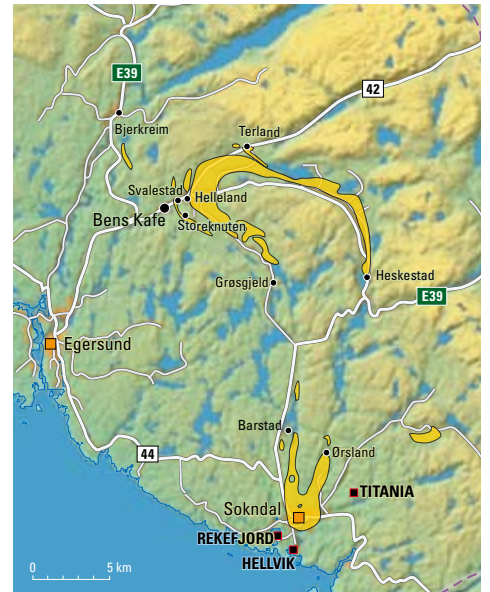


Gamle MAGMAKAMRE kan bli geologisk ressurs

Magmakamre som lå dypt nede i jordskorpen for 900 millioner år siden kan i fremtiden bli en ressurs for en verden med stor appetitt på mineraler. Det er de fruktbare jordbruksområdene i Dalane i Rogaland som har satt forskerne på sporet.





Mineralforekomsten som vi kaller Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen ligger midt inne i Rogaland. Den er en del av Rogaland anortosittprovins som strekker seg fra Jæren og helt til Farsund. Anortosittbergartene gir denne delen av Rogaland et særpreget landskap karakterisert av stupbratte og blankskurte fjellsider, trange kløfter og runde koller, og lite eller ingen vegetasjon. Den økonomisk mest interessante del av mineralforekomsten har et mye mindre omfang enn den egentlige anortosittprovinsen og er vist med lys gul farge.



Dette landskapet er typisk for Rogaland anortosittprovins. Kontrasten mellom de grønne, fruktbare dalstrøkene, hvor jordsmonnet hviler på den apatitrike bergarten noritt, og de bratte, skrinne knausene med anortositt og noritt uten apatitt, er slående.

MAGMAKAMRE

TEKST: Gurli Meyer,
Norges geologiske undersøkelse (NGU)

Har du noen gang kjørt E18 mellom Stavanger og Kristiansand? Og har du stoppet omtrent midtveis og spist soft-is på Bens Kafé i Helleland? I så fall har du akkurat der og da sittet i hjertet av det som engang var en massiv bergartsmelte som trengte inn i grunnfjellet for ca. 900 millioner år siden. Vi kaller det Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen, fordi de størknede bergartene ligger mellom Bjerkreim inne i Dalane og Sokndal ute ved kysten.

Du trenger ikke gå mange meter i retning Kristiansand før du finner akkurat den bergarten vi er interessert i: noritt, med bl.a. mineralene ilmenitt, apatitt og vanadiumrik magnetitt. Ta med en magnet eller et kompass. Dersom magneten din blir hengende på fjellveggen, eller kompassnålen slår ut når du beveger kompasset over steinen, ja da har du kommet til rett plass. Utslaget på kompassnålen skyldes at mineralet magnetitt, slik navnet antyder, er magnetisk.

Hvis du løfter blikket fra kompassnålen, og i stedet skuer utover landskapet, vil du se noen grå fjellknauser med lite eller ingen vegetasjon. Det er fordi knausene består av noritt uten apatitt som *ikke* inneholder de næringsstoffene som plantene trenger. Mellom knausene ligger imidlertid langstrakte dalstrøk med frodig skog og grønne enger. Her er fjellgrunnen rik på næringsstoffer som plantene kan nyttiggjøre seg¹. Det skyldes at bergartene inneholder mineralet apatitt. Apatitt består av bl.a. fosfor, og plantene trenger som kjent fosfor som næring. De fleste gårdene i Dalane ligger i områder hvor bergartene har et lite innhold av apatitt.

Ved å kartlegge vegetasjonen gjør vi altså samtidig en grov kartlegging av bergartene. Geologene har derfor lenge visst at noritten i Dalane inneholder ganske store mengder med mineralene ilmenitt, apatitt og vanadiumrik magnetitt. Det er bakgrunnen for at NGU har kartlagt berggrunnen i detalj og gjort mange forskjellige geologiske undersøkelser.

1) Det er grunnstoffene nitrogen, fosfor og kalium som er viktigst for at plantene skal vokse.

Gurli Meyer er utdannet magmatisk petrolog ved Aarhus Universitet og er nå forsker ved NGU. Hun har i flere år jobbet med Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen for å finne ut om den kan ha interesse som en geologisk ressurs. Her forteller hun en gruppe kommune- og fylkespolitikere om de mulighetene bergartenes mineraler gir for næringsutvikling.

Bergarten noritt inneholder mineralet magnetitt og er derfor magnetisk. Foto: Halfdan Carstens



Foto: Halfdan Carstens



Foto: Halfdan Carstens

Hensikten har vært å finne ut om de verdifulle mineralene finns i så store mengder at de kan ha økonomisk verdi og danne grunnlaget for gruvedrift en gang i fremtiden.

NESTEN SOM DINOSAURER

For mer enn en milliard år siden, sent i urtiden, drev alle Jordens kontinenter mot hverandre og ble sammensveiset i superkontinentet Rodinia. I kollisjonene mellom kontinentene oppstod en rekke fjellkjeder. Én av disse er Den svekonorvegiske fjellkjeden, som vi finner rester etter både i Norge og Sverige. Omtrent 60 millioner år etter fjellkjededannelsen smeltet en del av mantelen og den aller nederste skorpen i et begrenset område.

Den smeltede steinen - magmaet – seg

oppover i jordskorpen, og på vei oppover krystalliserte smelten gradvis. Etter en reise på om lag 20 km stoppet magmaet på et nivå der tettheten i skorpebergartene tilsvarte magmaets tetthet. Mer og mer magma strømmet opp, og det oppstod kilometerstore ballong- eller skålformede legemer som rommet store mengder krystallisert magma. Disse legemene kaller vi magmakamre. Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen var et slikt magmakammer for over 900 millioner år siden på ca. 20 kilometers dybde i Den svekonorvegiske fjellkjeden.

Et slikt magmakammer, hvor magmaet får god tid på seg til å krystallisere fra flytende til fast form, vil fungere som et raffineri. Over tid vil ulike mineraler enten begynne eller slutte å krystallisere pga. endringer i magmaets sammensetning. Derfor får vi avgren-

NORITT

Det var geologen Jens Esmark som i begynnelsen av forrige århundre var opphavsmann til navnet noritt (etter Norge). Noritt er en grovkornet mørk grå bergart som i hovedsak består av feltspat og pyroksen samt mindre mengder olivin, ilmenitt, magnetitt og apatitt. Bergarten er fri for kvarts. Noritt størkner i dypet (dypbergart) og hører med til våre magmatiske bergarter.

sede soner som karakteriseres av spesielle mineraler. Vi får et lagdelt kammer. Noen av sonene vil for eksempel ha mye apatitt fordi magmaet har nådd metningspunktet for nettopp apatitt. Under krystalliseringen har det blitt tilført nytt magma i flere pulser. Det nye magmaet avbrøt krystallisasjonsforløpet og nullstilte raffineriet. Dette skjedde i alt seks ganger i Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen før tilførselen fra dypet tok slutt.

Det er mulig å studere slike tilførselsepisoder direkte i dagen i form av grenser mellom bergarter med og uten apatitt slik som på bildet fra Storeknuten.

I tiden etter at intrusjonen størknet har overflateprosesser og tektoniske bevegelser fjernet 15-20 kilometer med steinmasser – millimeter for millimeter – og, ved hjelp av isens og vannets eroderende krefter, gitt oss det landskapet vi har i dag.

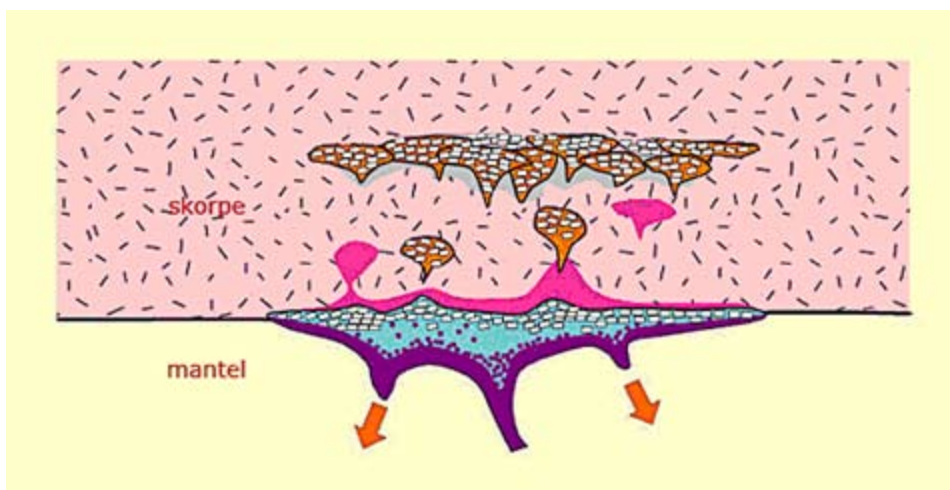
Det å se et magmakammer på jordskorpens overflate er minst like unikt som å kunne se fossilet av en dinosaur. På samme måte som fossile dinosaurer viser deler av dyrelivets utvikling, er magmakammer fra dypt nede i jordskorpen øyeblikksbilder fra jordskorpens utvikling.

TIDLIGERE ARBEIDER

Det har vært drevet geologiske undersøkelser i Dalane i nesten 200 år. En av de første skriftlige kilder er fra 1823. Geologen Jens Esmark seilte da fra Oslo (Kristiania) til Bergen, og på reisen beskrev han geologien langs kysten. Særlig la han vekt på det han så mellom øya Hydra og byen Egersund, bergartene som tilhører det vi i dag kaller Rogaland anortosittprovins og som Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen med noritt tilhører.

Etter at Esmark gjorde sin reise, har mange norske og utenlandske geologer og gruveingeniører interessert seg for området, ikke minst på grunn av områdets rike jern-titanmalmer.

Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen har derfor vært gjenstand for nitidige undersøkelser



Det blå og lilla område på grensen mellom skorpen og mantelen viser hvordan vi tenker oss at et magmakammer ser ut. Fra dette dyptliggende kammeret stiger det periodevis magma oppover i jordskorpen, og det dannes ballong eller skålformede magmakammer høyere opp. De oransjefargede boblene med hvite flekker er anortositt. De rosa legemene er noritt.



Storeknuten sør for Helleland. Legg merke til den skrå grensen markert med piler: Dette er grensen mellom noritt med apatitt (til venstre) og noritt uten apatitt (til høyre).

gjennom årtier. De mest omfattende studiene har blitt gjort av professorer, doktorgradsstudenter og hovedfagsstudenter ved Universitetet i Bergen, Universitetet i Århus i Danmark og Universitetet i Liège i Belgia.

Vårt arbeid, som foregikk i perioden 1999 til 2004, er i tillegg basert på undersøkelser i samarbeid med Norsk Hydro Agri (nå Yara). Vi har lenge visst at det er ilmenitt, apatitt og magnetitt i de norittiske bergartene i Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen. Utfordringen har vært å lokalisere og undersøke soner hvor de tre mineralene er til stede samtidig, samt å bestemme mengden av og sammensetningen av mineralene.

HVA HAR VI GJORT?

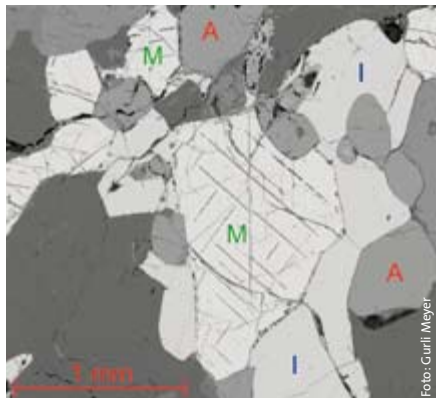
Vi har valgt ut 15 lokaliteter og studert lagdeling og mineralogi i stor detalj. Fra hver lokalitet er det samlet inn prøver langs profilinjer på tvers av lagdelingen. Å samle prøver foregår med slegge. En slår rett og slett biter av fjellet.

I løpet av de seks år prosjektet varte samlet vi inn over 180 prøver og noterte om de kommer fra mørke eller lyse lag. Hver **prøve** blir delt i tre porsjoner. En knyttnevestor bit blir tatt vare på for ettertiden. En annen og noe større bit (> 1 kg) tas med til **finknusing** og analyse av alle **grunnstoffer** i bergarten. Ut i fra slike analyser har vi beregnet mengden av de enkelte **mineraler**. En siste liten bit av prøven tas med til laging av **tynnslip** (ultratynne gjennomsiktige skiver av bergarten).

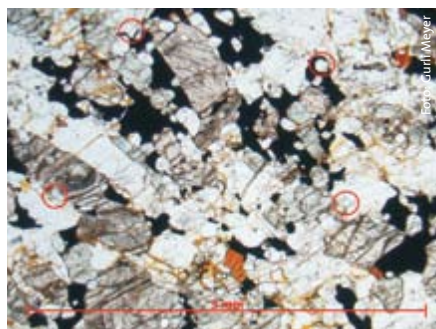
Tynnslipene har vi brukt til to formål: Først til å studere i mikroskop og finne ut om prøven inneholder ilmenitt, apatitt og magnetitt, og etterpå til å analysere kvaliteten av de tre mineralene (dvs. det absolutte innholdet av gitte metaller som magnesium og vanadium).

HVOR STOR ER RESSURSEN?

Et forsiktig anslag for størrelsen på ressursen for de tre sonene i Bjerkreim-Sokndal-in-



Bilde fra elektronmikroskop som viser forskjeller i sammensetning mellom de ulike mineralene. A: apatitt, I: Ilmenitt, M: Magnetitt. Øvrige mineraler er plagioklas (feltspat) og ortopyroksen.



Tynnslip av ilmenitt, magnetitt og apatittrik noritt fotografert i mikroskop med planpolarisert lys. De svarte mineralene er ilmenitt og magnetitt, de helt lyse områdene er plagioklas (feltspat), og de "støvete" blå- til brunlige mineralene er pyroksener. Fire eksempler på apatitt er framhevet med rød ring.

trusjonen er 282 millioner tonn malm (ned til 100 m dybde) med et gjennomsnittlig innhold på 13,4 % ilmenitt, 8,9 % apatitt og 8,6 % vadiumrik magnetitt. Til sammenlikning er den økonomiske ressursen i Tellnes som Titania driver på ca. 400 tonn malm, men den har et mye høyere innhold av ilmenitt (opptil 30 %).

Fluorapatitt er den mest attraktive type apatitt for verdensmarkedet, og det er nettopp denne typen vi finner i Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen. Innholdet av apatitt ligger på samme nivå eller litt lavere enn en forekomst i Finland som det i dag drives på. Fabrikken som bearbeider apatitten ligger imidlertid rett over forekomsten, slik at de slipper store transportkostnader.

Vanadiuminnholdet i magnetitten kan ikke sammenlignes med de rike malmene i Sør-Afrika. Som et biprodukt fra produksjonen av ilmenitt og apatitt kan vanadiumholdig magnetitt likevel bidra til å gjøre Bjerkreim-Sokndal-forekomsten økonomisk interessant.

MULIGHETER FOR DRIFT

Mengden av et mineral i en forekomst er langt på vei bestemmende for om den kan være lønnsom. På Kolahalvøya ligger det en apatittgruve som inneholder over 30% av det verdifulle mineralet. I Sør-Afrika utvinnes magnetitt fra en gruve som drives på nesten ren magnetitt. Og i Rogaland driver Titania på en forekomst med bortimot 30 % ilmenitt.

I Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen utgjør summen av de tre mineralene apatitt, ilmenitt og magnetitt bare ca. 30 %. Hvert mineral kan derfor ikke alene gjøre denne forekomsten til en økonomisk ressurs med dagens priser på verdensmarkedet.

Det er kombinasjonen av ilmenitt og apatitt som gjør at Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen kan være verdifull. Vanadiumrik magnetitt kan i tillegg være et vesentlig biprodukt. Men i praksis vil driften på tre mineraler fra én og samme forekomst til en hver tid være mer utfordrende enn driften på ett mineral.

I lys av dagens situasjon kan det derfor synes litt tidlig å snakke om Bjerkreim-Sokndal-intrusjonen som en økonomisk ressurs. Deler av forekomsten er imidlertid mutet av to ulike selskaper. Det er nemlig flere faktorer som taler for at intrusjonen kan bli en økonomisk ressurs i fremtiden.

For det første er det allerede mange bergverksbedrifter i Dalane, og et samfunn som fra før har en aktiv bergverksindustri vil ha større velvilje overfor nyetableringer enn et samfunn helt uten gruvehistorie. Nærheten til sjø og god infrastruktur i form av større og mindre veier og jernbane gjennom forekomsten er også bra. En tredje faktor er den generelt økende interesse for apatittforekomster innenfor EU/EØS-landenes områder. Bare Nederland, Belgia og Luxemburg har en liten eksport av fosfatholdige bergartsmaterialer. Stort sett alt fosfatmateriale importeres i dag til europeiske land.

Muligheten for å bruke naturgass i utvinningsprosessen er en faktor som kan være med å gjøre Bjerkreim-Sokndal-forekomsten interessant i fremtiden. Rogaland ligger så måte gunstig til for ilandføring av naturgass.

I Norge er Yara viktigste aktør som avtaker for apatitt. Men ettersom produksjon av apatitt alene fra denne forekomsten i dag ikke er bærekraftig, må andre aktører inn i bildet, og det er her vi står i dag. Vi venter på et gruveselskap som kan ha interesse av ilmenitt eller vanadiumrik magnetitt med apatitt som et bærende biprodukt.

APATITT

Apatitt er et mineral som inneholder mye fosfor og brukes som råstoff for produksjon av kunstgjødsel. Bjerkreim-Sokndal-intrusjonens apatittholdige bergarter gjødsler derfor seg selv og forklarer de gode vekstvilkårene i området.

ILMENITT

Ilmenitt er et ugjennomsiktig og mørkt metallglinsende mineral. Har du med en magnet på din jakt etter mineraler, kan du skjelve ilmenitt fra magnetitt; de ser tilnærmet likedan ut, men ilmenitt er ikke magnetisk.

Ilmenitt inneholder grunnstoffet titan. Det brukes i metallkonstruksjoner som må være lette og ha stor styrke. Eksempelvis er mange brilleinnfatninger laget i titan. Et annet eksempel er kunstige hofte- og kneledd.

Et mer omfattende bruksområde er imidlertid titanholdig pigment fra ilmenitt. Pigmentet brukes som hvitfarge og fyllstoff i blant annet maling, plast og papir, og tablettar som er hvite kan inneholde titandioksid. I matvareverdenen går titandioksid også under betegnelsene E-171 eller sin kjemiske formel TiO₂. Se etter betegnelsen titandioksid eller titanhvitt neste gang du leser innholdfortegnelser på foreksempel hvitt tannpasta.

Ilmenitt produseres av Titania A/S som ligger like ved Egersund (Hauge i Dalane). Gruven driver på verdens nest største forekomst. Bare i Kina er det en forekomst med en større ilmenitressurs enn i Rogaland.

MAGNETITT

Magnetitt (eller magnetjernstein) ligner på ilmenitt, men skiller seg tydelig fra ilmenitt ved å være magnetisk. Magnetitt er en viktig kilde til jernutvinning. Det som gjør magnetitt fra Bjerkreim-Sokndal intrusjonen interessant er at mineralet inneholder mindre mengder vanadium.

VANADIUM

Vanadium har helt spesielle egenskaper fordi det i ren form kan vales til tynne folier med ulike isolerende egenskaper (isolerer mot for eksempel korrosjon, radioaktivitet og infrarødt lys, men ikke mot vanlig hvit lys). Vanadium er også en viktig komponent i elektriske brenselceller og store batterier. Men det brukes fortrinnsvis som legeringsmetall. En viktig legering er ulike typer rustfritt stål. Spesialinstrumenter som tannlege- og legeinstrumenter framstilles for eksempel i denne typen stål.