekomster i karbonatitter. Andre råstoffkilder er tantalitt-columbitt-forekomster i Li-Ta-Sn-Cs-pegmatitter og granittrelaterte Sn-Ta-greisenforekomster. USGS (2007) lister opp columbitt ((Fe,Mn)(Nb,Ta)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), euxenitt ((Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) og tantalitt ((Fe,Mn)Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) som kilder for tantal.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Nb-forekomster med lavt innhold av Ta finnes i karbonatittene i Fensfeltet. Y-tantalitt og andre assosierte Ta-mineraler finnes i enkelte av Li-pegmatittene i Tørdal.

## **Vurderinger**

Tantal bør vurderes som verdielement i forbindelse med gjennomgangen av niobressurser i regionen. Ressurspotensialet for Ta bør dessuten vurderes i forbindelse med pegmatittene i Tørdal og omkringliggende områder.

## **Tellur (Te)**

Tellur brukes i ståltilsetninger, kobber- og blylegeringer, til vulkanisering av gummi og som katalysator i produksjon av syntetisk fiber. Verdensproduksjonen i 2006 var 128 tonn, men er ukjent for 2008. I følge USGS er det kun oppgitt statistikk fra Peru og Kanada for 2008, mens et estimat for 2007 var på 135 tonn. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 30 Verdens største produsenter av tellur**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>
Kanada	58 %	56 %
Peru	26 %	26 %
Japan	16 %	19 %

## **Forekomstgeotoper**

Det finnes ingen forekomster som bare utnyttes for innholdet av tellur. Verdensproduksjonen av tellur kommer hovedsakelig fra raffinering av finkornet elektrodeslam ved elektrolyttisk behandling av Cu- og til dels Pb-malmer. I tillegg utvinnes tellur ved metallurgisk prosessering av Au- og Ag-telluridkonsentrater fra epitermale lav-sulfid-forekomster i tilknytning til sub-aeriske vulkansentre. Mindre mengder kommer også fra granitt-relaterte Au-Bi-malmer.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Tellur som danner kjemiske forbindelser med de fleste metaller opptrer i aksessoriske mengder som telluridminerale i mange av regionens hydrotermale Cu-, Zn-, Pb- og/eller Bi-malmer og er beskrevet fra gruvene i Fyresdal. Det finnes ingen klare geotoper for opptreden av Au-Te- og Ag-Te-malmer, utenom kanskje noen av kalderaene i Oslofeltet.

## **Vurderinger**

Det bør ikke utføres noen egen vurdering av tellurpotensialet i regionen.

### ***Thallium (Tl)***

Thallium brukes i halvledere, detektorer for gammastråling, infrarøde sendere og mottakere, i glass for å øke brytningsindeks og tetthet, superledere og magnetiske lagringsmedia. Verdensproduksjonen i 2006 var 10 tonn og USGS har også estimert det samme for 2008, og de tre største produsentlandene på verdensbasis er diverse sinkprodusenter.

### **Forekomstgeotoper**

Thallium er et vanlig sporelement i sulfider og er spesielt anrikt i sinkblende (ZnS). Det fremstilles som biprodukt ved metallurgisk behandling av Zn-, Cu- og Pb-malmer. Store ressurser av thallium finnes også i tilknytning til forekomster av kull.

Sjeldne thallium-mineraler er crookesitt ( $\text{TlCu}_7\text{Se}_4$ ), hutchinsonitt ( $\text{TlPbAs}_5\text{S}_9$ ) og loranditt ( $\text{TlAsS}_2$ ).

### **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Det finnes ingen signifikant kunnskap om Tl-innholdet i regionens sulfidforekomster, og skulle det finnes anrikninger vil disse trolig være for små til å kunne representere en stor thalliumressurs.

### **Vurderinger**

Det bør ikke foretas en egen vurdering av thallium. Metallet kan representere et verdielement som eventuelt kan vurderes ved gjennomgang av eventuelt potensielle Cu- og/eller Zn-forekomster.



### **Thorium (Th)**

Per i dag har thorium en meget begrenset bruk på grunn av thoriumets naturlige radioaktive stråling, noe som ses på som en negativ egenskap i sammenheng med prosessering av mineralkonsentrater. Det brukes sammen zirkon til høytemperaturskeramikk, katalysatorer og sveiseelektroder. Det finnes ingen produksjonstall for thorium, men det framstilles fra monazitt i tungmineralsand sammen med zirkon og andre sjeldne jordartsmetaller.

Gitt rett utvikling av teknologi kan thorium i fremtiden bli et viktig brenselselement i kjernekraftreaktorer.

### **Forekomstgeotoper**

Den klart største ressursen av Th på verdensbasis finnes i forbindelse med anrikninger i monazitt ((Ce, La, Pr, Nd, Th, Y)PO<sub>4</sub>) som utvinnes fra strandavsetninger av tungmineralsand. Monazitt utnyttes som råstoff for produksjon av sjeldne jordartsmetaller.

Dessuten danner Th egne mineraler (f.eks. thoritt, ThSiO<sub>4</sub>) og thorianitt (ThO<sub>2</sub>) eller inngår som viktig komponent i komplekse REE-mineraler. Disse finnes anriket i alkaline bergarter som karbonatitter, nefelinsyenitter, larvikitter og syenitter, samt peralkaline syenitter og granitter og vulkanitter av tilsvarende sammensetning. Dessuten opptrer de i niob-ytterium-titan-pegmatitter (NYF-pegmatitter).

### **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Thorium er generelt anriket i karbonatittene i Fensfeltet og spesielt i de karbotermale jernmalmen (c. 0,2 % ThO<sub>2</sub>+ 1 % REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i tilknytning til monazitt. Andre forekomster med høyt innhold av thorium omfatter trakyttene på Sæteråsen i Hedrum med gjennomsnittlig 490 ppm Th og de til dels thoritt-førende NYF pegmatittene i Kragerø og Bamble området. Aksessoriske mengder og lokale segregasjoner av komplekse Th-mineraler finnes også i nefelinsyenitter, syenitter og peralkaline granitter, samt i vulkanitter av tilsvarende sammensetning i Vestfold.

### **Vurderinger**

Regionens bergarter representerer en viktig geotop for thorium og ressurspotensialet for metallet bør derfor vurderes.

## **Tinn (Sn)**

Tinn brukes som legeringsmetall med bly, sink og kobber, som belegging på stål, lodding og glassframstilling. Verdensproduksjonen i 2006 var 273 000 tonn og ble estimert av USGS til å være 333 000 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 31 Verdens største produsenter av tinn**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	37 %	42 %	46 %
Indonesia	31 %	40 %	30 %
Peru	15 %	12 %	12 %

## **Forekomstgeotoper**

Verdensproduksjonen av tinn er hovedsakelig knyttet til uttak av cassiteritt ( $\text{SnO}_2$ ) fra submarine placer-forekomster i Sørøst-Asia. Cassiteritt utvinnes også som hoved- eller biprodukt fra gang- og disseminasjonsforekomster i til dels greisenomvandlete granitter. Disse omfatter Sn-W-, Sn-Nb-Ta-, Mo-W-Sn-, Cu-Sn-, og Ag-Sn-malmer. Cassiteritt representerer dessuten et biprodukt ved prosessering av Li-, Cs- og Ta-malmer fra fraksjonerte pegmatitter. I noen smelteverk som raffinerer Sn-rike sulfidkonsentrater av Cu (for eksempel med mineralet stannitt ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ )), Zn eller Pb fremstilles tinn som biprodukt.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

De eneste kjente forekomstene av cassiteritt finnes i Tørdal-området hvor mineralet opptrer i nettverk av kvarts og pegmatittårer. Aksessoriske mengder av stannitt kan muligens være tilstede i enkelte av regionens mange sulfidforekomster.

## **Vurderinger**

Ressurspotensialet for tinn bør utredes i forbindelse med en samlet vurdering av regionens Ta-Cs-Sn-Li-Rb potensial.

## ***Titan (Ti)***

Titan brukes hovedsakelig til pigmentproduksjon (titanhvitt), og ellers til legeringer i stål. Titanlegeringer (med V, Al, Mo) brukes i fly, til armering, romskip og skipspropeller. Verdensproduksjonen i 2006 var 5 000 000 tonn ilmenitt og 444 000 tonn rutil og ble estimert av USGS til å være 5 640 000 tonn ilmenitt og 608 000 tonn med rutil for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 32 Verdens største produsenter av ilmenitt og rutil**

### Ilmenitt

<u>Produsentland</u>	<u>Andel(2006)</u>	<u>Andel(2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Australia	24 %	24 %	22 %
Sør-Afrika	18 %	19 %	19 %
Kanada	16 %	14 %	16 %
Kina	10 %	10 %	10 %
India		7 %	7 %
Norge	8 %	7 %	7 %

### Rutil

Australia	39 %	53 %	51 %
Sør-Afrika	24 %	19 %	20 %
Sierra Leone	18 %	14 %	16 %

## **Forekomstgeotoper**

Verdensproduksjonen av titanmineraler (rutil ( $\text{TiO}_2$ ) og dens polymorfe, ilmenitt ( $\text{FeTiO}_3$ ), titanitt ( $\text{CaTiOSiO}_4$ )) medgår hovedsakelig til fremstilling av  $\text{TiO}_2$ -pigment (92-93 %) og i noen grad til Ti-metall (under 5 %) og diverse andre anvendelser.

Titanmineraler av økonomisk betydning er ilmenitt inkl. leukoksen som til sammen dekker omtrent 90 % av verdens behov for titanråstoffer, og rutil (ca. 10 %).

All rutil og det meste av ilmenitten utvinnes fra strandavsetninger av tungmineralsand. Omtrent 30 % av den ilmenitten som utvinnes kommer fra forekomster i fast fjell i Canada og Norge (Titania AS). Økende etterspørsel etter rutil og til dels store miljøkonflikter ved uttak fra sandforekomster forskjellige steder i verden, har ført til vurdering av alternative rutilkilder som fastfjellsforekomster, bl.a. i eklogitter.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Rutil opptrer i forbindelse med skapolittiserte og albittiserte titan-holdige gabbroer på Lindvikkollen og Løfthaug i Kragerø området, ved Ødegården i Bamble og i Modum området. På Lindvikkollen er det tidligere drevet gruver på en ca. 2 m tykk sone i albitter med sterk impregnasjon av relativt grovkornet rutil. Ved Ødegården fører den omvandlete gabbroen 1-4 % rutil som finkornet disseminasjon over et relativt stort område, malmressurser kan tenkes å være i størrelsesorden 50 millioner tonn.

De fleste gabbrokompleksene i regionen, både de av permisk og prekambrisk alder, fører anrikninger av ilmenitt, ilmenomagnetitt og titanomagnetitt. De permiske forekomstene i Oslo-essexittene og de prekambriske forekomstene i Kragerø-, Bamble-, Kongsberg, Modum og Nissedal-Tørdal området omfatter titanomagnetittforekomster med lavt innhold av ilmenitt. De omfatter lav-gehaltige impregnasjoner som kan utgjøre store volum samt små linser av massiv til semi-massiv malm. Flere av disse forekomstene inneholder magnetitt med høyt innhold av vanadium.

I Ødegården finnes en mineralisering med rutil, men med mindre man har en total utnyttelse av bergarten vil den trolig ikke være interessant i fremtiden. Det samme gjelder jern-titan-forekomstene ved Kodal.

### **Vurderinger**

En utredning av regionens rutilpotensial bør utføres, sammen en vurdering av eventuelle biprodukter, f.eks. skapolitt og albitt, i Ødegården-området.

Potensialet for V-rike magnetittforekomster bør også vurderes i sammenheng med en eventuell totalutnyttelse av titan-jern-forekomstene i Kodal.

## Uran (U)

Uran brukes til kjernekraftverk og militære formål, særlig som høytetthetsprosjektiler og ellers til skjerming av høyaktivt brensel. Verdensproduksjonen i 2006 var 47900 tonn  $U_3O_8$  (nyere tall er dessverre ikke funnet) og de tre største produsentlandene på verdensbasis i 2006 var:

**Tabell 33 Verdens største produsenter av uran**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>
Kanada	28 %
Australia	23 %
Kazakhstan	11 %

## Forekomstgeotoper

Hovedmengden av verdensproduksjonen av uran kommer fra epigenetiske forekomster langs diskonformiteter som skiller grunnfjellsgneiser fra overliggende umetamorfe og lav-metamorfe epiklastiske sedimenter (Atabasca-type).

I tillegg utvinnes U fra karbon-rike fluviale sandsteiner langs gamle elveleier i kanten av kontinentale sedimentære bassenger som også inneholder uranmalmer langs permeable sandsteinslag mer sentralt i bassenget (roll-front-type forekomster). Disse malmene er gjerne anrikt på Cu, V, Ag, Se og/eller Mo.

Uraninitt ( $UO_2$ )-førende pegmatitter finnes også og disse drives når tettheten av dem er stor nok til å danne tilstrekkelige reserver (Rössing, Namibia). I Frankrike drives mange små forekomster av uran som opptrer langs sprekkesoner i albittiserte hercynske granitter. Paleoplacere med uraninitt og svovelkis har også vært utnyttet. Uran-førende bitumenøse svartskifere med 200-500 ppm U har vært forsøkt unyttet, bl.a. i Sverige.

Foruten uraninitt forekommer det også som autunit ( $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10-12H_2O$ ) og uranophan ( $Ca(UO_2)_2(SiO_3OH)_2 \cdot 5H_2O$ ).

## Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold

Kjente forekomster av uraninitt omfatter pegmatitter i Modumområdet og kambriske alunskifere langs vestkanten av Oslofeltet. Det har tidligere vært hevdet at Co-fahlbåndene i Skutterudgruvene i Modum skulle være anrikt på uran, men undersøkelser med scintillometer av NGU av flere Co-fahlbånd ga ingen utslag utover normalt bakgrunnsnivå. Turmalin-pegmatittene som infiltrer fahlbåndene på Skutterud er derimot sterkt radioaktive. Kilden til disse pegmatittene kan være U-rike bergarter langs diskonformiteter i bunnen av de sterkt deformerte og ofte sillimanitt-førende kvartsittene i Modumområdet (aldersmessig ekvivalent med Seljord-kvartsittene). Slike diskonformiteter finnes også i bunnen av og innenfor Telemark supergruppe. Disse har aldri blitt sjekket for uranmineraliseringer.

I tillegg fører enkelte av niob-mineraliseringene i Fensfeltet U-rik pyroklor. Det er også en sone med uran-mineraliseringer i Telemark-suprakrustalene i Øvre Numedal i forbindelse med kobbermineraliseringer. Disse fører branneritt og ble undersøkt på 80-tallet.

### **Vurderinger**

Pr i dag er datagrunnlaget svakt og det vil ikke finnes politisk aksept for å undersøke uranressurspotensialet i regionen, men det bør vurderes dersom det blir økonomisk og politisk aktuelt.

## **Vanadium (V)**

Vanadium brukes i legeringsmetaller i jern og stål. Verdensproduksjonen i 2006 var 62 400 tonn og ble estimert av USGS til å være 60 000 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 34 Verdens største produsenter av vanadium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Sør-Afrika	40 %	41 %	38 %
Russland	30 %	25 %	27 %
Kina	28 %	33 %	33 %

## **Forekomstgeotoper**

Vanadium utvinnes som metall, pentoksid eller ferrovanadiumlegeringer fra Ti-holdig magnetitt som normalt inneholder mer enn 1%  $V_2O_5$ , samt ekstraheres fra visse typer aske og som biprodukt ved raffinering av petroleumsprodukter. Dessuten fremstilles det noe vanadium fra forskjellige typer av uranmalmer i karbonrike eller bituminøse sedimentære bergarter.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

I regionen opptrer en rekke gabbroer med Fe-Ti-forekomster dominert av titanomagnetitt og ilmenomagnetitt og med lavt innhold av ilmenitt.  $V_2O_5$  innholdet i magnetitt fra de prekambriske forekomstene på Langøya og Dobbefjell ved Kragerø er relativt høyt (ca. 1,0 %). Malmsonene er generelt tynne (<5 m) og har relativt liten utstrekning. I tillegg er vanadium anrikt i alunskifer.

## **Vurderinger**

I lys av den store utbredelsen av Fe-Ti-forekomster i Kongsberg-Bamble-formasjonen bør det foretas en evaluering av potensialet for V-rike magnetittmalmer. Dette til tross for at de kjente forekomstene er små.

Alunskiferen bør vurderes nærmere med henblikk på vanadium så vel som andre elementer, men er sannsynligvis mer akademisk enn økonomisk interessant.

## **Vismut (Bi)**

Vismut brukes i keramiske glasurer, smørefett og til loding, sveising og rørlegging. Verdensproduksjonen i 2006 var 5 600 tonn og ble estimert av USGS til å være 5 800 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 35 Verdens største produsenter av vismut**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	54 %	56 %	52 %
Mexico	20 %	19 %	21 %
Peru	17 %	15 %	17 %

## **Forekomstgeotoper**

Vismut utvinnes hovedsakelig som biprodukt ved metallurgisk behandling av blyglanskonsentrater. Forekomster som utelukkende drives for deres innhold av Bi-sulfider er meget sjeldne. Bi-mineraler, hovedsakelig vismutglans, utvinnes stedvis som biprodukt ved oppredning av granitt-relaterte Au-Bi- og W-Bi-malmer.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Forekomster av vismutglans og Pb-Bi-sulfosalter finnes som egne skarnforekomster (Kjenner) og i tilknytning til Fe-Cu skarnmalmer langs kontakten av Drammensgranitten, samt i Au-Bi-Cu-førende kvartsganger i Blekaområdet (Gjuv, Bleka, Blengsdal). Det har vært forsøksdrift på vismutglans sammen med magnetitt i granittisk pegmatitt i amfibolitt på nordøstsida av Nordsjø (Saude). Dessuten finnes det aksessoriske mengder av Bi-tellurider, og komplekst sammensatte Bi-sulfider av Cu, Pb og/eller Ag i mange av regionens sulfid-ganger og –skarnmalmer.

## **Vurderinger**

Granitt-relaterte forekomster som er en viktig geotop for vismut finnes både i Oslofeltet og i sentrale Telemark, men store forekomster av vismut-rike malmer i regionen er ikke kjent. Derfor bør Bi bare behandles i lys av biprodukt-produksjon i forbindelse med andre metalliske råstoff.



## **Wolfram (W)**

Wolfram brukes som wolframkarbid, wolframtråd, elektroder og kontakter, til sveising, tungmetall-legeringer, superlegeringer og pigmenter. Verdensproduksjonen i 2006 var 73 300 tonn og ble estimert av USGS til å være 54 600 tonn for 2008. De største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 36 Verdens største produsenter av wolfram**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	85 %	75 %	75 %
Russland	6 %	6 %	6 %
Kanada	3 %	5 %	5 %

## **Forekomstgeotoper**

Store deler av verdensproduksjonen kommer fra granitt-tilknyttete forekomster i form av scheelitt ( $\text{CaWO}_4$ ) skarnforekomster, wolframitt ( $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$ )-cassiteritt gangsystemer (greisenforekomster, dvs. disseminasjon og årer i omvandlinger bestående av topas, muskovitt, flusspat, Li-glimmer), samt biprodukt fra porfyr-Mo-type (wolframitt) og Au-forekomster (scheelitt). Få eller ingen av de økonomiske forekomstene i verden er av prekambrisk alder.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Svake mineraliseringer av scheelitt er kjent fra kalifeltspat+diopsid±granat-årer i biotitthornfelter langs kontakten av ekerittmassivet i nedre Eiker og i kontakten av Finnemarkagranitten ved Sylling. Få av skarnforekomstene i Oslofeltet som representerer fortrenge kalksteiner inneholder scheelitt. Zn-malmen på Glomsrudkollen inneholder aksessorisk scheelitt. Greisenomvandlinger med Mo-W-Bi mineraliseringer (wolframitt) finnes i deler av Drammensgranitten. Slike omvandlinger finnes også i deler av Treungen granitten vest for Tørdal og sør for Nisservann. Om disse inneholder Sn- og W- mineraler er ikke kjent. Enkelte Mo- og Zn-Pb-forekomster nord for Bandak er noe anrikt på wolfram.

## **Vurderinger**

Flere potensielle geotoper for opptreden av wolfram finnes i regionen, men utbredelsen av W-mineraler synes å være liten.

Greisen-wolframforekomster bør vurderes i sammenheng med en utredning av mineralressurser knyttet til pegmatitter og granitter i Nisserdal-Tørdal-området.

## **Yttrium (Y)**

Yttriumoksider brukes i TV-skjermer til å gi rød farge, tilsetning i kunstige granater for forskjellige formål, mikrobølgefilter, akustiske sendere, dempere, smykkestein, lasere og i lyskilder og tennplugger. Det utvinnes sammen de sjeldne jordartsmetallene, som i 2006 hadde en verdensproduksjon på 123 000 tonn REI. De tre største produsentlandene på verdensbasis er:

**Tabell 37 Verdens største produsenter av yttrium**

<u>Produsentland</u>	<u>Andel (2006)</u>	<u>Andel (2007)</u>	<u>Andel (2008)</u>
Kina	98 %	99 %	99 %
India	2 %	1 %	1 %
Malaysia	0,1 %		

## **Forekomstgeotoper**

Samme som for sjeldne jordartsmetaller.

## **Kjente forekomster i Buskerud, Telemark og Vestfold**

Se under sjeldne jordartsmetaller.

## **Vurderinger**

Se under sjeldne jordartsmetaller.

## Referanser

- Mineralstatistikk for produksjonsdata og bruksområder er hentet fra USGS sin mineralstatistikk: <http://minerals.usgs.gov/minerals/>
- Hysingjord, J. og Thorkildsen, C.D. 1971: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet. Nor. geol. unders. rapport 1104, 62 s + 2 bilag.
- Hysingjord, J. 1973: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet III. Nor. geol. unders. rapport 1248, 11 s + bilag.
- Hysingjord, J. 1974: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet IV. Nor. geol. unders. rapport 1249, 8 s + bilag.
- Håbrekke, H. 1982: Magnetiske-, elektromagnetiske-, VLF- og radiometriske målinger fra helikopter over et område vest for Tønsberg, Vestfold og Telemark fylker. Nor. geol. unders. rapport 1835, 13 s + 10 bilag.
- Ihlen, P.M. 1983: Geologiske og petrokjemiske resultater fra diamantboring på Sæteråsen niob-forekomst. Nor. geol. unders. rapport 1800/76B, 16 s + 11 bilag.
- Ihlen, P.M., Raaness, A. M., Korneliussen, A. og Meyer, G. 2006: Rekognoserende undersøkelser av et utvalg potensielle mineralressurser i Fritzøe Skoger. NGU rapport 2006.030, 19 s.
- Larsen, B. T og Olaussen, S. 2005: The Oslo Region. A study in classical palaeozoic geology. Field guide to NGF's centennial field trip 16-18<sup>th</sup> May 2005. ISBN 82-993198-3-8, Norsk Geologisk Forening.
- Korneliussen, A. og Raaness, A. M. 2006: Oppfølgende undersøkelser av zirkon i Fritzøe Skoger. NGU rapport 2006.091
- Nyland B. & Teigland J. 1984: En sedimentologisk og geokjemisk undersøkelse av de kambriske og underordoviciske marine sedimenter i Oslofeltet. Hovedfagsoppgave i geologi Universitetet i Oslo.
- Eldjarn, Knut (1978): Fenakitt i Norge. Stein.  
<http://www.nags.net/Stein/1978/Fenakitt%20i%20Norge.pdf>
- Store Norske Leksikon (2009): <http://www.snl.no/beryllium>
- USGS Commodity statistics and information -  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>



### **Vedlegg 3: Potensielle mineral- og malmprovinser**

Vedlegg 3: Potensielle mineral- og malmprovinser.....	1
Potensielle mineral- og malmprovinser .....	2
Fensfeltet.....	2
Nissedal-Tørdal.....	4
Bandak .....	5
Kobberforekomster i Numedal .....	6
VMS-forekomster i Hokksundområdet.....	7
VMS-forekomster i Kongsbergområdet. ....	9
Metallpotensialet i alunskifer.....	12
Referanser .....	13



## Potensielle mineral- og malmprovinser

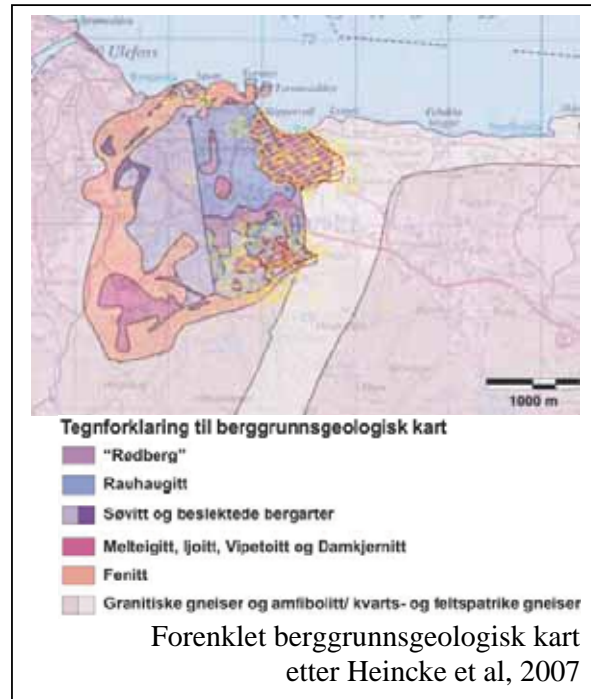
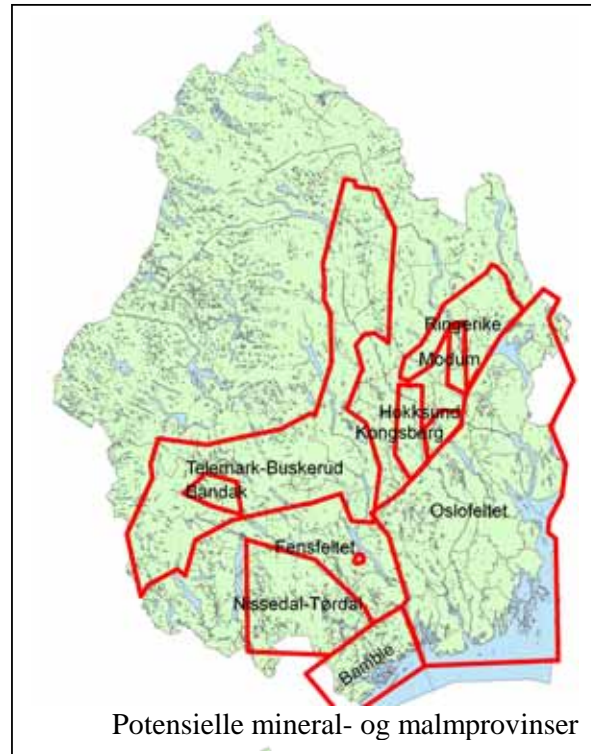
Buskerud, Telemark og Vestfold har flere provinser hvor forekomster av en rekke mineraler og metaller kan være av interesse. Det kan være aktuelt å studere disse områdene nærmere for å vurdere potensialet for økonomisk interessante forekomster. Noen av områdene er beskrevet nedenfor.

### Fensfeltet

Fensfeltet er et nesten sirkulært felt, ca 5 km<sup>2</sup> stort, ved Norsjø i Telemark med spesielle og sjeldne bergarter av magmatisk opprinnelse som størknet på dypet for ca 540 millioner år siden. De består av minst 60 % karbonatitter (magmatisk karbonatrik bergart), og inneholder ellers karbonatitter med silikatmineraler og bergarter som hovedsakelig består av nefelin og klinopyroksen (melteigitt, ijolitt, urtitt).

Bergartene i området ble første gang beskrevet av den kjente geologen C. W. Brøgger i 1921. Da var mange av bergartene ukjente og ble gitt navn etter lokale gårder.

Rundt Fensfeltet finnes også en rekke spesielle gangbergarter og eksplosjonsbreksjer som damkjernitt. Videre er de omkringliggende grunnfjellsgneisene omdannet ved kontakten mot Fenkomplekset til fenitt. Den omdanningsprosessen som har foregått her kalles fenittisering<sup>1</sup> og ble i internasjonal sammenheng først beskrevet herfra av Brøgger. Brøgger hadde hevdet at karbonatittene og de andre bergartene var dannet ved størking fra smeltemasser i dypet, men dette ble mottatt med skepsis av samtidige geologer. Først 40 år senere, i 1961, ble teorien sannsynliggjort ved at



<sup>1</sup> Da de magmatiske bergartene kom i kontakt med grunnfjellsgneisen som ligger rundt Fensfeltet kom gneisen i kontakt med varme, alkalirike væsker som strømmet inn i sprekker og porer. Denne har løst opp kvartskrystallene, forandret den kjemiske sammensetningen av feltspatene og de mørke mineralene i gneisen. Na og K er tilført, mens K og SiO<sub>2</sub> er ført bort.

man fant en aktiv vulkan, Oldoinyo Lengai i Tanzania, som spydde ut lettflytende strømmer av karbonatittlava. Fensfeltet kan representere et dypt snitt under en tilsvarende vulkan.

Karbonatittene er vertsbergarter for en rekke mineraler som inneholder niob og sjeldne jordarter (REE). De viktigste av dem er søvitt og rauhaugitt, som består overveiende av henholdsvis kalkspat og jernholdig dolomitt. Både søvitten og rauhaugitten har vært gjenstand for gruvedrift, og mange groper og hauger med malmrester viser at det har vært omfattende gruvevirksomhet i Fensfeltet.

I perioden 1953-1965 var det produksjon av niob i søvitt, en kalkspatdominert karbonatittvariant, fra Søve Gruver. Malmen ble videreforedlet av Norsk Hydro på Herøya og sluttproduktene herfra gikk i sin helhet til romforskning og den vestlige forsvarsalliansen under den kalte krigen, og det ble drevet prospektering med tanke på ny drift frem til 1987. (Bryhni, 2009)

Fensgruva (1652–1957) ble drevet på jernmalmkropper av finkornet hematitt i karbonatitten, som her har en dolomittisk sammensetning. Jernmalmen ble utelukkende brukt til støpejern og gikk til Ulefoss jernverk, samt jernverk på Fossum, Eidsfoss, Bærum og Moss. (Åmli 1974, 1977)

Fordi bergartene i Fensfeltet er såpass eksotiske i en geologisk sammenheng er geologien godt kjent, men en helhetlig mineralressurvaluering for området bør gjøres. Det er blant annet kjent at området er rikt på thorium (Th) og sjeldne jordarter (REE), men forsøk på å definere og avgrense slike Th-malmer og deres tonnasje ved hjelp av for eksempel boring er ikke gjort. Videre mangler det også undersøkelser av blant annet potensielle malmmineraler for å kunne bekrefte eller avkrefte om de er mulig utnyttbare forekomster. Det som til nå er gjort er kun å anse som preliminære undersøkelser.

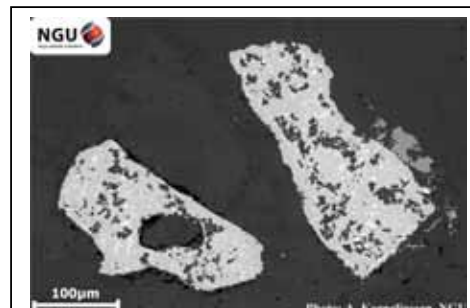
Arbeid for å fremstille et konsentrat for sjeldne jordarter (REE) fra Fensfeltet utført rundt 1970 var mislykket. REE-mineralene var så finkornige at man kun greide å utvinne ca 50%, noe som gjorde mineraliseringen uøkonomisk med konvensjonell oppredningsteknologi. Om det samme gjelder for de Th-førende mineralene er ikke kjent.



Søvitt med niob-førende pyroklor  
Foto: A. Korneliussen



Rauhaugitt fra Fensgruva.  
Foto: A. Korneliussen



SEM-bilde av Nb-mineral med inneslutninger av Th-førende mineraler (hvite prikker) i en karbonatitt. Merk skalaen!  
Foto: A. Korneliussen

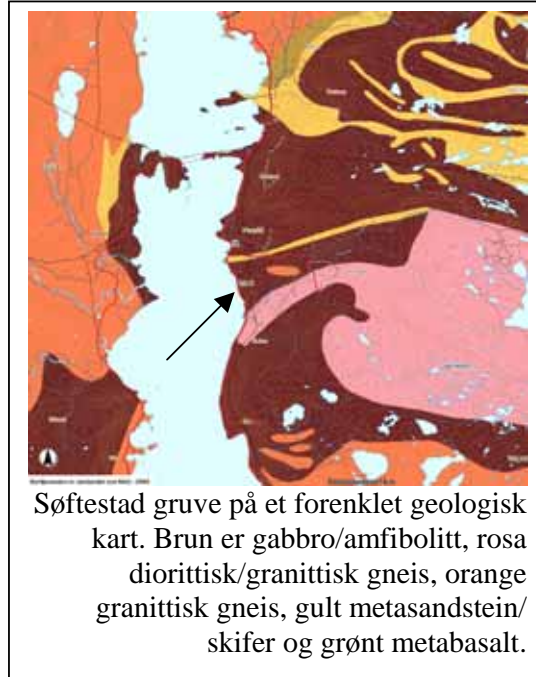


### **Nissedal-Tørdal**

I Nissedal-Tørdal-området, som har store likhetstrekk med Bamble-komplekset når det gjelder mineralforekomster, finnes både apatitt-jern- og jern-titan-mineraliseringer, apatitt-ganger og en rekke granittiske pegmatitter.

#### **Jern og jern-titan**

Ved Søftestad i Nissedal finnes en apatitt-førende jernmalm. Foruten apatitt inneholder den en del hematitt, men overveiende magnetitt. Forekomsten er første gang beskrevet i litteratur fra 1811, men er da beskrevet som ubrukelig på grunn av fosforinnholdet (apatitten). Forekomsten ble eid av Næs Jernverk frem til 1916 og ble overtatt av det nystartede A/S Søftestad Gruber. Prøvedrift ble satt i gang 1916-17 og varte til 1921. Arbeidet ble gjenopptatt fra 1937-38 og gruva ble drevet frem til 1965, (Aamo, 2009).



Søftestad gruve på et forenklet geologisk kart. Brun er gabbro/amfibolitt, rosa diorittisk/granittisk gneis, orange granittisk gneis, gult metasandstein/skifer og grønt metabasalt.

Forekomsten ligger i en synklinal med gneis og dioritt i heng og ligg, og skjæres av en rekke pegmatitter. I kontakten mellom malm og pegmatitter er hematitten anriket i forhold til magnetitten. Nord for Søftestad i området gabbrokomplekser opptrer ganger med klor-apatitt.

Det finnes også jern-titan-mineraliseringer i Nissedal-Tørdal-området, bl.a. i forbindelse med en gabbro på Lone mellom Nissedal og Drangedal.

#### **Pegmatitter**

Mellom Setesdal og Kongsberg finnes et bredt belte av pegmatitter. Disse er lite undersøkt og bør undersøkes nærmere.

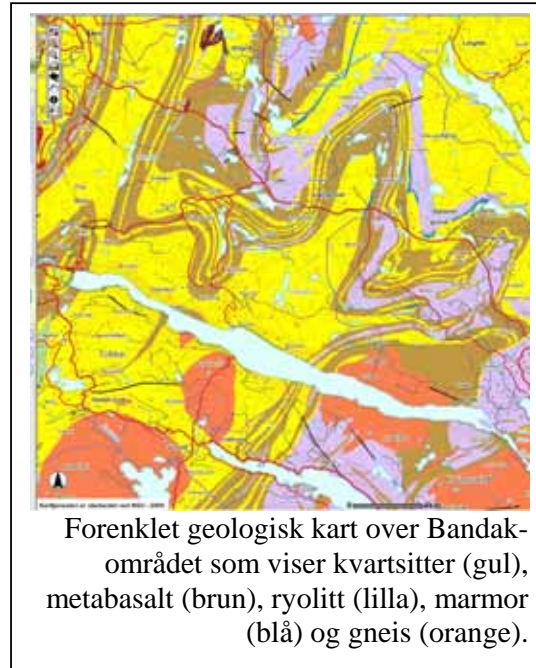
Av de pegmatittene som hittil er undersøkt av mineraloger finnes det flere som kan være aktuelle i forbindelse med utnyttelse av cesium (Cs), litium (Li) og rubidium (Rb), scandium (Sc), tantal (Ta), tinn (Sn) og wolfram (W).

I Tørdal finnes blant annet tinn-førende granittpegmatitter. Tørdalspegmatittene er ellers bemerkelsesverdige på grunn av sitt innhold av mineraler med litium (Li), beryllium (Be), tantal (Ta), scandium (Sc) og tinn (Sn).

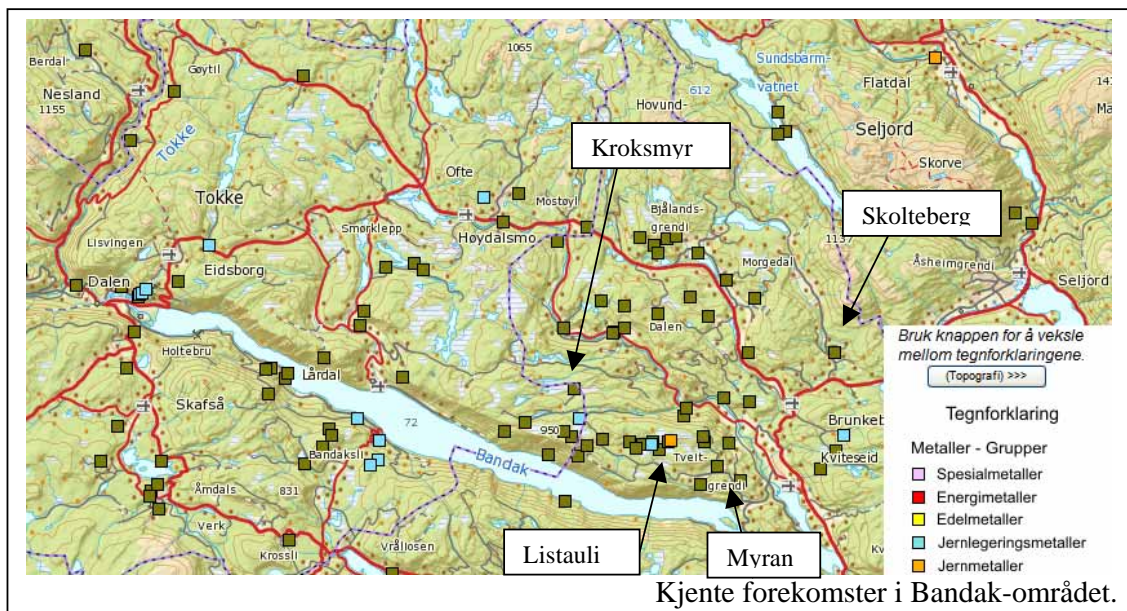
### Bandak

På åsene nord for Bandak og vest for Kviteseid dominerer basiske metavulkanitter med mindre innslag av metasedimenter og sure metavulkanitter. De er antatt å tilhøre Vemork-formasjonen innen Rjukan-gruppa (Nilsen & Dons 1991), mens Laajoki (2002) skiller dem ut som en egen enhet; Transtaulhøgdi suprakrustal.

I disse omdannede vulkanske og sedimentære bergartene finnes en rekke mindre malmforekomster med varierende metallinnhold. I tillegg til deg mer vanlige hydrotermale kvartsgangene med kobber ± edelmetaller finnes også en rekke andre forekomststyper. Flere av disse kan være dannet samtidig med vertsbergarten (syngenetisk) i forbindelse med den vulkansk aktiviteten selv om senere remobilisering trolig har skjedd lokalt. Enkelte av disse er sterkt deformerte og kan være dannet i forbindelse med senere tektonisk aktivitet. Slike bruddsoner kan igjen være del av større malmdannende systemer.



*Listauli* er en arsenforekomst hvor arsenkis opptrer som disseminasjon, årer og massive bånd i foldet kvartsitt og felsisk metavulkanitt sammen med amfibolitt. Representative prøver av malmen inneholder 8-13 % As, og er også er anrikt på kobber (2 % Cu). Ca. 3 km lengre øst ligger *Myran* magnetitt-bornitt-kobberkisforekomst. Den tilnærma massive malmen opptrer trolig nær kontakten mellom basisk og sur metavulkanitt. *Skolteberg* sink-bly-kobberforekomst ligger i en ås ca. 3 km lengre nord. Analyser viser 7-13 % Zn og 6-10 % Pb i en amfibolittiske bergart. Felles for disse forekomstene er at de også er anrika på gull med opptil 1-2 g/t Au.



*Krokksmyr* kobberforekomst som ligger i Morgedalgrønnstein vest for Transtaulhøgdi har forhøyde verdier av sølv, 360-400 g/t Ag. Mineraliseringene opptrer i en sterkt deformert, karbonatisert amfibolitt nær kontakten til en porfyrisk, felsisk metavulkanitt. Alle disse forekomstene er for små til å ha noen økonomisk interesse alene, men den sterke anrikning av en rekke metaller viser at området bør vurderes nærmere.

### **Kobberforekomster i Numedal**

Det finnes meget stor tetthet av epigenetiske Cu-sulfid forekomster i et belte som strekker seg fra sentrale Telemark og østover til Numedal i Buskerud. Disse forekomstene som er av prekambrisk alder, kjennetegnes ved metallskapet Cu-Bi-Ag±Au, som hovedsakelig omfatter sulfider.

I Numedal er en rekke små forekomster ansamlet i området sørøst for Tunhovdfjorden og ellers spredt nedover i Numedal. Forekomstene er gangforekomster med hovedsakelig kobberglans og bornitt i kvarts. De er typisk opptil få hundre meter i lengde og mektigheter 0.5-3 meter. Prøver på 1-3 kg fra forekomstene inneholder 1-10% Cu, mens innholdet av Zn og Pb er meget lavt ( $\ll 0.01\%$ ). De er alltid anriket på Ag med gehalter 20 til  $> 100$  g/t. Mange av forekomstene har også et relativt høyt innhold av Au, ofte har en eller flere av de analyserte prøvene mer enn 1 g/t Au. Noen forekomster er ellers anriket i Mo og/eller Bi. Forekomstene er alt for små til å ha noen økonomisk interesse, men peker på en region anriket i spesielt gull og sølv.



**Tabell 1 Tunhovd-området**

Forekomst	Cu	Zn	Pb	Ag	Au	Bi	Mo	Co
Duse	0.83-1.77	$\ll 0.01$	$\ll 0.01$	10-21	$\ll 0.10$	$< 3$	17-72	1-2
Knutstøl	3.12- $>10$	$\ll 0.01$	$\ll 0.01$	53-232	0.5-1.4	126-703	1-2	7-10
Kisingang	0.18-0.88	$\ll 0.01$	$\ll 0.01$	2-4	$< 0.10$	2	7-33	1
Lauvåsen	5.08-5.68	$\ll 0.01$	$\ll 0.01$	44-51	$< 0.10$	2	3-1394	1-3
Brennbekk	9.54- $>10$	$\ll 0.01$	$\ll 0.01$	50-85	$< 0.10-0.20$	4-10	4-42	1

*Cu, Pb og Zn er oppgitt i prosent, de andre elementene i g/t.*

I både Duse og Kisingang er det rapportert om synlig gull i håndstykke. I Brennbekk er det i tillegg til kobber, også soner anriket på molybdenglans. I både Lauvåsen og Brennbekk er mineraliseringen tilknyttet en sone kraftig anriket på uran i form av

mineralet branneritt. Dette kan sees i opptil cm-store krystaller i skjerpene. Uransonen var gjenstand for interesse på 80-tallet av Norsk Hydro.

**Tabell 2 Nore, Rollag og Flesberg**

Forekomst	Cu	Zn	Pb	Ag	Au	Bi	Mo	Co
Groven	2.55-4.79	<<0.01	<<0.01	6-31	<0.10-3.7	8-23	7-112	4-10
Kittilsland	2.25-3.03	<<0.01	<<0.01	30-37	<0.10-0.10	6-8	5-12	1-3
Bratterud	0.23-1.16	<0.01	<<0.01	4-20	<<0.10	2-3	1	1-8
Helle	0.51-0.56	<<0.01	<<0.01	9-10	<0.10	2	1	1-2
Halvfarås	1.14-7.82	<<0.01	<<0.01	48-100	0.63-0.99	26-71	12-29	<1-2
Risteigsætri	2.67-3.66	0.01	<<0.01	61-88	0.75-1.33	692-2545	3-4140	5-12
Fjøse	1.18-3.84	<0.01-0.05	<<0.01	26-41	<0.1-1.47	45-471	1-2600	10-16
Turihøgda	0.04-0.61	<0.01-0.02	<0.01-0.01	<0.3-9	<<0.10-0.20	6-157	220-36600	4-50
Skogen	<0.01-8.67	<0.01-0.13	<0.01	0.2-87	<<0.10-1.26	2-33	17-17908	1-80
Bekkjorden	0.66-5.15	<0.01-0.03	<<0.01	8-71	0.54-1.07	7-11	4-20	14-122

*Cu, Pb og Zn er oppgitt i prosent, de andre elementene i g/t.*

### **VMS-forekomster i Hokksundområdet**

De viktigste kjente VMS-forekomstene i Hokksund-området er de som har tilhørt Eiker Kobberverk: Bergsgruva og Haugsetgruva.

*Bergsgruva* var hovedgruva til Eiker Kobberverk og var i drift i fire perioder mellom 1818 og 1889. Det er ikke funnet noen opplysninger om hvor mye malm som ble tatt ut i de første to driftsperiodene. I de to siste periodene (1874-1879 og 1885-1889) ble det tatt ut vel 18 200 tonn kobbermalm med rundt 4 % Cu. Inklusive gråberg tilsvarer dette opp mot 50 000 t bergmasser fra gruva. Da gruva ble nedlagt i 1889, var dypeste punkt 107 m under dagen (og 138 m langs fallet). Mektigheten på den mineraliserte sonen var da kun 53 cm og inneholdt kun 0.7 % Cu.

Driften har foregått over en lengde på 285 m i NØ-SV retning. Det har vært drift på hovedsakelig 3 malmlinser som alle har et fall på 45-55° mot NV og ligger etter hverandre langs strøket. Den sørligste malmlinsen er kjent som Godthaabsgangen, og ble drevet ned til et dyp på ca. 50 m (loddrett). Mektigheten av den mineraliserte sonen varierte her mellom 25 og 60 cm og var avtakende mot dypet. Den mellomste malmlinsen hadde mektigheter mellom 40 og 100 cm. Hoveddriften var den nordligste og det ble altså her drevet ned til et dyp på 107 m vertikalt. Det oppgis at malmlinsen her hadde mektigheter opp mot 2 meter, og det var også to linser over hverandre dannet ved en forgreining, antakelig som følge av tektonisk påvirkning.

Malmen i hovedlinsa er sterkt preget av tektonisering og skjærdeformasjon, og inneholder roterte fragmenter av kvarts og sidebergart, typisk biotitt- og amfibolrik skifer. Den er i stor grad massiv og uregelmessig sliret og båndet. Den består av uregelmessig fordelt sinkblende, magnetkis, kobberkis og pyritt, ofte med fragmenter av kvarts og av amfibol+biotitt. Den uregelmessige fordelingen av mineraler, bånding og fragmentering er helt klart et resultat av sterk deformasjon.

Variasjonen i mineralfordeling kommer også til uttrykk geokjemisk: I følge undersøkelsene utført av NGU i 1981, hvor det ble tatt ti malmprøver, var innholdet i disse 0.25-2.4 % Cu, 0.03-10.9 % Zn, 90-200 g/t Se og opptil 0.22 g/t Au. Ut fra

malmens opp treden, tilstedeværelse av omvandling i form av kvarts-sericitt-skifer og malmmineraler, er det høyst sannsynlig at forekomsten er en sterkt tektonisert VMS-forekomst.

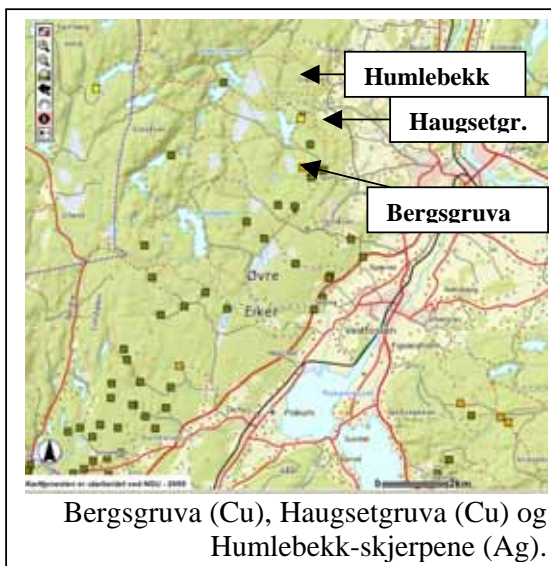
*Haugsetgruva* ligger om lag 1.5 km NØ for *Bergsgruva* og langs bergartenes strøkretning. Forekomsten er drevet med 4 synker langs en strøklengde på 65 m. Ingen av disse synkene kan være særlig dype, idet det totale volumet av masser som er tatt ut er kun 225 kbm. Gruva ble startet opp i 1869 og ble drevet et par år med 7-14 mann.

Det ble produsert 190 tonn kobbermalm med gjennomsnittlig 9 % Cu. Gruva ble nedlagt da driften på *Bergsgruva* startet opp igjen i 1872. Malmsonen er blottlagt i nordveggen i den sørligste synken og har en mektighet på bare 5 cm. I ligg (på østsiden) kan kraftig silisifisering spores inntil 5 m vekk fra malmsonen. Den inneholder en god del magnetitt. Mineraliseringen ligger konkordant i en amfibolittkropp som igjen er omgitt av lys tonalittisk gneiss. Mineraliseringen er svakt foldet.

På tippahaugene opptrer for det meste massiv sinkblende-mineraliseringer med mindre mengder kobberkis, magnetkis og magnetitt. Mindre vanlig er magnetkis-kobberkis-mineraliseringer. Settingen er tilsvarende som *Bergsgruva* med amfibolitter og lyse, felsiske gneisser.

Det ble utført geofysiske målinger over forekomsten i 1946 av Geofysisk Malmleting og av NGU i 1979. Begge disse målingene var klart negative med svake anomalier med liten utstrekning. Detalj kartlegging i området (Karlstrøm 1985) frambrakte heller ikke noe av økonomisk interesse.

*Humblebakk-skjerpene* ligger ca. 2 km nord for *Bergsgruva* og like øst for Himsjøen. Skjerpene består av tre vannfylte synker og en del mindre røsker. Totalt er det ca. 650 kbm. materiale i de overgrodde tippahaugene. Det var drift i privat regi i 1860-70-årene og under 1.verdenskrig. Offisielt sett ble det drevet på bly eller sink, men det er klart at det var sølv som var grunnlaget for driften. Mineraliseringen består av svak kobberkis-magnetkis-impregnasjon og sees som en ca. 2 m bred rustsone i nordligste synk. Denne følger foliasjonen i den omgivende amfibolitten og står med steilt fall mot øst og stryker tilnærmet nord-sør. Tynne øst-vest gående kalkspatganger gjennomskjærer denne nord-sør-gående mineraliseringen. I disse gangene opptrer spredt sinkblende, blyglans og pyritt. Driftene har tydeligvis vært konsentrert til disse gangene og det er i disse det har vært sølv og argenitt (sølvglans). Støren (1931) oppgir en gehalt på 2.1% Ag i en rusten skifer og 0.24 % Ag i en bergart rik på kullblende. Tre prøver fra haugene inneholdt opptil 0.3% Cu, 1.6% Zn, 0.9% Pb, 10 g/t Ag, 0.44% As.



Ut fra det som er utført av kartlegging og geofysikk er det lite sannsynlig at det finnes økonomiske forekomster i området rundt Eiker Kobberverk, men det peker på muligheter ellers i gneissområdet mellom Kongsberg og Hokksund, samt videre nordover mot Sigdal.



### **VMS-forekomster i Kongsbergområdet.**

Prekambriske sulfidforekomster tilknyttet vulkanske bergarter (VMS) finnes både innenfor Telemark Supergruppe og i gneissene tilhørende Kongsberg-Bamble-komplekset.

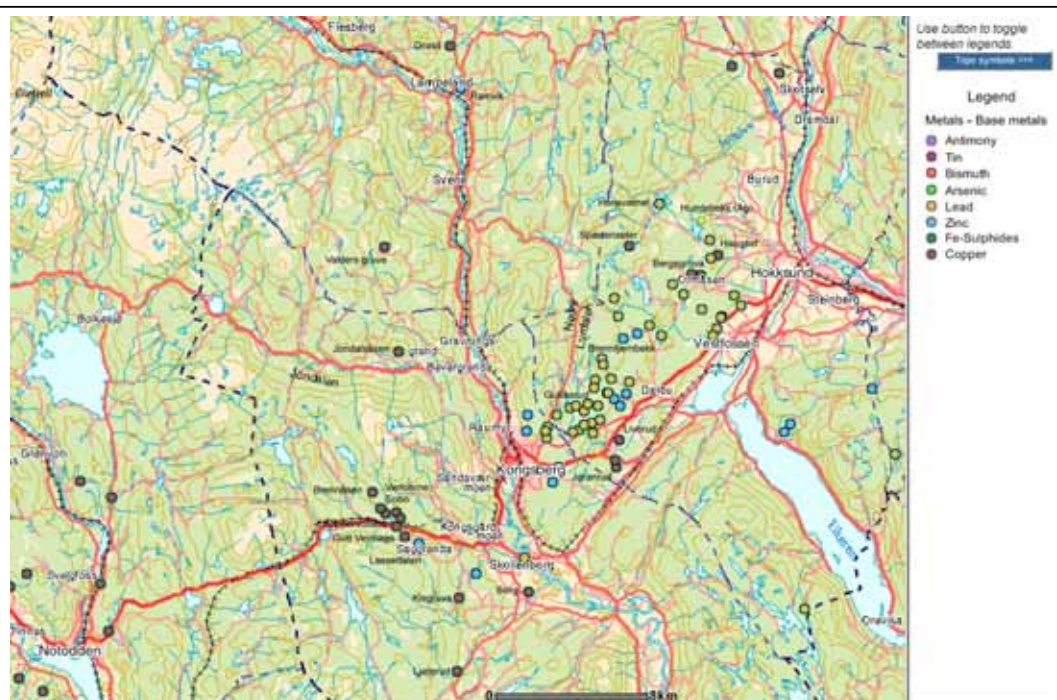
I Kongsberg-Numedal er det flere mindre VMS-forekomster som har vært befart i forbindelse med NGUs arbeide med malmdatabasen. I tillegg er det antakelig flere forekomster i området som ikke er klassifisert som VMS-forekomster fordi de ennå ikke er undersøkt.

Forekomstene kan inndeles i massive/semimassive Zn-Cu malmer og disseminasjon til semimassive Cu-rike stringer-mineraliseringer.

Grøsliforekomsten 3 km nord for Lampeland er en massiv mineralisering. Denne forekomsten inneholder 0.8-0.9 % Cu, 5-10 % Zn, 0.1-0.4% Pb og 20 g/t Ag. Det ble gjort undersøkelser av forekomsten både geofysisk og boringer på 40- 50- og 70-tallet. På grunnlag av disse undersøkelsene, spesielt geofysikk, ble det konkludert med at forekomsten er for liten til å ha økonomisk interesse. Den massive mineraliseringen er antakelig konsentrert hovedsaklig til en foldeombøyning. En kan imidlertid ikke utelukke at det finnes flere linser i området.

Når det gjelder Cu-rike stringer-mineraliseringer er fire i Kongsberg-området befart i forbindelsen med databasearbeidet. Det gjelder Valders Grube på Vinoren og Verlohrne Son og Gott Vermags mellom Saggrenda og Meheia. Disse inneholder i størrelsesorden 0.5-2 % Cu, opptil 20 g/t Ag, 0.5-1 g/t Au, mens innholdet av Zn er under 0.5 % og Pb under 0.1%. Mineraliseringene er typisk uregelmessige slirer av kobberkis og magnetkis i klorittrike bergarter. Koppervollane-forekomsten som ligger 500 m sør for Verlohrne Sohn og like ved veien opp til Bratt består også av kobberkis-magnetkismineralisering, men er kraftig anriket på arsenkis i enkelte partier (analyser 0.33 - > 10% As). Det er også utført befaring av flere mindre forekomster i dette området i 2008, og mer arbeid og kartlegging er planlagt i 2009.

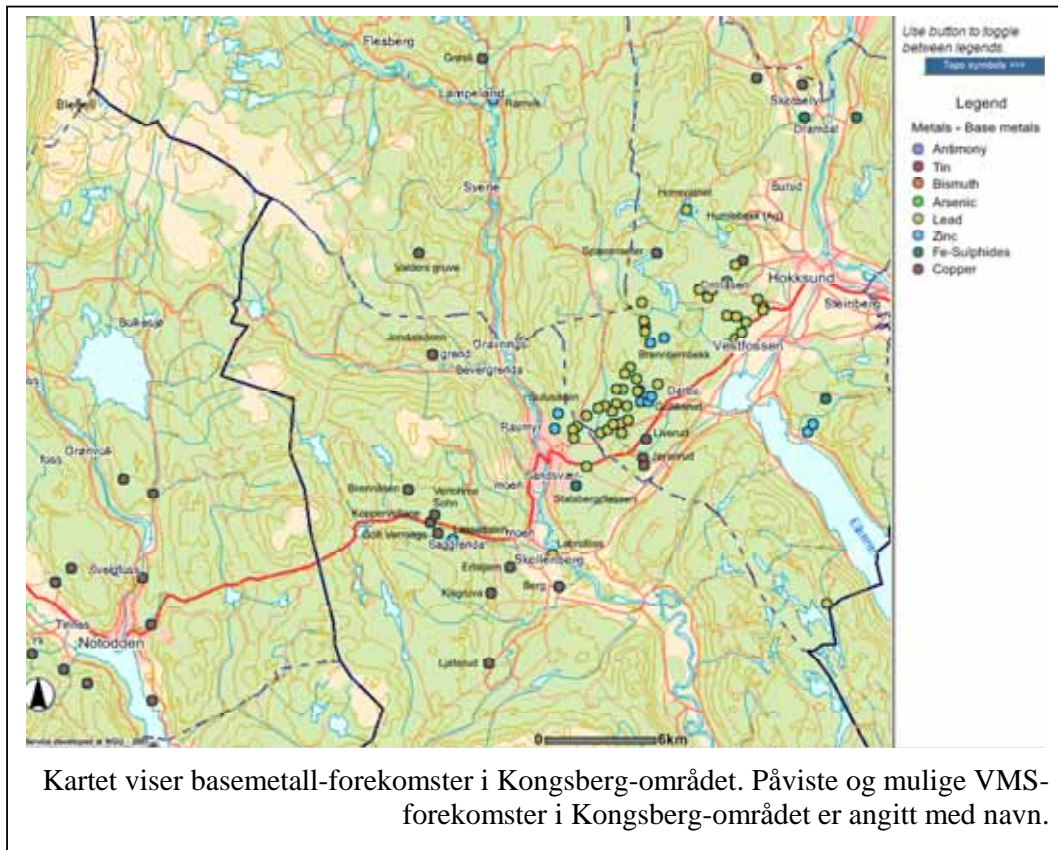
Valders Grube på Vinoren er tilknyttet en av fahlbåndsonene gjennom Kongsbergfeltet. Fahlbåndene omfatter finkornete biotittgneiser og –skifre, dels muskovittskifre, dels grafitt-førende med svak disseminasjon av finkornete Fe-sulfider. Forvitring av sulfidene gjør at fahlbåndene fremstår som rustsoner i dagen. Fahlbåndenes opprinnelse er uklar og de kan representere vulkanogene avsetninger, metamorfe svartskifre eller hydrotermale avsetninger langs skjærsoner. Kisgruva sør for Saggrenda ligger også langs et av hovedfahlbåndene i Kongsbergfeltet. Forekomsten består av en semimassiv til massiv sulfidmineralisering dominert av svovelkis med mindre og varierende mengder magnetkis, kobberkis og sinkblende. I følge borhullsdata inneholder den 0.5-1% Cu, 0.5-1% Zn, ca. 10 g/t Ag, <0.5 g/t Au og 3-400 g/t Se. Det høye selen-innholdet gjør forekomsten interessant, men oppredningsforsøk antyder at det kan være vanskelig å oppkonsentrere metallet. Det er for øvrig anslått at forekomsten kan inneholde 2-3 mill.tonn mineralisering, hvorav 581 000 tonn kan regnes som påvist på grunnlag av boringer på midten av 50-tallet og 70-tallet.



Kartet viser basemetall-forekomster i Kongsberg-området. Påviste og mulige VMS-forekomster i Kongsberg-området er angitt med navn.

Sulfider i fahlbåndsonene ble også tatt ut i forbindelse med utvinningen av sølv flere steder i Kongsberg-feltet. Det gjelder f.eks. i Kongens gruve. For øvrig ligger forekomster som ikke er undersøkt i forbindelse med databasearbeidet også langs disse sonene. Det er på dette grunnlag kanskje mest sannsynlig at fahlbåndsonene på Kongsberg representerer sterkt deformerte hydrotermale avsetninger og omvandlingssoner. Sentra i disse systemene har vært der det er størst oppkonsentrering av sulfider, som på Kisgruveåsen. Det kan derfor godt være et potensial for å finne andre og større forekomster langs disse sonene.

Vurderingen er at dette området i første rekke bør befares nærmere, spesielt ved å følge opp langs sonene hvor det er registrert sulfidmineraliseringer. En del forekomster ble befart i 2008, og nye befaringer er under planlegging.





### **Metallpotensialet i alunskifer**

Alunskifer er en svart karbonholdig skifer som opptrer i den nedre del av den kambro-silurske lagrekke i Oslofeltet.

Det har lenge vært kjent at alunskiferen har et forholdsvis høyt innhold av uran og svovel og representerer vanskelig byggegrunn med radon problemer og optøring av metallrør og betong.

Alunskiferen er imidlertid anrikt på en rekke metaller som kan representere en ressurs når prisene blir høye nok til at utvinning er lønnsom.

I fylkene Buskerud, Telemark og Vestfold opptrer alunskifer i området rundt Modum, i Eiker, Sandsvær og nord for Skien.

Innholdet av metaller er proposjonalt med karboninnholdet i alunskiferen og man vet da at det er øverste kambrium (olenus skiferen) og nederste ordovicium (ceratopyge skifer) som er mest interessant.



Tabell 3 gir følgende gjennomsnittsgehalter for en del metaller i alunskifer

**Tabell 3 Gjennomsnittlig metallinnhold i alunskifer alle data i g/t (gram per tonn)<sup>2</sup>**

Nivå	Ba	Ni	Cr	V	Cu	Mo	Zn	U	Th
Undre Ordovicium	1387	135	180	976	79	93	205	25,4	13,4
Øvre kambrium	2663	154	210	1168	113	210	85	40,1	10,1
Mellom Kambrium	685	96	196	592	80	66	137	31,6	14,5
Undre kambrium	314	59	179	142	29	14	118	2,5	10,4

Normalt vil man betrakte disse konsentrasjonene som lavere enn det som normalt blir betraktet som drivverdige, men i et langsiktig perspektiv må alunskiferen betraktes som interessant.

<sup>2</sup> Data fra Nyland & Teigland, 1984.

## Referanser

- Bryhni, I (2009): Fensfeltet. Artikkel i Store Norske Leksikons nettutgave (30.04.09)  
<http://www.snl.no/Fensfeltet>
- Heincke, B. H; Mogaard, J. O; Rønning, J. S. og Smethurst, M. A (2007) NGU-rapport 2007.021. Kartlegging av thorium, uran og kalium fra Helikopter ved Ulefoss, Nome Kommune
- Nyland B. & Teigland J. 1984: En sedimentologisk og geokjemisk undersøkelse av de kambriske og underordoviciske marine sedimenter i Oslofeltet. Hovedfagsoppgave i geologi Universitetet i Oslo.
- Skjeseth S. 1957: Uran i kambrisk alunskifer i Oslofeltet og tilgrensende områder, NGU bulletin. 203, 100-111.
- Thoriumutvalget, 2008: Thorium som energikilde – Muligheter for Norge. ISBN 978-82-7017-699-1
- Åmli, R. 1974: Rapport. Mineralogisk-Geologisk Museum. Mineralogiske og geologiske undersøkelser vedrørende scandium, niob og sjeldne jordarter i Fensfeltet, Ulefoss.
- Åmli, R. 1977: Carbonatites, a possible source of Scandium as indicated by Sc mineralization in the Fen peralkaline complex, Southern Norway. Economic Geology 72, 855-859.
- Aamo, Jon (2009): Historikk, Søftestad Gruber <http://www.søftestad-gruber.no> (6. mai 2009)