

Rapport nr.: 99.110		ISSN 0800-3416	Gradering: <del>Konfidensiell</del> <i>Åpen 25.01.05</i>
Tittel: Anataseforekomsten på Geiteryggen (Dyrfonni)			
Forfattere: Maarten A.T.M. Broekmans		Oppdragsgiver: Knut Moltu, Tau	
Fylke: Hordaland		Kommune: Eidfjord	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. u og -navn (M=1:50.000) Eidfjord 1415 IV	
Forekomstens navn og koordinater: Geiteryggen		Sidetall: 19	Pris: XXX,-
Feltarbeid utført: aug-sep 1999		Rapportdato: 11.11.1999	Prosjektnr.: 2725.00
		Ansvarlig: <i>[Signature]</i>	
Sammendrag:			
<p>Anatas fra Hardangervidda er verdensberømt og svært ettertraktet av samlere.</p> <p>Årene som fører anatas på Geiteryggen tilhører den tredje og fjerde generasjon (<math>V_3</math>, henholdsvis <math>V_4</math>) i området. Hovedmineral er kvarts i <math>V_3</math>, og albitt i <math>V_4</math>. Der <math>V_3</math>-årene blir krysset av <math>V_4</math>-årene vokser de største og peneste anataskrystaller. Før ble det tatt ut flere hundrede stuffer, og bare i det siste året sikkert over tohundre. De siste ble solgt til mer enn kr700.000 på internasjonale mineralmesser. Dermed ligger prisen per 300 stuffer godt over en million norske kroner.</p> <p>Det er ikke mulig å gi en økonomisk totalvurdering av forekomsten ettersom det er ikke kjent hvor mange stuffer det finnes igjen, eller hvor stor egentlig forekomsten er. Det er kjent at det er drusene i de kryssende årene som leverer de mest interessante stuffer, men det er ikke mulig å si hvor mange av disse finnes igjen. Basert på i utgangspunktet håndmessig drift og på klimaforholdene anses årlig uttak som å være omkring 'noen tonn'.</p>			
Emneord: Mineralogi	Anatas	Mineralsamling	
Bergkrystall			

## FORORD

Anatas er et mineral som er svært ettertraktet hos mineralsamlere over hele verden, på grunn av både sjeldenhet og utseende, og derfor høy pris. De viktigste forekomster med stuffer i verdensklasse ligger i Kanada, Brasil, og på Hardangervidda. De fleste norske forekomster ligger i fredet område (nasjonalparken), men ikke forekomsten på Geiteryggen (også kalt for 'Dyrfonni'). Nasjonalparken på Hardangervidda er stort og er temmelig utilgjengelig på grunn av klimaet og relieff. Derfor er regelmessig kontroll vanskelig å utføre, og uvedkommende har som regel fri spill.

Området der Geiteryggen-forekomsten ligger på mutes av K. Moltu/Tau, og han har i fjor ikke gitt tillatelse for uttak av materiale. Likevel ble denne forekomsten i fjor ranet for cirka tohundre (!) anatasstuffer, og denne produksjonen ble solgt på mineralmesser i Tyskland (München) og USA (Tucson, AZ), til omtrent syvhundretusen norske kroner.

## 1 KONKLUSJON

Årene som fører anatas på Geiteryggen tilhører den tredje og fjerde generasjon ( $V_3$ , henholdsvis  $V_4$ ) i området. Hovedmineral er kvarts i  $V_3$ , og albitt i  $V_4$ . Der  $V_3$ -årene blir krysset av  $V_4$ -årene vokser de største og peneste anatastkrystaller. Før ble det tatt ut flere hundrede stuffer, og bare i det siste året sikkert over tohundre. De siste ble solgt til mer enn kr700.000 på internasjonale mineralmesser. Dermed ligger prisen per 300 stuffer godt over en million norske kroner.

Det er ikke mulig å gi en økonomisk totalvurdering av forekomsten ettersom det er ikke kjent hvor mange stuffer det finnes igjen, eller hvor stor egentlig forekomsten er. Det er kjent at det er drusene i de kryssende årene som leverer de mest interessante stuffer, men det er ikke mulig å si hvor mange av disse finnes igjen. Basert på i utgangspunktet håndmessig drift og på klimaforholdene anses årlig uttak som å være omkring 'et par tonn'.

## 2 INNLEDNING OG GJENNOMFØRING

Anatas forekommer på Geiteryggen i grunnmassen som finfordelte små korn, og som fritt vokste krystaller på kvarts og lavtemperatur Na-plagioklasen adular, samt med noen andre mineraler. Bare de fri vokste krystaller er av interesse for mineralsamlere, og disse forekommer i druser (hulrom) i årer.

Noen mineraler forekommer i riktig store krystaller opp til flere meter størrelse og/eller flere tonn i vekt for de allerstørste eksemplarer [1,2]. Dette gjør ikke anatas, de største krystallene er kun flere centimeter høye. Dermed er dog norsk anatas fra Hardangervidda av verdensklasse: krystallene er meget pent utformet med sylskarpe kanter, har som regel en veldig høy, metallaktig glans, og er vokst på hvit eller nærhvit adular. Fargen varierer fra brunaktig via saffirblå til fargeløs, ofte i en og det samme krystall.

Norsk anatas ble omtalt regelmessig i faglige tidsskrifter og messe kataloger, pressemeldinger og amatør tidsskrifter, og ble ofte brukt i lærebøker som illustrasjonsmateriale. Samlere betaler gjerne og uten å nøle flere titalls tusen norske kroner for de beste stuffer, og noen av de aller beste stuffer har funnet sin vei til museer over hele verden. Utfra økonomisk hensyn er det altså interessant å vite hvor stor forekomsten på Geiteryggen er, om det finnes mer anatas der eller om den er tom.

Fjellmassen i området består av mørke grått eller grønt 'kalkfri fyllitt', ifølge det foreløpige geologiske kartet [3]. I fjellmassen finnes det flere generasjoner av årer som kan skilles på grunn av ulik struktur og/eller mineralogi. Noen av årene inneholder anatas, og feltarbeidet var rettet mot å finne sammenheng mellom årene og demmes mineralinnhold. Dermed skulle det være mulig å fastslå hvilke årer fører anatas i fri vokste krystaller, med hensikt til framtidig uttak av samlerstuffer. Feltarbeid ble utført fra 30. august til 3. september 1999 av Maarten Broekmans fra NGU.

## 3 RESULTATER

### 3.1 Geologisk struktur

Ifølge det foreløpige kartet av Jorde (1978) [3] består området på Geiteryggen av kalkfri fyllitt, som ligger som en kaledonsk nappe på grunnfjellet. Grunnfjellet kommer i dagen omtrent to kilometer fra Geiteryggen, både rett mot nord og rett mot øst.

Fyllitten varierer i farge fra svart eller antrasitt til grønn. Den svarte fyllitten virker mest finkornet, den grønne er derimot litt mer grovkornet med synlige flak av kloritt. Svart fyllitt forekommer mest mot nordøst. Stedvis opptrer det noen tynne benker av en mer grovkornet, gul- eller brunaktig sandstein.

fyllitten er intensivt foldet, ofte isoklinal og i flere generasjoner med stadig forskjellige akseplaner. Noen ganger opptrer det metamorf lagdeling parallell på akseplanet, som krysser den opprinnelige sedimentære lagdelingen. Biotitt er klart synlig i tynnslip i såkalte trykkskygger rundt rigide korn av magnetitt, men opptrer ikke makroskopisk. Nydannet muskovitt er vidspredt.

En nærmere beskrivelse av området i sin helhet finnes i [4].

### 3.2 Årer

I fyllitten opptrer det opp til fire åre-generasjoner, med kvarts som hovedmineral.

Den eldste åre-generasjonen ( $V_1$ ) er dannet parallelt til den opprinnelige sedimentære lagdeling ( $S_1$ ) og er intensivt foldet, ofte isoklinal. Stedvis utgjør andelen av  $V_1$ -årer opp til >30vol% av hele fjellmassen, ellers kan det være mindre enn 5vol%. De årene består kun av kvarts og er som oftest linseformet. Årenes form viser at deformasjon må ha vært plastisk, ikke sprøtt. Årenes orientering varierer betydelig ettersom de ble kraftig deformert.

Den nest yngre generasjon ( $V_2$ ) krysser  $V_1$ -årer, og de er ofte lang og tynn.  $V_2$ -årer følger den metamorfe separasjonslagdelingen  $M_1$ , som henger sammen med deformasjon  $D_1$ .  $M_1$  er bare stedvis såpass utviklet at den er synlig (bare på NV-SØ overflater i dagen) og viser seg da som avvekslende lysere og mørkere lag av centimeter tykkelse. Det trenges tynnslipsanalyse for å fastslå hva lagdelingen  $M_1$  betyr i petrografiske termer.  $V_2$ -årene består av massiv kvarts, og inneholder av og til noen mindre druser med bergkrystall. Stedvis utgjør de opp til 20vol% av hele fjellmassen, eller mangler de fullstendig. De er isoklinal eller ptygmatisk foldet (plastisk), og blir krysset av yngre  $V_3$ -årer.

V<sub>3</sub>-årene er stedvis opp til to og halv meter mektig og fører kvarts. Årer av denne typen er ikke foldet, men fører langs sidene til dels en breksje av oppknust fyllitt, som er da ofte bleikere enn den opprinnelige. Om det er flere årer som går sammen eller kun ei åre med stedvis flere forgreininger er ikke klart. Den virker å følge stort sett topografien av (Geite-) ryggen, i sørøstlig retning. På 1580m.o.h. mot sørvest holder åren opp. Åren dykker omtrent 45° mot nordvest, men siden den bølger i fjellet varierer denne retningen noe.

I de tykkeste deler av V<sub>3</sub>-åren finnes det ofte druser med frivokste kvartskrystaller. Av og til er det vokst på små krystaller av anatas, noen ganger er de helt inngrodd. Disse anataser er da alltid dipyramidal; eventuelle toppflater er svært små eller mangler fullstendig. Bortsett fra druserom bør V<sub>3</sub>-åren i sin helhet oppfattes som vokst tett.

V<sub>4</sub>-årer tverrsnitt V<sub>3</sub>-åren(-e). V<sub>4</sub>-årer står nesten loddrett og defineres best som åpen sprekk. Der de krysser er V<sub>3</sub>-årer breksierte, og fyllittklumpene virker 'bleiket'. V<sub>4</sub>-årer kommer kun sjelden i dagen, og er oftest tynne, mindre enn 1cm. Dette gjør det vanskelig å si på forhånd fra utsiden hvor de to siste åregenerasjoner krysser, og om de kryssningene fører anatas.

Veggene av V<sub>4</sub>-årene er påkledd med små krystaller av adular (opp til 2mm, sjeldent større), og derpå sitter anataskrystaller. Også finnes det dobbelt terminerte kvartskrystaller som ligger flat på adular. Sjelden opptrer det titanitt i små (1-2mm) gul-brunaktige keilformete krystaller, oftest tvillinger, og stedvis er det drapert tynne 'hinner' av mørkegrønn kloritt over alt annet. Dessuten finnes det små flak av rødlig gjennomskinnende brookitt på adular, noen ganger delvis sammenvokst med anatas.

Anataskrystallene som ble funnet varende utførelse av feltarbeidet var av meget høy kvalitet, bare at de var oftest noe skadet på kantene eller ripet. Størrelsen er opp til flere centimeter, og noen bruddstykker hadde toppflater med 1cm kantlengde. Dette impliserer at hele krystallen må være 3-4cm stor, om ikke større. Hvis anataskrystaller av denne størrelsen er uskadd og rene, og sitter fast på adular eller kvarts som underlag, da tilhører dem uten tvil til toppen i verdensklasse. Slike stuffer utstilles i museer, osv. Mest vanskelig er selve uttaket av slike stuffer, og etterkommende transport. At forekomsten har potensiale til slike stuffer er blitt bevist i fjor av det da uttatte materialer.

### 3.3 Mineralogi og dannelse

#### *Kvarts ( $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>)*

Her er det snakk om lavkvarts ( $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>) med trigonal symmetri som dannes ved temperaturer lavere enn 573°C; ved høyere temperaturer dannes heksagonal høykvarts ( $\beta$ -SiO<sub>2</sub>). (Det finnes forresten flere enn ti ulike modifikasjoner av SiO<sub>2</sub> [5].) Overgangene  $\alpha$ - $\beta$  og  $\beta$ - $\alpha$  innebærer kun en enkel symmetri-endring i gitteret, og derfor er de både øyeblikkelig og reversibel. Faseoverganger av denne typen kalles for 'adjustive transformations'.

Både  $V_1$ - og  $V_2$ -årene inneholder bare kvarts, og de er helt vokst tett med det. Muligens har de stått åpen før, men er de blitt trykket sammen på grunn av senere deformasjon.  $V_3$ -åren(-e) fører hovedsakelig kvarts, og i de tykkeste partier opptrer det stedvis druser med fri vokste krystaller av kvarts og anatas.  $V_4$ -årene fører adular, anatas, brookitt, kloritt, kvarts, og titanitt. De krystallformene gjør det mulig å si noe om  $V_3$ - og  $V_4$ -årenes dannelsesforholdene.

Krystallformene av kvarts eller bergkrystall henger sammen med vekstforholdene. Langt de fleste kvartser er såkalte Bambauerkvartser, som betyr at krystallene har en lamellær oppbygging [6]. Kvartser med mosaikkoppbygging (Friedländerkvartser) er meget sjeldne i  $V_3$ -årene på Geiteryggen. Bambauer kvartser er ofte rik i spesielle flater, noe som interesserer samlere som spesialiserer seg på bare kvarts. Og kun i forbindelse med Bambauer kvartser opptrer det såkalte japaner tvillinger, ikke sammen med Friedländer kvartser [6].

Såkalte Japaner tvillinger har blitt funnet ved Matskorhea, en annen velkjent anatasforekomst på Hardangervidda [7]. På Geiteryggen forekommer det flate kvartskrystaller, og bruddstykker som ligner på deler av japaner tvillinger har blitt funnet, men ingen hele krystaller (enda?).

Det forekommer også dobbelendene, det vil si: to-sidig terminerte bergkrystaller. Disse er ofte festet på bunnen av  $V_4$ -årer etter de ble brukket av fra veggen av tektoniske bevegelser, sannsynligvis breksieringen i  $V_4$ -årer. Noen av dobbelendene er helt frivokst, såkalte 'floaters', og noen av disse har anatas på prismeflatene. Slike kvartskrystaller har vokst helt fritt mens de ble båret av kalsitt (eller et annet mineral) som senere ble løst bort.

Alle krystallformer av 'frivokst kvarts' tyder på at årene ble dannet ved 'lav temperatur', som ble bekreftet av sammensetning av gass/væske mikroinnlutninger i kvarts [7] fra anatas forekomsten ved Matskorhea. 'Fyllingstemperaturen' av innlutningene ble da estimert rundt  $140^{\circ}\text{C}$ , en temperatur som passer bra med øvrige observasjoner (les videre). Også for det her prosjektet ble det laget et dobbelsidig polert tynnslip for observasjoner på fluide innlutninger rundt innesluttede anataskrystaller, men på grunn av tidsmangel og tilgjengelighet av utstyr ble slike analyser ikke gjennomført.

#### *Anatas, brookitt og andre $\text{TiO}_2$ -modifikasjoner*

Årene på Geiteryggen er interessante på grunn av anatas som er et svært ettertraktet mineral hos samlere. Anatas danner svært attraktive, mørke krystaller med meget høy metallglans. Ifølge litteraturen er anatas et forholdsvis rent mineral med typisk mindre enn 1wt% urenheter som Fe, Mn, Nb/Ta, og andre [8], noe som også gjelder for andre  $\text{TiO}_2$ -modifikasjoner.

I naturen forekommer det fire mineraler som har den ideelle sammensetningen  $\text{TiO}_2$ . Disse er:

- rutil, som er termodynamisk sett mest stabil, og derfor mest utvidt;
- anatas, som er noe mindre stabil enn rutil og derfor sjeldnere;
- brookitt, som er langt mindre stabil enn anatas, og derfor enda sjeldnere;
- såkalt  $\text{TiO}_2$ -B, nylig oppdaget som 'patcher' i naturlig anatas [9].

Alle de fire modifikasjoner har sammensetning  $\text{TiO}_2$  men med meget ulik krystallstruktur, det vil si at atomene i enhver modifikasjon er anordnet på ulik måte [10]. Faseoverganger mellom  $\text{TiO}_2$ -modifikasjoner er trege siden de involverer betydelige endringer i krystallgitteret (såkalte 'reconstructive transformations', som motsetning til 'adjustive'), og derfor er de hverken øyeblikkelig eller reversibel. Dette innebærer at rutil, anatas, brookitt og  $\text{TiO}_2$ -B kan (men ikke bør) forekomme i samme bergarten, og selv kan være tett sammenvokst. Anatas, brookitt og  $\text{TiO}_2$ -B er alltid metastabil i forhold til rutil.

Rutil er beskrevet fra Matskorhea [7] som frivokste krystaller og som Venushår i kvarts, men har ikke blitt funnet på Geiteryggen.

Krystallformene av anatas varierer fra sted til sted, og fra prøve til prøve. Krystaller vokst på kvarts i  $V_3$ -årer viser typisk dipyramider med steile kanter, dvs. steilere enn de egyptiske pyramider. Sidene er ofte stripet eller riflet, og sammenvoksing av flere krystaller er vanlig. Krystaller av anatas innesluttet i kvarts er bestandig dipyramidal, uten unntak.

Anatas vokst på adular i  $V_4$ -årer har derimot ofte velutviklede basalflater [001] som er kun små eller/og mangler fullstendig på de anatasene vokst på kvarts. I noen enkelte tilfeller er [001]-flater ekstremt store på anatas fra  $V_4$ -årer slik at krystallene blir nesten tablettformet. Ifølge litteraturen er størrelsen av [001]-flaten temperaturavhengig [?], slik at tablettformet anatas må ha blitt dannet ved lavere temperatur enn dipyramidal anatas.

Den høye brytingsindeksen på rundt  $2,5_{\text{luff}}$  gjør at krystaller eller/og bruddstykker av anatas er bare gjennomskinnende og ikke gjennomsiktig; det er *ikke* på grunn av store mengder med innslutninger. Observasjoner med stereomikroskop og i tynnslip viser at fargen varierer fra fargeløs til brun og blå, ofte i samme krystall. Deler med ulike farger er tett sammenvokst, i alle mulige kombinasjoner. Ofte er blå og brun anatas sammenvokst som 'fingrer i bønn', som tyder på polysyntetiske tvillinger liksom i feltspat. Pleokroisme i anatas fra Geiteryggen er svak og kun synlig i tjukke slip. Polysyntetiske tvillinger i anatas kan være interessante av mineralogiske grunn, ettersom  $\text{TiO}_2$ -B forekommer i det [9].

Brookitt opptrer på Geiteryggen som tynne, riflete og rødslig gjennomskinnende flak med metallglans. Det er bare funnet noen løse bruddstykker, og kun en mikrostuff av brookitt sammenvokst med anatas og adular, som tyder på at den tilhører  $V_4$ -årene. Også dette peker på at mineraliseringen har skjedd ved lav temperatur, sikkert fra samme ordensstørrelse som på Matskorhea [7], det vil si  $150^\circ\text{C}$ .

#### *Adular ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )*

Adular er en lavtemperatursform av plagioklas, med som regel en sammensetning nær ren albitt. Adular danner ruteformete krystaller, som regel med polysyntetiske tvillinger parallell

til b-akse. Dette har de fra Geiteryggen også. Størrelsen varierer vanligvis fra 2-4mm, men det forekommer druser med krystaller opp til 15mm.

#### *Pyritt ( $FeS_2$ )*

I mineralselskapet opptrer det også pyritt i krystaller på adular. Oftest er pyritt delvis eller fullstendig omvandlet til limonitt. Små flekker av malakitt eller krysokoll i limonitt impliserer at det fantes noe kobber, muligens chalkopyritt ( $CuFeS_2$ ).

#### *Titanitt ( $CaTiSiO_5$ )*

Gamle navnet for mineralet er sfen, bare titanitt er offisielt anerkjent. På Geiteryggen forekommer mineralet som 1-2mm store V-formete tvillinger, vokst på adular, ofte sammen med kloritt. Fargen av titanitt er gulaktig liksom honning, og titanitt med likedan utseende er velkjent fra Alpene.

#### *Kloritt ( $[Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn, Al]_{12}[Si, Al]_8O_{20}[OH]_{16}$ ), og leirmineraler*

Opptrer som finstøvet pålegg på adular og kvarts, noen ganger sammen med titanitt. Kloritt overdekker også anatas; det ble altså dannet 'sent'. Fargen varierer noe men er alltid grønt.

Som siste er stoffene oftest dekket av en tynn lyse- til mørkebrun sjikt av leirmineraler, av ukjent sammensetning. Det er uklart om de ble dannet i siste fasen av åredannelsen, eller som sen forvittringsprodukt av fyllitt på grunn av eksponering til vær og vind.



## 4 KONKLUSJONER

### 4.1 Etter feltarbeidet

- 1 Hele området er metamorf omdannet ved lav temperatur, med grønn klorittfyllitt, og svart biotittfyllitt. Dette impliserer at det må finnes en biotitt-inn isograd som ikke står på det foreløpige kartet.
- 2 Det opptrer fire åregenerasjoner i det undersøkte området, fra  $V_1$  (eldst) til  $V_4$  (yngst).
- 3  $V_1$  og  $V_2$ -årer er utbredt over hele området, og er foldet av senere deformasjon. De er små (opp til 0,1-0,2m) men kan utgjøre en betydelig volumandel av hele bergarten og fører bare kvarts. Druser finnes ikke.
- 4  $V_3$ -årer kan være opp til 2,5m mektig, og er ikke plastisk deformert eller foldet. Druser med kvartskrystaller er vanlig i mektige deler. Anatas opptrer som dipyramider vokst på (eller inngrodd i) kvarts. Bergkrystallene i seg selv kan også ha økonomisk verdi.
- 5  $V_4$ -årer er tynne, og veggene er påkledd med mm-store krystaller av adular. Der de krysser  $V_3$ -årer er de siste breksierte, og den breksierte fyllitten virker da bleiket. Krystaller av anatas er størst der  $V_4$ -årer krysser  $V_3$ -årer, altså i de breksierte deler.
- 6 Krystallasjonsrekkefølge i  $V_3$ -årer er: kvarts i druser ± anatas, og i  $V_4$ -årer adular ± kvarts doppelendere ± anatas ± brookitt ± titanitt ± kalsitt (nå borte), kloritt, og til sist leirminerale. Mineralselskapet er indikativ for dannelse ved temperaturer  $<180^{\circ}\text{C}$ , mens krystalliseringsfølgen tyder på fallende temperatur under krystallisering.
- 7 Det er ikke mulig å forutsi hvor det forekommer flere breksierte deler i  $V_3$ -åren, som kunne føre økonomiske mengder av samler-anatas. Derimot virker det usannsynlig at forekomsten er tomt for anatas, men hvor stor potensialet er, er ukjent.

### 7.1 Noen generelle bemerkelser

Total uttatt mengde (september 1999) er gjettet som  $25-30\text{m}^3$ , omtrent 70-80tonn. Dette inkluderer åremateriale (kvarts, adular, osv), anatas, og en god del fyllitt. Disse materialer har forholdsvis vært 'lettest' å ta ut. De mere enn tohundre stuffer har vært brakt inn mere enn kr700.000 på utenlandske messer. Ettersom anatas er ikke sjeldent i området (eller/og i  $V_4$ -årene) er det godt mulig at det fortsatt finnes økonomisk lønnsomme uttaksmengder. Ut fra det her utførte undersøkelse er det ikke mulig å kvantifisere nøyaktig uttakspotensialet for hele forekomsten, og dermed er det heller ikke mulig å verdisette den i sin helhet. Hvis gjennomsnittsprisen per stoff fortsatt ligger på samme nivået, betyr det at trehundre stuffer har en samlet verdi på kr1.000.000. Totalvekt av 300 stuffer er antageligvis ikke mere enn 300kilo. Hvis en antar at kun 10% at de totale uttak er brukbar som stoff eller prøve, da blir total uttak omtrent 3tonn. Ettersom all uttak skal foregå med håndmakt ved hjelp av lett utstyr, og ettersom forekomsten er kun maks tre måneder om året *ikke* snødekket, gir 3tonn en riktig ordensstørrelse for uttak av prøvene. Å ta ut mere er heller ikke fornuftig med hensyn til formetning av markedet.

## 5 FORSLAG TIL VIDERE FORSKNING

### 5.1 Uttakspotensialet

For å fastslå størrelsen av hele forekomsten trenges det noen prøveborringer. På grunn av tilgjengelighet og transport av utstyr blir det ganske dyrt. Problemet er at selv resultater fra prøveborringer gir ingen garanti. Ettersom hovedforekomsten er antageligvis såpass lite eller spredt over flere druser eller årekryssninger at disse kan a) bommes lett med boring, eller b) ødelegges, som da utgjør en betydelig pengetap. Dessuten: når det borres akkurat i en druse, da kunne forekomsten uriktig ble oppfattet som 'rik'. For å unngå dette bør det da utføres 'mange flere' kjerneborringer, som igjen øker prisen, og det er stort sett det som setter limitter til videregående forskning.

Som alternativ metode gjelder muligens ultralyd, men det er sikkert ikke en vanlig metode. Likedan kunne det muligens være aktuelt å bruke såkalte DOCTer-testen fra Germann-Pedersen, opprinnelig utviklet for oppsporing av hullrom i betong. Med den får en i beste tilfellet kun opplysninger om enkelte druser 'nær dagen', ikke om hele forekomsten.

### 5.2 'Mineralfingerprinting' for å skille ulike finnesteder

I fjor sommer ble det tatt ut samlermaterialer fra Geiteryggen forekomsten uten at muteren hadde gitt tillatelse til dette. Stuffer med anatas ble solgt på mineralmesser over hele verden til store beløp, med total pengesum i millionklassen. På etikettene som fulgte med stoffene ble 'Valdres' falsk oppgitt som finneplass, men anatas derfra er helt annerledes. Ved etterspørsel var finnere/selgere/ranere ikke villig å gi nærmere detaljer om den virkelige finneplassen i forbindelse 'claim jumpers', som de hevdet [11].

Hvordan er det å skille mellom anatas fra ulike steder? Dette spørsmålet kan bli aktuelt hvis stuffer ble tatt ut uten tillatelse, og når personen som etter lov har rett på disse ønsker å etterforske prøvenes opprinnelse. Dette kan gjøres ved å ta et geokjemisk 'fingeravtrykk' av anatas og andre mineraler i selskapet den forekommer i. Budsjett bør settes opp for slikt oppdrag, men med pengesum i millionklassen er det verdt å gjøre denne investeringen!

Ettersom anatas er et relativt rent mineral med lavt innhold av 'alt annet enn  $\text{TiO}_2$ ', bør analysene rettes til sporelementer, som kan gjøres på forskjellige måter. Andre mineraler som forekommer i lag med anatas bør også taes med for ekstra kontroll. Mest fornuftig er da adular siden de beste anataskrystaller sitter på stuffer med adular, og også fordi feltspat er et velkjent mineral der mye ble publisert om.

Det finnes to forekomster på Hardangervidda som ligner mye på hverandre: Matskorhea, Geiteryggen, og Valdres som ligger ellers men har levert stuffer som ligner mye på disse her.

Anatas og adular fra alle tre skal analyseres og sammenlignes. Dette går enklest og raskest ved å lage polerte tynnslip av anatas og adular, og analysere disse med vanlig petrografisk mikroskopering. Dermed er det mulig å se om det finnes sonering eller andre karakteristiske merkmål i de mineralene som kan analyseres kjemisk senere. Muligens forekommer det avvikende farger på de ulike forekomster.

Kjemiske analyser kan deretter utføres på samme tynnslipene med LA-ICP-MS, som er bra egnet for *in-situ* analyser på mikroskala av sporelementer. Analysene bør inkluderes både fargeløs, brun og blå anatas fra alle tre forekomstene, altså i alt ni sammensetninger. Hver sammensetning blir kalkulert som en gjennomsnittsverdi av flere analyseresultater. Av adular analyseres på samme måten både render og kjerner i forbindelse med eventuell sonering.

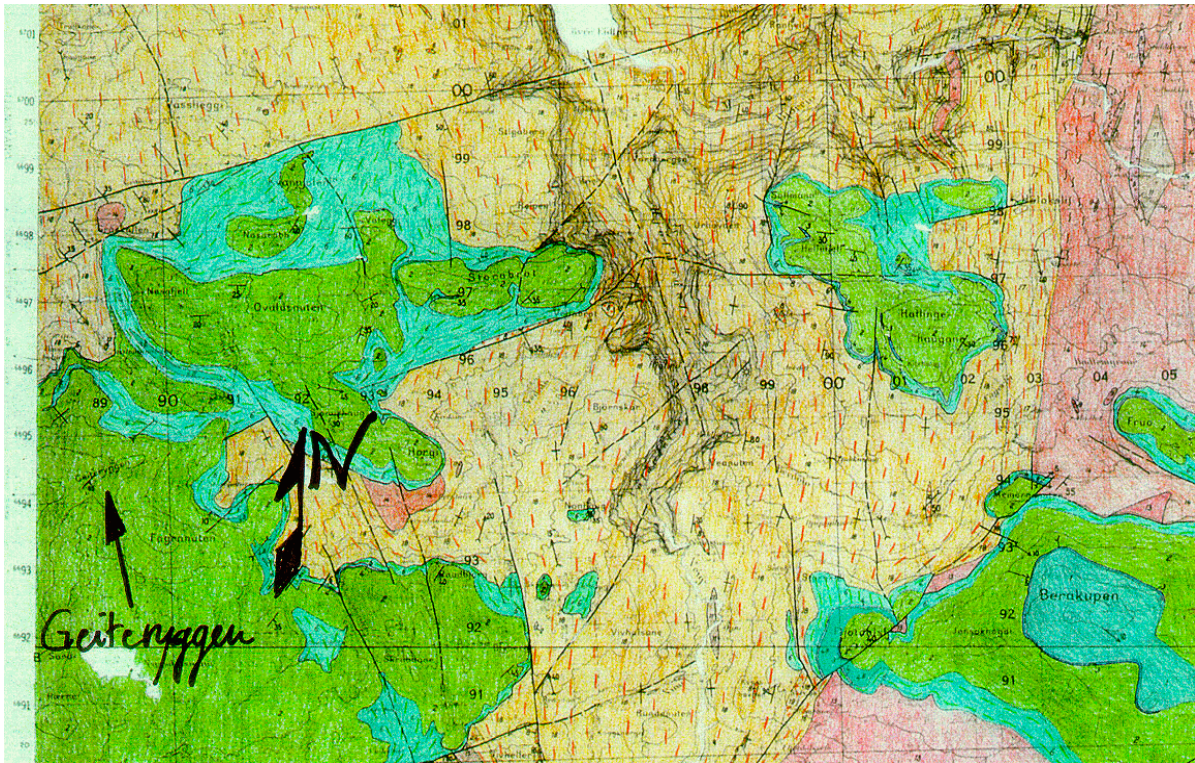
Det er svært usannsynlig at de målte sammensetninger alle er like for de tre forekomstene. Dette skulle kreve at ikke bare utgangsmaterialene er helt like i detalj, men også at alle dannelses- og omvandlingsprosesser må være helt like. Gitt de forholdsvis store avstander mellom de forekomstene kan dette helt utelukkes på forhånd.

Altså, dermed får hver forekomst sin egen 'geokjemisk fingerprint' som brukes som referanse ved usikkerhet om herkomst av ukjente prøver. Resultatene av analysene kan publiseres som et vitenskapelig bidrag i et egnet mineralogisk-geokjemisk fagblad. Forresten: 'offisiell' og publisert dokumentasjon på en forekomst øker verdien av stuffene, særlig for museer.

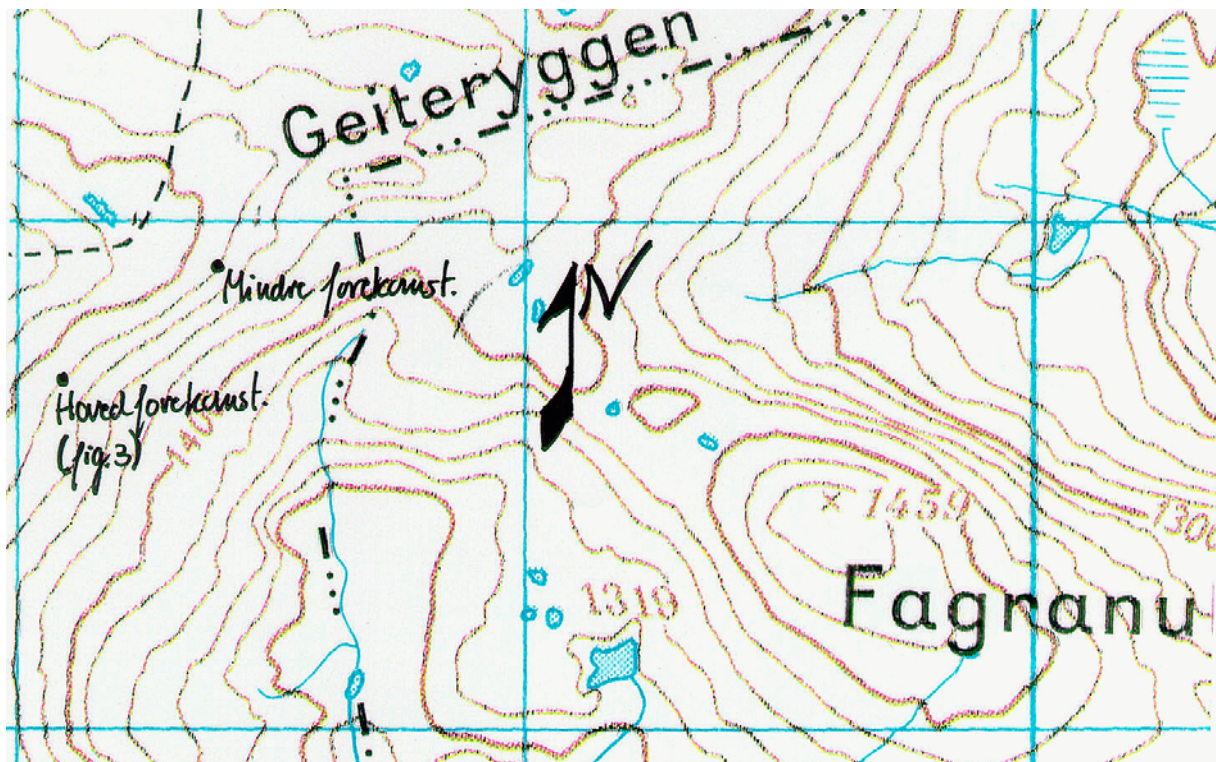
## 6 REFERANSER

- [1] Palache, C., 1932: The largest crystal. *American Mineralogist* (17): 362-363.
- [2] Schubnel, H.J., 1987: Giant crystals, precious minerals. Hachette for Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris: pp 64.
- [3] Jorde, K., 1978: Eidfjord. Berggrunnsgeologisk kart 1415IV - M 1:50.000. Preliminær utgave, NGU.
- [4] Kvale, A., 1960: The nappe area of the Caledonides in western Norway. I: Dons, J.A. (redaktør): Excursions in Norway. *Norges geologisk undersøkelse* (212e): pp 43.
- [5] Heaney, P.J., Prewitt, C.T., and Gibbs, G.V., 1994 (redaksjon): Silica: physical behavior, geochemistry and materials applications. *Reviews in Mineralogy* (29): pp 606.
- [6] Rykart, R., 1995: Quarz-Monographie. 2. utgave. Ott Verlag, Thun: pp 462.
- [7] Griffin, W.L., Garmo, T., Løvenskiold, H., og Palmstrøm, A., 1977: Anatase from Norway. *Mineralogical Record* (8/4): 266-271.
- [8] Lindsley, D.H., 1976: The crystal chemistry and structure of oxide minerals as exemplified by the Fe-Ti oxides. I: Rumble III, D. (redaktør): *Reviews in Mineralogy* (3): pp 60.
- [9] Penn, R.L., and Banfield, J.F., 1999: Formation of rutile nuclei at anatase {112} twin interfaces and the phase transformation mechanism in nanocrystalline titania. *American Mineralogist* (84): 871-876.
- [10] Felius, R.O., 1976: Structural morphology of rutile and trirutile type crystals. PhD-thesis University of Leiden: pp 101.
- [11] Anonym, 1999: Anatas - mineral til besvær. Om grafsinga på Hardangervidda. *Stein* (26): 5-7+50.

## 7 BILDER



Figur 1: Utsnitt av det foreløpige 1:50.000 kartet til Jorde (1978). Griddet er på 1km.



Figur 2: Utklipp fra det topografiske kartet 1:50.000. Griddet er på 1km.



Figur 3: Intensivt foldete  $V_1$ -årer i mørk, biotitt-førende fyllitt.



Figur 4: Intensivt foldet grønn fyllitt nær inngangen av hoved forekomsten (bildbredde ca. 2m). Årene tilhører  $V_2$ -generasjonen, eller muligens  $V_3$ .



Figur 5: Oversikt over hele forekomsten. Åren viser seg godt som hvit kvart i ellers mørkt fjell. Noe til høyre står muteren Knut Moltu og Sven Åge Svensen til målestokk.



Figur 6: Vaskeplassen som mange har brukt for å rense prøvene fra leire. Her finnes det mange rester!



Figur 7: Kvartsdruser i  $V_3$ -årer fører ofte anatas. Størrelsen av bruddstykket litt til høyre av midten  $\sim 1$ cm. Bildet her ble tatt i hovedforekomsten.





Figur 8: Overvokst med moss er anatas vanskelig å oppdage! Se helt i midten en krystall på omtrent 1cm størrelsen.



Figur 9: Anatas samt bergkrystall på albitt. Størrelsen av anatasen er omtrent en centimeter. Merk den høye metallglansen. Brunfargen årsakt av leirmineraler på grunn av delvis omvandling av fyllitt.



Figur 10: Heldiggrisen Sven Åge Svensen finner en pen anataskrystall i det underjordiske. Krystallstørrelsen omlag 2centimeter.