

IV.

RAMSØY TITANJERNMALMFELT I  
SOLØR OG DETS DIFFERENTIA-  
TIONSPROCESSER

AV

STEINAR FOSLIE

MED 1 MAGNETOMETRISK KART, 3 PLANCHER,  
2 TEKSTFIGURER OG ENGLISH SUMMARY

## REGISTER.

	Side
I. Generel oversigt . . . . .	5
II. Feltets historie . . . . .	8
III. Feltets geologi . . . . .	13
a. Granit . . . . .	14
b. Kvarts-hornblende-gabbro . . . . .	15
c. Malmens petrografi . . . . .	21
IV. Differentiationsprocessen . . . . .	26
V. Det ternære gabroide eutektikum . . . . .	37
VI. Malmens utbredelse og magnetisering . . . . .	44
VII. Malmens kemiske sammensætning og separationsbetingelser . . . . .	51
English summary . . . . .	57

---

## I. Generel oversigt.

I de senere aar er opmerksomheten i forøket grad henvendt paa en række forekomster av titanholdig magnetitmal, hvorav der findes et betydeligt antal i vort land. Disse eksistens har allerede længe været kjendt, tildels har de ogsaa før i tiden været gjenstand for grubedrift, men stadig med et mere eller mindre uheldigt resultat; for den vanlige masovnssmelting har de nemlig vist sig høist uøkonomiske, paa grund av det erfaringsmæssig store brændselsforbruk, de kræver, hvad der av mange tilskrives tungsmeltelighet hos slaggen. Masovnene tar derfor høist nødig malm med over 2% TiO<sub>2</sub>, iafald ikke uten betydelig prisreduktion. Saa stor har frygten i denne retning tidligere været, at en i alle andre henseender førsteklasses jernmalm har været omrent usælgelig naar den første endel procent titansyre. Brytningen av disse malme, der forøvrig aldrig har været betydelig, var derfor for endel aar siden saavel i Norge som i Sverige kommet omrent fuldstændig til stilstand, og hvor der endnu undtagelsesvis blev eksportert endel, blev malmen avsat til en latterlig lav pris.

Fra Rødsandfeltet paa Søndmør blev der saaledes i denne periode gjennem flere aar opretholdt en liten eksport til England, men malmen opnaadde med 50% Fe og 8% TiO<sub>2</sub>, kun en pris av 5 sh. pr. t. f. o. b.

Det ændrede syn paa disse forekomster skyldes en række tekniske fremskridt fra de senere aar. Det er metoderne for magnetisk separation, for elektrisk jernmalmsmelting, hvorhos eventuelt ogsaa de nye metoder for jernsvamptilvirkning kan bli av betydning.

Hvad den magnetiske separation angaar, har en række forsøk i forskjellige lande nu med sikkerhet paavist, at de titanholdige magnetitmalmer ialfald for en væsentlig del bestaar av en mekanisk blanding av magnetit og ilmenit, der følgelig ogsaa maa være mekanisk skilbare. Den praktiske gjennemførbarhet av denne adskillelse, avhænger i høi grad av blandingens større eller mindre finkornighet, og disse malmer kan i den retning deles i 3 klasser.

De malmer der ved den praktisk brukbare finknusningsgrad ned til  $\frac{1}{10}$  mm. opnaar:

1. En tilstrækkelig separartion ( $< 2\%$   $TiO_2$ ).
2. En delvis separation.
3. Ingen separation.

De fleste hittil undersøkte malmer hører til første klasse. Forøvrig er denne blandings natur endnu litet kjendt.

Den elektriske jernmalmsmeltings fordele likeoverfor disse malmer, grunder sig paa den høie temperatur hvortil man gaar i disse ovne, og hvorved ulempene ved den tungsmeltelige slag betydelig formindskes. Ved elektrisk smelting kan man derfor taale en betydelig høiere titangehalt i malmen end ved koksmasovner, forutsat at jerngehalten er tilstrækkelig høi.

Hvad anvendelsen til jernsvamptilvirkning angaar, paagaard der for tiden forsøk i Sverige, der synes noksaa lovende.

Alt i alt kan man vistnok gaa ut fra, at titangehalten for fremtiden ikke vil være nogen væsentlig hindring for utnyttelsen av disse forekomster efter den ene eller anden metode, naar de forøvrig havd jerngehalt og andre betingelser angaa tilfredsstiller fordringerne til en brukbar jernmalmforekomst.

I overensstemmelse hermed er interessen for disse i de senere aar øket betydelig og ved de fortsatte undersøkelser av felter av denne type, er vort kjendskap til disse nu betydelig større end for en del aar siden.

Som bekjendt paabegyndte professor VOGT allerede i 90-aarene sine undersøkelser av disse felter for studiet av differentiationsprocesser i basiske eruptiver, og har i tidens løp undersøkt de fleste av disse langs vor vestlige kyst, hvor der er kjendt et stort antal helt fra *Baugstø* i Hardanger til *Stjerna* i Finmarken. Disse er alle knyttet til gabbroide bergarter, dels sandsynligvis av archæisk, dels av sikker silurisk alder.

Dernæst kjendes en flerhet av lignende forekomster langs vor SO kyststrækning, Bamlekysten, Risør, Tvedstrand-distriket etc., men disse er saavel geologisk som teknisk langt mindre kjendt, og de fleste venter endnu paa næitere undersøkelse.

Den forekomst der her nærmere skal omtales er beliggende i Solør og ligger forsaavidt helt isolert. Den er i virkeligheten vort lands eneste kjendte titanjernmalmforekomst østenfor Kristianiafeltet og 'slutter sig saavel geologisk som geografisk nærmere til en række analoge felter paa svensk side.

Man har som bekjendt en zone av basiske eruptiv-kupper, gabbroer, hyperiter og dioriter, der strækker sig langs østgrænsen af det SV svenskegneisomraade og over

Vänern i Sverige i NV retning mot den norske grænse, til-dels med mindre titanomagnetitutsondringer. Paa norsk side av grænsen har man antagelig en fortsættelse av denne zone i et betydeligt antal kupper av forskjellige basiske eruptiver der er kjendt gjennem hele Solør, men er forholdsvis litet undersøkte. Av malmforekomster inden disse er hittil kun kjendt *Ramsøyfeltet*, som her nærmere skal omtales. For-uten i bergmæssig henseende har dette en betydelig geologisk interesse, idet det i flere punkter skiller sig ut fra den normale type for disse forekomster, og derfor er av betydning for forstaaelsen av differentiationsprosesserne.

---

## II. Feltets historie.

*Ramsøyfeltet* er beliggende i nærheten av gaarden Fjeld, paa vestsiden av Glommen og  $3\frac{1}{2}$  km. luftlinje VNV for Nor jernbanestation i Solør. Det ligger her paa en fladt skraanende, skogbevokset aas, og et stort antal av gamle, nu vandfyldte grubeaapninger og skjærp, der i en stor bue omslutter den lille høide, vidner om den fordums virksomhet. Forekomsten har været kjendt i lang tid og været gjenstand for en del drift — vel nærmest forsøksdrift — der i hoved-saken kan henføres til to driftsperioder.

Naar den egentlig blev fundet er vanskelig at bringe paa det rene, men den første driftsperiode kan henføres til 1840-aarene, og fundet ligger da vistnok umiddelbart foran denne.

Om denne første periode findes der saagodtsom ingen oplysninger. Driften har nærmest hat karakteren av en

forsøksdrift med et meget stort antal angrepsspunkter, men bevæget sig ganske nær dagen, saa der har været liten foranledning for bergmesteren til nærmere kontrol med og indberetning om driften.

Virksomheten i denne periode kan vi derfor kun bedømme ved de efterladte grubeaapninger og skjærp. Det viser sig da at driften har været overordentlig spredt over det hele felt, og der kan paavises mindst 25 forskjellige angrepsspunkter, et større antal end nogen gang senere. De aller fleste av disse er ganske grunde og ubetydelige, og den dypeste og viktigste av gruberne, Storgruben, naadde neppe mere end ca. 12 meters dybde.

Malmen blev for størstedelen sendt til forsmelting ved *Oudals verk*, og blev kjørt paa vinterføre den  $2\frac{1}{2}$  mil lange vei over fjeldet.

Efter nedlæggelsen av denne drift hvilte feltet i næsten 30 aar. Fra denne tid har vi i bergmesterarkivets protokoller en befarringsrapport fra bergmester SELL. dateret  $21/9$  1864, hvori han bl. a. siger, at der forefandtes 20—30 mindre skjærp samt at „malmen forekommer og er bergsprængt som nyrer i en kvartsholdig feldspatbildning. Da den foruten at være bergsprængt fører mindre partikler av kobber- og svovlkis, vil den neppe bli tjenlig til andet jern end støpejern“.

Dette var datidens syn paa saken. Definitionen av moderbergarten og av malmens opræden er meget misvisende, og paa malmens titanføring var man endnu ikke blit opmerksom.

Feltet er i sin anden driftsperiode noe knyttet til *Oudals jernverk*.

Dette var nu indkjøpt av et svensk bolag under ledelse av JOH. SUNDSTRÖM i Charlottenburg. I 1870 bygget dette en ny masovn og driften begyndte med malm fra *Spetalengruberne*. Ramsøygruberne var ogsaa indkjøpt av samme bolag, der for at regulere malmtilførselen ogsaa begyndte driften her i februar 1872.

Der opgives da at der forefandtes forholdsvis litet berghalder og efterladt malm efter første driftsperiode.

Man hadde nu ogsaa fundet en bekvemmere transportvei for malmen, idet den kun blev kjørt nedenfor Norsfossen i Glommen (2 km.), og derfra paa flaate fragtet ned elven til jernverket.

Driften blev optat med stor kraft, idet arbeidsbelægget det første halve aar var 30 mand i gjennemsnit, en kort tid helt oppe i 50.

Det var væsentlig de gamle gruber som blev gjenoptat og dertil 3 à 4 nye, der simpelthen blev anlagt paa stederne for sterkeste magnetisme, fundet ved undersøkelser med bergkompass.

Efter en befaringsrapport av 23/7 72 fra bergmester MEIDELL og geschworne HANSTEEN opføres de i drift værende gruber og deres produktion i løpet av de første 5 maaneder:

Morfars grube	5 000	sv. centner.
Larsgruben I og II	52 600	—»—
—»— III	15 200	—»—
Storgruben	65 000	—»—
Smiugruben X	5 000	—»—

Sum 142 800 sv. centner

eller ca. 7 000 t., efter datidens forhold en betydelig produktion.

Efterat imidlertid malmens tungsmeltelighet var bragt paa det rene, stagnerede malmtransporten ganske, driften blev betydelig indskrænket og malmen lagret ved gruben.

I sin rapport av 25/7 1873 siger saaledes bergmester MEIDELL, at siden forrige befaring har der kun været drift i de to gruber Smiugruben X og XI. Av disse var den første i drift et par maaneder vinteren 1873 og har senere været midlertidig indstillet, men indeholder efter bestyrerens opgivende fremdeles malm. Nr. XI hadde været i kontinuerlig drift med 16 mand siden februar maaned og dreves endnu. Den bestod af en skakt eller rettere sagt vertikal drift av dimensioner  $8 \times 11$  m., og førte mest malm i østvæggen.

Efter ialt  $2\frac{1}{2}$  aars arbeide med meget varierende arbeidsstyrke blev det helt nedlagt i 1874 og har senere ikke været bearbeidet.

Det var i virkeligheten kun en meget liten del af den utbrudte malm der blev ført til Oudals jernverk og forsmeltet. Det meste blev lagret ved gruben, hvor der den dag i dag ligger halder med endel tusen tons malm.

Saadan som feltet ligger der nu, er der ialt 13 navngivne gruber og ca. 16 mere og mindre ubetydelige skjærp.

Alle gruber er vandfyldte og tildels sterkt overgroede av mose og smaaskog, saa der som regel er forholdsvis litet at se.

De navngivne gruber er følgende:

	Areal av dagaapning ca.	Dybde ca.	Utbrudt volum ca.
1. Larsgruben I . . . . .	45 m <sup>2</sup>	25 m.	750 m <sup>3</sup>
2. —— II . . . . .	25 "	8 "	130 "
3. —— III . . . . .	15 "	15 "	150 "
4. Rævgruben . . . . .	25 "	7 "	120 "
5. Smiugruben I . . . . .	45 "	6 "	180 "
6. —— II (XI) . . . .	70 "	13 "	600 "
7. —— III (X) . . . .	35 "	13 "	300 "
8. Storgruben . . . . .	85 "	30 "	1 700 "
9. Heimgruben . . . . .	60 "	7 "	280 "
10. Morfarsgruben . . . . .	20 "	8 "	110 "
11. Oksegruben . . . . .	45 "	7 "	210 "
12. Kathrinaberg . . . . .	15 "	6 "	60 "
13. Minaberg . . . . .	20 "	6 "	80 "
			4 670 m <sup>3</sup>
			Gj.snit.
Aller ubenævnte skjærp . . . . .	385 m <sup>2</sup>	ca. 2½ m.	ca. 960 "
Ialt brudt malm og berg i feltet			ca. 5 630 m <sup>3</sup>

Av dette totalkvantum er den overveiende del brudt i sidste driftsperiode. Ifølge de efterladte opgaver, som for øvrig er meget ufuldstændige, kan det antages at der i denne periode er utvundet ialt 12 à 13 000 ton malm med nogle og færti procent jern.

Det meste herav er brudt i hovedgruberne *Storgruben*, *Smiugrubene* og *Larsgruberne*.

Nyoptagne i sidste driftsperiode blev gruberne nr. 2, 10, 12 og 13 (se tabellen).

Vistnok den eneste gjenlevende av folk der har arbeidet i lengere tid i gruben, en gammel arbeider der bor på stedet, har git mig en del om oplysninger om malmføringen

i gruberne, der muligens kan være av interesse, og som jeg gjengir med forbehold.

Som malmførende tilbunds opgir han alle de navngivne gruber undtagen Smiugruben III og Larsgruben III og I. I de to første har der i det heletat været daarlig med malm, den sidste derimot har ført utmerket malm, indtil man i bunden kom ned paa graaberg, skilt fra malmen ved en skraa slette. Der blev derfor drevet en ort fra grubens bund i retning av Larsgruben II og denne ort førte malm i sin hele længde.

---

### III. Feltets geologi.

Naar dette malmfelt fortjener en forholdsvis indgaaende omtale i geologisk henseende, er det fordi det i flere henseender skiller sig fra den vanlige type av titanholdig jernmalm i gabbrobergarter.

1. Disse forekomster optrær oftest i normale gabbroer, olivingabbrøer, hyperiter o. s. v., altsaa gjennemgaaende bergarter av en temmelig basisk karakter. Ramsøyfeltets moderbergart har en noget surere karakter og kommer nær op mot dioriterne, hvad der vil fremgaa af den petrografiske beskrivelse.
2. Av professor VOGT er opstillet den generelle regel, at de titanholdige jernmalmer i motsætning til nikkel-magnetkisforekomsterne, optrær mere eller mindre uavhængig af gabbrofeltets grænser. Dette holder utvilsomt ogsaa i de fleste tilfælder stik, men som det fremgaar

av kartet staar jernmalmens forløp i Ramsøyfeltet i et utvilsomt og meget markeret forhold til grænsen.

3. De foretage separationsforsøk med malmen viser, at selv ved betydelig finknusning forblir forholdet mellom jern og titangehalt saagodtsom helt uforandret. Ogsaa i denne henseende hører altsaa malmen til de mindre vanlige typer.

Naar hertil kommer at malmen viser en karakteristisk struktur og en noksaa markert krystallisationsfølge vil det fremgaa, at forekomsten er av adskillig interesse i teoretisk henseende.

Hele Solordistriktet hører som bekjendt til grundfjeldet, og danner som tidligere nævnt en fortsættelse av det grundfjelddistrikt der fra Vänern i Sverige i NV retning stryker over grænsen og ind i Norge. Stroket er overalt her forholdsvis konstant, og med større eller mindre avvikler NV—SØ.

Da Solordistriktet ikke er systematisk geologisk kartlagt, og i det hele litet kjendt i denne henseende, maa jeg indskrænke mig til at omtale malmfeltets aller nærmeste omgivelser som jeg selv har besøkt.

#### a. **Granit.**

Hovedbergarten er her en litet presset grundfjeldsgranit, der indtar betydelige arealer syd og vest for *Nor station*.

I de distrikter der slutter sig nærmest om malmfeltet, altsaa paa vestsiden av Glommen fra *Fosseid* og op mot *Neskjølen*, har den et meget karakteristisk utseende. Strukturen er som regel halvporfyrisk, med indsprængninger av

kvarts og kalifeldspat i en mere finkrystallin grundmasse. Kvartsen er omrent overalt en melkekvarts, oftest med et meget karakteristisk blaaviolet skjær. Særlig den parallelstruerede granit ved Fosseid faar næsten karakteren av en kvartsporfyr med store blaaviolette kvartsindivider.

### b. Kvarts-hornblende-gabbro.

Interessen knytter sig særlig til denne bergart, der er malmens moderbergart. Den optrær i et enkelt felt inden graniten, parallel dennes strøkretning og med en længde af ca. 1500 m. Bredden synes maksimalt at gaa op til mindst 500 m.

Jeg har hittil betegnet denne bergart med det neutrale navn „en basisk eruptiv“, da det viser sig at den tilhører den meget svævende grænsegruppe mellem de petrografiske betegnelser „gabbro“ og „diorit“. Først i forbindelse med omtalen av den mikroskopiske undersøkelses resultater har jeg derfor villet betegne den nærmere.

Der findes flere forskjellige facies af den inden massivets forskjellige dele, foraarsaget ved begyndende differentiationsprocesser. Som følge herav faar bergarten i haandstykker noget varierende utseende. Men naar undtages malmutsondringerne, der holder sig langs gabbrofeltets ene grænse, er disse variationer av liten betydning. Mineralsammensætningen er kvalitativt overalt den samme, og forskjellen bestaar i en mindre forskyvning i forholdet mellem de lyse og de mørke mineraler, tildels ogsaa i kornstørrelsen.

Vælger vi bergartens hovedtype viser den følgende mineralsammensætning:

Primært: *Plagioklas, hornblende, biotit, kvarts, magnetit, apatit.*

Sekundært: *Hornblende, klorit, serpentin, epidot, magnetit* (samtidig i enkelte facies *granat, kalkspat og svovlkis*).

Helt mangler pyroxen og olivingruppens mineraler samt sandsynligvis ortoklas.

I enkelte partier er bergarten temmelig frisk og gir god anledning til nærmere bestemmelse av mineralerne.

*Plagioklasen* er oftest det overveiende mineral.

Den optrør enten distinkt bredt listeformig utviklet, eller også i bredere partier der opløser sig i en bundt av lister.

Som regel er den meget ensartet. Zonarbygning kan vistnok iagttages, men meget underordnet og med liten zoneforskjell.

Sammensætningen er bestemt i en række præparater. Gode  $\alpha$ -snit viser utslukning fra  $+21$  til  $+23^\circ$ , svarende til i gjennomsnit  $37\%$  *An*,  $\gamma$ -snittene i de forskjellige præparater fra  $\div 4^\circ$  til  $\div 8^\circ$ .

*Plagioklasen* er altsaa en *sur Andesin*, en for felter av denne art paafaldende sur sammensætning, og varierer meget lidet i de forskjellige facies av bergarten.

De fleste individer viser spor av begyndende omvandling, i enkelte facies er denne temmelig vidt fremskredet, væsentlig under dannelsen av epidot og hvit glimmer.

*Hornblende* er det overveiende mørke mineral.

Den viser som regel en langt mere fremskreden omvandlingsgrad end feldspaten.

Omkring den ældste hornblende har der dannet sig en række zoner av sekundær hornblende av forskjellig sammensætning.

Efter alderen er dette følgende:

1. Kraftig gulbrun farve, sterk pleochroisme.
2. Ganske svak gulagtig farve, svak pleochroisme.
3. Næsten farveløs, ingen pleochroisme.
4. Blaaliggrønne farver, bordformig utviklet.
5. Sterk sortblaa farve, overordentlig kraftig pleochroisme.

Den første hornblende, der i den friske bergart er den overveiende, er ofte fuldstændig frisk uten spor av omvandling, undertiden med skarpe tvillinglameller efter {1.0.0}. Den sees av og til i paralel-sammenvoksning med biotit. Der er intet tegn til uralitisering, og alt tyder paa at dette virkelig er primær hornblende. Særlig dens optræden i den rike malm, der senere skal omtales, taler sterkt for dette.

De følgende led, 2 og 3, repræsenterer den begyndende omvandling ved avblekning av hornblenden, ofte under dannelse af sekundær kalkspat og magnetit. Det 4de led, der oftest findes som en skarp bord omkring de øvrige er helt sekundært. Det sidste led optrær yderst sparsomt som en ganske smal rand paa grænsen mellem hornblende og kalkspat, børsteformig indvokset i den sidste. Eventuelt er den oprindelig dannet i hulrum, senere fyldt med kalkspat.

I de mest omvandlede led er hornblenden gået helt over til et aggregat af kloritnaale, undertiden til serpentin, under utskillelse af sekundær magnetit.

*Biotit* optrær noksaa konstant, men i underordnet mængde sammen med hornblenden.

*Kwarts* findes primær saavel i de sure som i de basiske led. Den findes altid som „zwischenklemmungsmasse“ mellem feldspatlisterne, i smaa mængder, men jevnt utbredt over det hele.

*Apatit* og *magnetit* findes omrent i de for basiske bergarter vanlige mængder.

Da bergarten er forholdsvis uberørt af mekanisk paa-virkning, og ikke viser opknusningsfænomener, fremtrær den oprindelige struktur noksaa klart.

*Plagioklasen* er overalt det først utkrySTALLISERTE mineral.

De tildels temmelig store individer viser sig fuldstændig fri for indeslutninger i sine centrale dele. Selv apatiten, der forøvrig altid viser krystallografisk begrænsning, optrær rent overveiende blandt de mørke mineraler, og kun delvis indesluttet i feldspaternes periferiske dele. Den er ældre end alle de andre mineraler, feldspaterne undtaget, og er ofte indesluttet i magnetit.

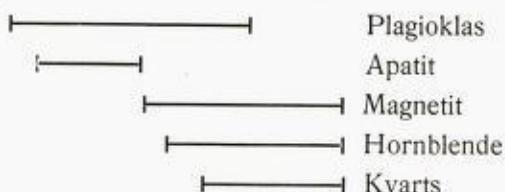
Som det tredje i rækken kommer magnetit.

I den vanlige, ertsfattige bergart er dette krystalliseret i det væsentlige helt efter feldspaten og findes ikke indesluttet i denne, selv i dens periferiske dele. Det optrær derimot i noe forbindelse med Fe-Mg-silikaterne, der er krystalliseret om magnetiten i hjørnerne mellem feldspaterne. Tildels findes endog magnetiten som direkte „zwischenklemmungsmasse“ mellem feldspatlisterne (Pl. I fig. 1).

De mørke mineraler, hornblende og biotit, synes at ha begyndt sin krystallisation paa et meget sent stadium. De indeslutter alle de andre mineraler undtagen kvarts, og krystalliserer mest i grupper hvis form væsentlig bestemmes af feldspatindividerne.

Kvartsen er sidst begyndt at utkrySTALLISERE, optrær kun som „zwischenklemmungsmasse“ mellem feldspaterne og er dannet efter eller samtidig med sidste rest av disse.

Krystallisationsfølgen kan derfor skematiske fremstilles saaledes:



Et par detaljer, særlig endepunktet for plagioklasens krystallisation, er dog endel usikre, men rækkefølgen mellem de 3 hovedbestanddeler er sikker nok. Den er:

1) *Plagioklas*, 2) *Magnetit*, 3) *Hornblende*.

Inden de mere basiske facies af bergarten finder vi i det store og hele samme mikroskopiske billede som ovenfor. Kvarts og plagioklasmængden avtar, hornbiende og magnetitmængden tiltar, men krystallisationsfølgen af de 3 hovedbestanddeler bibeholdes, naar vi foreløbig ser bort fra de egentlige malmutsondringer.

Selv i særlig hornblenderike partier, hvor plagioklasmængden blir mindre end hornblendemængden, krystalliserer denne sidst. Men hvor magnetitmængden i saadanne tilfælder blir noget større, iagtta vi en forandring, idet endel magnetit da findes indesluttet i plagioklasindividerne, dog væsentlig kun i disses periferiske del. Magnetitens krystallisation er altsaa skudt noget frem, kommet nærmere eutektikum med feldspat, hvad der vil fremgaa af den senere omtale (s. 25).

For at faa et begrep om sammensætningen af den normale, forholdsvis plagioklasrike bergart har jeg foretaget en noiagtig mikroskopisk arealberegnning, og paa basis af de enkelte mineralers sandsynlige kemiske sammensætning har jeg beregnet bergartens sammensætning. En saadan bereg-

ning er naturligvis befeftet med mange feilkilder, og gir kun en raa tilnærmelse, men har dog en vis interesse. Mineralsammensætningen er:

	Mineralsammensætning i volumprocent.	Kemisk sammensætning i vegtsprocent.
Plagioklas . . . . .	58 %	SiO <sub>2</sub> . . . . . 51 %
Hornblende . . . . .	31 "	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . . 19½ "
Biotit . . . . .	6½ "	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO . . . 9½ "
Magnetit . . . . .	2½ "	CaO . . . . . 7½ "
Kvarts . . . . .	2 "	MgO . . . . . 5½ "
	100 %	Na <sub>2</sub> O . . . . . 4½ "
		K <sub>2</sub> O . . . . . 1 "
		TiO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> etc. 1½ "
		100 %

Denne sammensætning er beregnet under den forudsætning at feldspaterne fremdeles har sin oprindelige karakter og ikke har undergaat nogen utlutting av anortitmolekyl, som det ofte er tilfældet i forbindelse med uralitiseringssprocesser. Feldspatens meget ensartede sammensætning inden bergartens og malmens forskjellige facies synes imidlertid at berettige denne antagelse.

Naar vi nu paa basis av ovennævnte resultater vil bedømme bergartens petrografiske karakter, vil det sees at mineralsammensætningen er dioritens. Særlig er plagioklasens sure karakter av vigtighet, hvormed ogsaa kvartsens optræden staar i overensstemmelse. Den kemiske sammensætning staar paa overgangen mellem de to bergarter, mens den halvveis ofitiske struktur og krystallisationsfølgen ikke hører hjemme blandt dioriterne.

Efter dette skulde begge betegnelser kunne forsvares, men efter dens generelle utseende henregner jeg den her til gabbroerne og kalder den *kvarts-hornblende-gabbro*.

### c. Malmens petrografi.

De vigtigste differentiationsprocesser inden bergarten har gaaet i retning av koncentration av magnetiten.

Denne differentiation staar i et bestemt forhold til grænsen, idet ansamlingen af den titanførende jernmalm holder sig i en zone langs gabbroens sydlige grænse. Anrikingen har i sin helhet, eller næsten i sin helhet foregaaet *in situ*, saa der omtrent overalt er en jevn overgang mellem den normale gabbro og den bedste malm. Adskilligt af malmen i feltet utgjøres derfor av disse mellemstadier, og selv yderpunktet av differentiationen har ikke naadd saa langt som til utsondring av ren erts. De rikeste differentiationsprodukter naar op til 85 % erts (magnetit + ilmenit), resten silikatmineraler, tiltrods for at de i haandstykker omtrent ser ut som massiv malm. Den mikroskopiske undersøkelse kan derfor med held anvendes, selv paa den rikeste malm, og strukturen trær meget skarpt frem.

Malmen viser kvalitativt den samme mineralsammensætning som bergarten, med den forskjel at kvarts er traadt helt tilbake og som nyt sekundærprodukt er tilkommet granat. Derimot er mineralernes mængdeforhold, strukturen, krystallisationsfølgen etc. blevet en ganske anden, og viser en overordentlig karakteristisk overgang. *Magnetiten*, der her optrør i rent overveiende mængde, er det først utkrySTALLISERTE mineral. Individerne ligger enten tæt sammenhobede og viser krystallografisk begrænsning mot hinanden. De er da oftest skarpt 4—6-kantet begrænset, indbyrdes adskilt ved en ganske smal rand af silikat indeklemt mellem individerne, der derfor under mikroskopet sees adskilt ved fine lyse linjer.

Ofte ligger ogsaa magnetitindividerne mere spredt, isolert i silikatmassen. De viser da aldrig skarpkantet begrænsning, men mere eller mindre avrundede former, der maa skyldes en resorption efter krystallisationen (Pl. III fig. 2).

Ertsindividerne viser ofte en fremtrædende opdeling, der kan fremtræde som skarpe spalterids, ofte i 2 retninger med indbyrdes vinkel oftest  $70-90^\circ$ .

Hvordan titangehalten i malmen indgaar, kan ikke avgjøres ved den vanlige mikroskopiske undersøkelse. Ertsmineralerne synes helt ensartede, og specielt den gjennemgaaende skarpt utprægede opdeling synes at tyde paa at dette er tilfældet ogsaa i mineralogisk henseende. Saavel krystalbegrænsningen som delbarheten synes overalt at kunne henføres til magnetitens krystalform. Vistnok har ilmeniten ogsaa en utpræget opdeling, men kun i én retning (efter basis).

Hvordan end titangehalten i dette tilfælde indgaar i magnetiten, synes denne ialfald at ha været den ledende krystallisator.

Som det andet utkrySTALLiserte mineral kommer her *hornblenden*, og den har en meget karakteristisk optræden, idet den overveiende er krystallisert som en koncentrisk ring omkring magnetitindividerne. Denne hornblendering er som regel temmelig smal, men forbausende regelmæssig og kontinuerlig, idet den sammenhængende omslutter alle magnetitindivider næsten uten undtagelse.

Hornblenden er ofte meget frisk, brunliggrøn, pleochroitsk, oftest ens orientert rundt hele ringen, tildels endog med tvillinglameller.

Den hele struktur faar en vis likhet med de saakaldte „reaktions- eller korrosionsrænder“, der hyppig iagttages i

basiske eruptiver, men i dette tilfælde synes fænomenet med sikkerhet at kunne tilskrives en primær utkrySTALLISATION av hornblenden omkring magnetiten, sandsynligvis efter en forutgaaende magmatisk resorption av denne.

Som sidst utkrySTALLISERTE mineral finder vi *plagioklasen* i de gjenstaaende rum mellem hornblenderingene. Den er tildels paaFALDENDe frisk. I  $\alpha$ -snit er utslukningen  $+23^\circ$ , svarende til 39 % An, det vil si at plagioklasen praktisk talt er den samme som i den normale bergart.

Plagioklasen kommer overhovedet intetsteds i direkte kontakt med magnetiten, da hornblenderingene altid ligger imellem.

*Biotiten* oprør mere lokalt, i store individer der fylder mellemrummet mellem magnetiten, og er av omtrent samme alder som hornblenden.

*Apatit* sees næsten ikke i den rike malm, og det er et paaFALDENDe træk, at den er vandret i motsat retning av magnetiten.

*SvoVLKIS* oprør noksaa rikelig, men kun i liten grad indesluttet i magnetiten. Mest findes den i hjørnerne mellem dennes individer, og synes ikke først utkrySTALLISERT, hvis den i det hele er primær.

Silikatmineralerne i den rike malm er i de fleste tilfælder sterkt omvandlede. Feldspaten danner granat og hornblenden klorit og serpentin, og denne omvandling kan gaa saa vidt at magnetitkornene ligger i et tæt aggregat av disse mineraler, saa den oprindelige struktur ikke kan sees.

Som av det foregaaende fremgaar er krystallisationsfølgen i malmen:

1) *Magnetit*, 2) *Hornblende*, 3) *Plagioklas*,  
altsaa en ganske anden end i bergarten. (Pl. II.)

Man befinner sig her paa den anden side av eutektikum Magnetit : Plagioklas.

For at faa et begrep om hvor overgangspunkterne er beliggende har jeg foretaget en mikroskopisk arealberegnning av en række overgangsled med stigende magnetitgehalt, i forbindelse med undersøkelse av krystallisationsfølgen:

#### Mineralfordelingen i vegrtsprocent.

	Kvarts	Plag.	Hbl.	Biotit	Magnetit
1. Normal gabbro . . .	2 0/0	54 0/0	32 1/2 0/0	7 0/0	41 1/2 0/0
2. Basisk do. . . . .	1/2 "	38 "	42 1/2 "	5 "	14 "
3. Malmkoncentration. .	0 "	21 "	25 "	3 "	51 "
4. Rik malm . . . . .	0 "	51/2 "	7 "	1 1/2 "	86 "

#### Silikaternes relative fordeling i vegrtsprocent.

	Kvarts	Hbl.	Biotit	Plag.	Hbl. + Biotit
1. Normal gabbro . . .	2 0/0	34 0/0	7 1/2 0/0	56 1/2 0/0	41 1/2 0/0
2. Basisk do. . . . .	1/2 "	49 1/2 "	6 "	44 "	55 1/2 "
3. Malmkoncentration. .	0 "	51 "	6 "	43 "	57 "
4. Rik malm . . . . .	0 "	50 "	11 "	39 "	61 "

Den regelmæssige overgang fremgaar av disse tabeller.

Kvartsgehalten avtar raskt til nul. Næsten likedan gaar det med apatitgehalten (her ikke anført). Silikatmængden avtar naturligvis i samme grad som magnetiten koncentrereres. Men derunder er det paaafaldende at Fe-Mg-silikaterne ikke samtidig koncentrereres saa væsentlig i forhold til plagioklasen, som det er det vanlige ved mange andre differentiationer av jernmalm i basiske eruptiver.

I virkeligheten blir forholdet mellem hornblende og plagioklas meget lidet forskjøvet under differentiationen fra basisk bergart til rik malm.

Betrakter vi nu krystallisationsfølgen finder vi:

1. Normal bergart med 4,5 % magnetit. Plagioklasen er krystallisert først, dernæst magnetiten, og den sidste findes intetsteds som indeslutning i den første, er altsaa krystallisert betydelig senere.
- 1 a. Et andet præparat av samme men med 9,5 % magnetit (ikke opført i tabellen) viser fremdeles nøiagtig samme forhold.
2. Basisk bergart med 14 % magnetit.

Krystallisationsfølgen er fremdeles den samme, men her sees magnetitindivider indesluttet i de periferiske dele av plagioklaserne, tildels noksaa langt ind i de smaa individer. Magnetitens krystallisation er altsaa skudt adskillig frem og vi nærmer os eutektikum, plagioklasen dog vistnok endnu det ældste mineral.

4. I den rike malm med 86 % magnetit er denne krystallisert først og vi er langt paa den anden side av eutektikum.

Desværre har jeg ikke tilstrækkelig mange mellemled til at kunne følge overgangen kontinuerligt.

Eutektikum mellem plagioklas og magnetit er heller ikke bestemt, men derimot har professor VOGT i et arbeide<sup>1)</sup> bestemt et punkt paa krystallisationskurven plagioklas-magnetit ved samtidig tilstedeværelse av hypersten, saa man derav kan anta at magnetitgehalten i det ternære gabbroide

<sup>1)</sup> I. H. L. VOGT: Labradorite-Norite with porphyritic-crystals. Quart-Journ. Geol. Soc. 1909, pp. 88—103.

eutektikum vil ligge relativt lavt og ialfald ikke meget høiere end ved nævnte bergart nr. 2.

Imidlertid viser nu malmkoncentrationen (nr. 3 i tabellen) med 51 % magnetit et ganske besynderligt forhold.

Efter eutektikums beliggenhet skulde man her vente magnetit som det først utkristalliserte mineral, mens dette i præparatet viser sig at være plagioklas. Denne ligger her som meget store, næsten halvporfyriske individer uten spor av indeslutninger, men flere steder med tilsyneladende avrunding av kanterne, der kunde tydes som korrosion.

Imellem plagioklasindividerne er der en mellemmasse bestaaende av hornblende, der etter omslutter magnetitindividerne, som er krystallisert tidligere, men er skilt fra plagioklasen ved hornblenden. Plagioklasindividerne paa den ene side og det øvrige paa den anden side synes at danne to skarpe kontraster. (Pl. III, fig. 1.)

Det besynderlige forhold kan jeg kun forklare mig saaledes, at der har fundet en stofforskryvning sted efter begyndelsen av krystallisationen, som senere nærmere omtalt.

---

#### IV. Differentiationsprocessen.

Som allerede tidligere fremhævet er malmen i dette felt for den overveiende del dannet *in situ*. Den kan som regel ikke henføres til et eget frembrud.

Som av magnetometerkartet fremgaar optrær ogsaa den hele malmforekomst langs gabbrofeltets sydlige grænse, og inden en zone av indtil 100 m. horizontal bredde langs

granitgrænsen. Regner vi kun med den lodrette avstand fra grænsen, blir den endnu betydelig mindre.

At zonen langs grænsen ikke er tilfældig, men staar i avhængighetsforhold til denne, sees tydelig paa flere steder paa magnetometerkartet. Saaledes er den lange gren av gabbroen, der stikker ind i graniten ledsaget av malm, og det trappetrinformede forløp av grænsen længst i syd er ledsaget av et fuldstændig likedannet magnetometrisk drag (se kartet).

Forholdet til grænsen er imidlertid her et ganske andet end for flere andre differentiationsforeteelsers vedkommende. F. eks. ved de sammensatte gange og ved Ni-magnetiske forekomsterne, staar anrikningen mot grænsen i bestemt forhold til grænseplanet, (i det tilfælde avkjølingsplanet), saaledes at anrikningen som regel er størst langs selve dette plan, og gradvis avtagende bort fra grænsen. Ved Ramsøy-feltet staar anrikningen ikke i et saadant forhold til denne grænseflate. Tvertimot kan selve grænsen ofte være ganske fri for malm, eller ialfald med forholdsvis ubetydelige anrikninger.

Regelen er kun at malmanrikningerne holder sig inden den nævnte zone, og inden denne med noksaa mange uregelmæssigheter, og ofte et betydelig antal koncentrationscentrer med mellemliggende fattigere partier.

Det synes allerede derfor liten grund til at anta, at forholdet skulde skyldes de vanlige differentiationsprocesser mot grænsen (avkjølingsplanet), saa meget mere som denne optræden er noget for titanjernmalmforekomsterne ganske ekstraordinært, og følgelig ialfald ikke tilhører den normale differentiationsproces for disse.

Ved nærmere at diskutere de før utviklede resultater av

den mikroskopiske undersøkelse, vil vi imidlertid finde forhold, som er endnu mere overbevisende.

Som bekjendt har professor BRØGGER opstillet den for differentiationslæren meget vigtige sats, at der hersker en *parallellitet mellem krystallisationsfølgen og differentiationsfølgen*.

Professor VOGT<sup>1</sup> utvikler i sit nedenfor nævnte arbeide, hvordan differentiationsprocesserne i eruptivbergarter kan tydes med denne sats som grundlag, og opstiller som hovedregel at differentiationen vil virke henimot dannelsen av tilnærmet eutektiske og tilnærmet monomineralske differentiationsprodukter, de sidste naturligvis først og fremst av det først utkristalliserende mineral.

Betratger vi nu Ramsøyfeltets gabbro, har den krystallisationsfølgen:

- 1) *Plagioklas*, 2) *Apatit*, 3) *Magnetit*, 4) *Mg-Fe-silikat*.

Efter dette skulde man altsaa først og fremst vente en koncentration av plagioklasen, som i andre magmaer hvor denne er i overskud, men nogen mer end almindelig plagioklasrik bergart (labradorsten) forekommer ikke i feltet.

Det som nr. 2 utkristalliserte mineral, apatiten, viser heller ingen koncentrationer. Tvertimot viser den normale gabbro en betydelig større apatitgehalt end malmen.

Først det 3die mineral i gabbroens krystallisationsrække, magnetiten, viser en meget markert koncentration i forhold til alle de andre mineraler, som allerede tidligere omtalt.

Mg-Fe-silikaterne endelig er temmelig ensartet utbredt over det hele, kun med forholdsvis uvæsentlige anrikninger.

---

<sup>1</sup> J. H. L. VOGT: Über Anchi-monomineralische und anchi-eutektische Eruptivgesteine. Vidensk. Selsk. Skr., Kristiania 1908.

Magnetitens anrikning synes imidlertid som man ser her ikke at staa i noget som helst forhold til krystallisationsfølgen i den oprindelige bergart.

Den hele differentiationsproces synes i det hele at være meget forskjellig fra den for disse forekomster vanlige, idet vi i virkeligheten kun har en anrikning av magnetit i forhold til alle andre mineraler, og kun en relativt liten indbyrdes forskyvning av disse, og processen kan sikkerlig antages ikke at ha hat noget med magmaens avkjølingsflater at gjøre.

Man faar indtryk av, at det er en magnetiten selv tiliggende egenskap, som har gjort at netop denne er i høi grad koncentrert, uten at dette staar i forbindelse med gabbroens krystallisationsfølge, og man maa da først og fremst tænke paa tyngdens virkning.

Hvad der særlig skulde tale for en saadan antagelse er:

1. Anrikningernes optræden inden en zone langs gabbroens undre grænse (se profil s. 48).
2. Den specielle anrikning av magnetit tiltrods for at dette ikke betinges af krystallisationsfølgen, og apatitens vandring i motsat retning.
3. De korrosionsfænomener, som karakteriserer en stor del av magnetitkornene i anrikningerne, i motsætning til de i den normale bergart.
4. Den krystallisationsfølge som iagttaes inden flere av de midlere koncentrationsstadier, og som tilsyneladende kun kan forklares ved en anrikning av magnetit efter plagioklasens krystallisation.

Alt dette er punkter som vanskelig lar sig forklare uten hensyn til tyngdens indvirkning.

Gaar vi nu over til nærmere at betragte forholdene under og betingelserne for denne differentiation, maa det erindres, at processerne i en magma er altfor komplicerte til, at man uten videre kan trække vidtgaaende slutninger av iagttagelserne. Den rigtige vei er først ved hjælp af syntetiske metoder at bestemme de enkelte komponenters indbyrdes forhold, og først litt etter litt at komme ind paa de mere komplicerte.

Tiltrods for at meget arbeide for tiden utføres paa dette omraade, staar man endnu langt tilbake. Selv de enkelte komponentære smeltepunkter er delvis ukjendt.

Svovlkisen er det overhovedet ikke lykkedes at smelte som saadan, magnetitens smeltepunkt er ukjendt, og for flere av Fe—Mg-silikaterne er det kun unøiagtig bestemt. Av 2-komponentsystemerne er plagioklas-magnetit, magnetit-Fg-Mg-silikat og magnetit-ilmenit endnu fuldstændig ukjendt, og før man ad syntetisk vei kan komme ind paa disses 3-komponentsystemer, vil der endnu gaa lang tid.

Det er derfor endnu fuldt berettiget at følge den av professor VOGT paabegyndte vei, ved iagttagelser fra forhaandenværende bergarter at trække tilnærmede slutninger angaaende de mere komplicerte av disse forhold.

Blandt de differentiationsprocesser, som kan foregaa *in situ* i basiske bergarter, og saaledes er lettest tilgjængelig for nærmere studium, er de, som resulterer i utskillelsen av de rike sulfidmasser, væsentlig magnetkis, og de som har magnetit-ilmenit-malmer som endeprodukt. Tiltrods for moderbergarternes nære slektskap er der, som saa ofte av professor VOGT fremhævet, en væsensforskjel mellem disse differentiationsprocesser, og følgelig ogsaa, som jeg tidligere her har nævnt, mellem disse malmes optræden inden sin moderbergart.

Magnetkisens differentiationsproces bestemmes af de to faktorer, at den har det laveste smeltepunkt ( $1183^{\circ}$ ) af de i magmaen optrædende enkle mineraler, og at sulfiderne nær magmaens krystallisationstemperatur har en langt mindre opløselighet i silikaterne end ved højere temperaturer. Har vi nu en sulfidforende magma med fuld gjensidig opløselighed ved højere temperatur, kan der ved avkjølingen indtræe tre tilfælder.

Enten naaes opløsningsgrænsen før krystallisationen begynder. De overskytende sulfider utskilles da som en egen magma, der efter samme regler som for en vanlig smelteovn med basisk slagg vil synke nedad paa grund af tyngden og holde sig flytende, til hovedmagmaen for en væsentlig del er krystallisert, mens resten af sulfiderne forblir opløst. Derav den hyppig iagttagne foretakelse, at inden forekomster med hovedsagelig koncentration af sulfiderne *in situ* optrær ofte "Nachschübe" af renere sulfidmasser.

I det andet tilfælde naaes opløsningsgrænsen først efterat mere eller mindre av silikaterne allerede er utkrystallisert, og sulfiderne vil først utskilles (i flytende tilstand) litt efter litt under krystallisationen, og følgelig ha mere eller mindre vanskelig for en adskillelse efter tyngden.

Det tredje tænkelige tilfælde er det, at opløsningsgrænsen overhovedet ikke naaes, saa magnetkisen utkrystalliserer normalt som sidste mineral. Hvis dette i det hele kan indtræ, er det ialfald kun ved meget lav sulfidgehalt.

Som ogsaa alle iagttagelser viser, er ved disse processer plagioklasen og Fe-Mg-silikaterne ikke gjenstand for indbyrdes differentiation.

Ved koncentrationerne av magnetit-ilmenit hersker ganske andre forhold.

Efter hvad man for tiden maa anta, har magnetiten et høiere smeltepunkt end de i magmaen optrædende silikater<sup>1</sup>, og man maa ogsaa anta, at der hersker fuld gjensidig oploselighet.

Rigtignok er dette sidste ikke definitivt bevist for alle kombinationer; men under enhver omstændighed er det tilfældet for den magnetitgehalt, som oprindelig forefandtes i den her omtalte gabbro og i alle normale basiske eruptivbergarter.

Som allerede tidligere paavist, kan det efter dette i overensstemmelse med forholdene inden feltet ansees sikkert, at differentiationen ikke skyldes processer, som har virket før krystallisationsperioden, hverken ved en separation i to magmaer eller i overensstemmelse med „Sorets principle“.

Paa s. 28 ff. har jeg forsøkt at vise, at de iagttagne fænomener skulde skyldes en differentiation som følge af *kombinert indvirkning av krystallisationsfølgen og tyngdevirkningen*, og det gjenstaende spørsmål er, paa hvilket tidspunkt adskillelsen har fundet sted, og hvordan den har foregaat.

Den efterfølgende forklaring herav anser jeg nærmest som et forslag til en løsning, der kan stemme overens med alle de iagttagne fænomener, idet forholdene ikke tillater noget egentlig bevis for detaljerne.

I henhold til foran opførte beregninger kan sammenstillingen af den oprindelige magma tilnærmet sættes til:

45 à 50 pct. Plagioklas.

40 à 45 " Fe-Mg-silikater.

Vel 10 " Magnetit.

---

<sup>1</sup> Mundtlig meddelelse fra Geophysical Laboratory, Washington D. C.

Først utkristalliserer plagioklasen, som det synes nogenlunde samtidig gjennem den hele magma. Krystalliseringstemperaturen for en plagioklas av vor sammensætning skulde dreie sig om  $1400^{\circ}$ , men vil paa grund av tilstedevarelsen av de andre mineraler være nedsat meget betydelig, hvor meget vites ikke.

Plagioklasen viser ikke tydelig zonarstruktur, hvad der antagelig skyldes den omstændighed, at magmaens oprindelige sammensætning ikke ligger saa synderlig langt fra eutektikum, samt den formodede meget langsomme avkjøling, med likevegt mellem fast og flytende form.

Før plagioklas-magnetit eutektikum naaes, vil kun endel av plagioklasen være utkristallisert, vi kan skjønsmæssig si ialfald ikke over  $\frac{1}{5}$  av magmaens masse. Dernæst begynder ogsaa magnetitens krystallisation, som det synes for en stor del om egne centrer, mens plagioklasen fremdeles utfældes om de før dannede individer.

En liten del av magnetitindividerne blir nu indesluttet i plagioklasen; men de fleste er frit utviklet.

Da forholdet mellem plagioklas og Fe-Mg-silikat i de fleste facies av bergarten er forholdsvis litet forskjellig, behøver vi ikke at forutsætte nogen væsentlig gjensidig forskyvning under feldspatens første krystallisationsperiode. Som det let vil sees var ogsaa forskjellen i specifik vekt forholdsvis ubetydelig, feldspaten med sp. v. ca. 2.7, den resterende smelte med ikke over 3.3, selv om vi ikke forutsætter en lavere sp. v. i den flytende end i den faste aggregat tilstand. Desuten maa smeltens viscositet ved den betydelige albitgehalt forutsættes temmelig stor.

Betrakter vi dernæst forholdene under magnetitens krystallisation, finder vi:

Den resterende smelte anrikes raskt paa Fe-Mg-silikater og vil følgelig være mindre viscos. Den gjensidige forskjel i specifik vekt vil under magnetitens utkrySTALLisation tilta meget raskt, idet magnetitindividerne har sp. v. ca. 5, den resterende smeltes derimot avtar under 3.3.

Under disse forhold, og hvor endnu kun f. eks.  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$  av magmaens volum er utskilt i fast tilstand, skulde vi derfor kunne forudsætte en gjensidig forskyvning i henhold til tyngden, her væsentlig bestaaende i en synkning av de magnetitindivider, som ikke er blit indesluttet i feldspaten. Da alle tegn tyder paa, at avkjølingen av denne magma har været meget langsom, skulde denne tilstand kunne ha bestaat i forholdsvis lang tid.

Nogen forskyvning i likevegtsforholdet skulde denne anrikning af magnetit i bunden ikke kunne beyirke, da krySTALLisationen i den hele magma i den periode foregaar efter plagioklas-magnetit eutektikum, enten den ene eller den anden av disse er i overskud i fast tilstand.

Naar denne koncentration i bunden er langt fremskreden, vil den specifikke vekt her bli meget betydelig og ikke tillate de primært utkrystalliserte plagioklasindivider at forbli her. Som de letteste vil de bevæge sig opad, saaledes at man i de rikeste malmpartier ikke vil ha noget av den tilbake. Der finder man kun den sidst utkrystalliserende plagioklas, tilhørende eutektikum.

Apatiten spiller under hele processen samme rolle som feldspaten.

I de øvre partier av gabbroen er krystallisationen imidlertid foregaat fuldstændig uforstyrret, tiltrods for at endel av magnetiten er forsvundet. De mineraler, man nu kan iagttå i præparerterne derfra, har ikke undergaat nogen gjensidig

forskyvning eller bevægelse, og den halvt optiske struktur er her klart utviklet.

Som man maa forudsætte, maa der imidlertid findes mellemled i zoner omkring de rikeste malmpartier, hvor den gjensidige forflytning mellem magnetit og plagioklas endnu ikke er fuldført, hvor man altsaa endnu finder de primære plagioklasindivider liggende i en grundmasse af Fe-Mg-silikat med utskilte magnetitindivider. Dette er ogsaa netop hvad man finder, og hvad jeg har beskrevet i et typisk præparat fra denne zone (s. 26). Sammensætningen fremgaar av nr. 3 (tabellen s. 24). Der sees store, næsten halvporfyriske individer av plagioklas, uten den listeformige begrænsning og ofte mere eller mindre avrundede, liggende i en grundmasse af hyppig avrundede magnetitindivider, omgit af hornblende, som det sidste krystalliserende mineral, delvis i eutektisk sammenvoksning med magnetit. (Pl. III, fig. 1.)

Betruger vi tilslut den sidste fase af krystallisationen, finder vi i den rike malm hornblenden krystallisert som nr. 2 i form av regelmæssige ringer omkring korroderte magnetitindivider. Dette kan jeg kun forklare mig ved en underkjøling efter plagioklas-magnetit-eutektikum. Ved dennes avslutning undergaar magnetitindividerne en kort resorption, snart avbrutt av den raske avsætning af hornblende omkring den.

Da den primære plagioklas her er borte, faar vi den resterende plagioklas som sidst utkrySTALLISERTE mineral i mellemrummene. (Pl. II.)

I overgangsleddene er som nævnt primære plagioklas-individer endnu tilstede. Efter den samme underkjøling faar vi derfor en resorption saavel av plagioklas som af magnetit, dernæst en avsætning af hornblende mellem disse individer

samt delvis utvikling av en hornblende-magnetit-eutektikum-struktur (Pl. I, fig. 2), den eneste som er iagttatt i præparerterne fra dette felt. Denne struktur synes altsaa her kun at være kommet til utvikling ved den raske krystallisation av hornblende + magnetit etter underkjølingen.

Ved den ovenfor utviklede forklaring av krystallisationsprosessen faar vi forklaring paa alle de iagttagne fænomener, som avviker fra forholdene under normal krystallisation. Foruten tydningen av de besynderlige overgangsled under malmkoncentrationen forklares de paaafaldende korroderte magnetitindivider i den rike malm som en følge dels av mekanisk transport, dels av resorption. Man faar en forklaring paa apatitmængdens paaafaldende avtagen med tiltagende magnetitgehalt, og av malmens karakteristiske opræden i en anrikningszone langs gabbroens undre grænse, uten at denne anrikning støtter sig til selve grænseplanet. Som ved enhver magma maa vi nemlig forudsætte, at avkjølingen langs selve grænsen har gaat *noget* forut for den i de indre dele. Det er derfor let forklarlig, at krystallisationen ved grænsen har været saavidt langt fremskredet under hovedperioden for koncentrationsprocessen, at magnetitindividernes nedadgaaende bevægelse som regel ikke har kunnet naa selve grænseplanet, men er stanset ved en puteformig undergrænse, bestemt ved avkjølingsgraden.

Med hensyn til betingelserne for en differentiation som denne er den meget avhængig af bergartens oprindelige sammensætning. Hvis vi saaledes i et tilfælde som dette havde hat en længere krystallisationsperiode for plagioklasen alene (længere fra eutektikum), vilde koncentrationen været vanskeliggjort.

I det store og hele har man flere iagttagelser angaaende tyngdens indvirkning blandt basiske bergarter end blandt sure.

I det hele bør man gaa ut fra, at tyngden er en faktor, som ogsaa bør regnes med, specielt ved differentiationen av malmer, saaledes som særlig fremhævet av professor DALY (Harvard), selv om man ikke gaar saa langt i sine slutninger som ham.

Den væsentligste indvending mot den her antydede forklaring maatte vistnok være mot antagelsen om, at i en eutektisk blanding (f. eks. plagioklas-magnetit) skulde plagioklasen kunne krystallisere om de allerede eksisterende plagioklasindivider, samtidig som magnetiten danner helt selvstændige individer i den resterende smelte. Under enhver omstændighed kan dette kun indtræ ved meget langsom avkjøling, og antagelig ogsaa lettest ved kemisk hinanden fjerntstaaende mineraler, og det stemmer forsaavidt med, at vi i vore vanlige bergarter paa langt nær saa hyppig finder eutektstrukturer, som man skulde vente efter eutektikums betydning ved de fleste krystallisationsprocesser.

---

## V. Det ternære gabbroide eutektikum.

Det er klart, at ved alle betragninger av denne art er kjendskapet til de enkelte konstituerende bestanddeler og deres indbyrdes krystallisationsforhold av væsentlig betydning

Tydningen av processer som de her omtalte blir derfor meget vanskelig gjort ved vort mangelfulde kjendskap til disse forhold, et kjendskap som er endnu mere mangelfuld for de basiske end for de sure bergarters vedkommende.

Professor VOGT har i sit foran omtalte arbeide introdusert begrepet: „det ternære gabbroide eutektikum“, idet han ved forenkling til et 3-komponentssystem søker at fremstille krystallisationsprocesserne i en basisk magma i et triangel-diagram.

Metoden skaffer selvfølgelig kun rent tilnærmede resultater, idet de forskjellige komponentene ikke blir samlet sammen i grupper.

*Plagioklasernes* gruppe omfatter i disse bergarter leddene fra andesin til bytownit, med smeltepunkter varierende fra ca. 1430° til ca. 1530°.

*Fe-Mg-silikaternes* gruppe omfatter de rhombiske og monokline pyroxener samt hornblende.

Når man undtar yderleddene enstatit-bronzit og anthyllit, der ikke spiller nogen særlig fremtrædende rolle i de fleste af disse bergarter, er smeltepunktets variation også inden denne gruppe forholdsvis moderat.

*Magnetit-ilmenitgruppen* omfatter blandingsleddene mellem disse mineraler, for hvem ikke alene de absolute smeltepunkter, men også deres relative forhold er næsten ganske ukjendt.

Når vi imidlertid erindrer, at i de basiske bergarter er den ilmenitfri magnetit forholdsvis underordnet, og når vi foreløbig utelukker felterne med rent overveiende ilmenit fra betragtningen, får vi inden gruppen kun leddene med en lav og midlere titangehalt, for hvem vi foreløbig får anse en sammenstilling i én gruppe for berettiget.

Med disse 3 grupper som hovedkomponenter, bestemte professor VOGT et punkt på den binære eutektikumslinje

plagioklas-magnetit, efter iagttagelser og analyser av en labradorit-norit fra Lofoten<sup>1</sup>.

Desværre er ved en tegnfeil hans diagram (s. 96) blit feilagtig, idet magnetit- og hyperstenpolen er forbryttet, men efter talopgaverne finder man let det bestemte punkts rigtige beliggenhet inden diagrammet.

For nu ad iagttagelsens vei nærmere at bestemme det ternære eutektikums beliggenhet, vilde det riktige være at ta for sig et stort antal bergarter med de 3 komponenter tilstede i forskjellige forhold og med bestembar krystallisafølge, og ved analyser eller arealberegnning av præparaterne at bestemme diagrammet.

Naar jeg allikevel her vil forsøke at lokalisere det eutektiske punkt noget nærmere, uten et saadant stort materiale forhaanden, er grunden væsentlig den, at jeg inden det her behandlede Ramsøyfelt finder endel kombinationer, der ellers er forholdsvis sjeldne, nemlig med samtidig tilstedeværelse av betydelige mængder magnetit-ilmenit og en forholdsvis sur plagioklas. Derved faaes iagttagelser for et par av de mest interessante punkter inden diagrammet. Et par mere tilfældige iagttagelser fra andre felter er samtidig medtagt for fuldstændighets skyld.

Som det vil indsees er feilkilderne mange:

Komponentgruppernes størrelse med derav følgende variation av smeltepunktet, der for hvert enkelt tilfælde kræver en modifikation af diagrammet.

Det ringe antal iagttagelser, der væsentlig holder sig til enkelte dele av diagrammet.

<sup>1</sup> J. H. L. VOGL: Labradorite-norit with porphyritic labradorite crystals.  
Quart. Journ. Geol., 1909, s. 81—103.

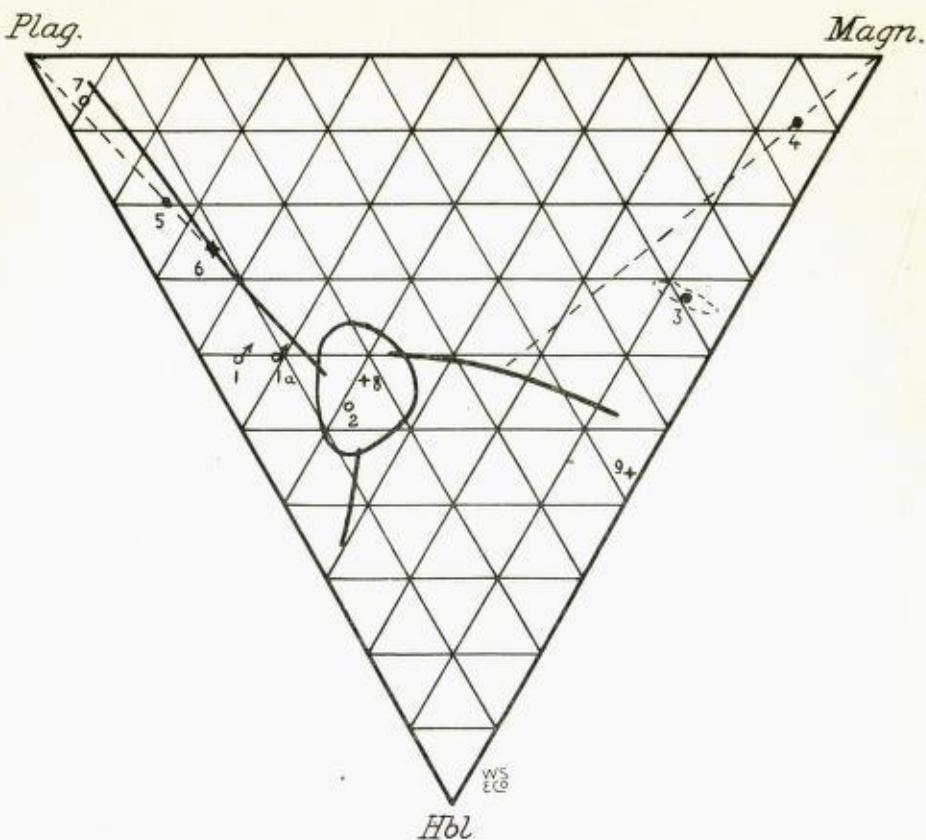


Fig. 1.

Det ternære gabbroide eutektikums omtrentlige beliggenhet og de 3 binære eutektikumslinjers omtrentlige forløp.

Diagrammet repræsenterer kun et første forsøk paa en bestemmelse.

(Hornblende indført istedenfor hypersten. Se teksten).

Først utkristallisert : Plagioklas i nr. 1, 2, 5 og 7 (ring), magnetit i nr. 3 og 4 (punkt), Fe-Mg-silikat i nr. 8 og 9 (kors).

Nr. 1—2. *Kvarts-hornblende-gabbro*, Ramsøy.

„ 3—4. *Magnetit-ilmenitmalm*, —

„ 5. *Labradorit-norit*, Lofoten, (efter VOGT).

„ 6. Det av VOGT bestemte punkt paa eutektikumslinen plagioklas-magnetit.

„ 7. *Labradorosten*, Andopen, Lofoten.

„ 8. *Gabbro*, Storgangen, Selvaag i Vesteraalen.

„ 9. *Titanomagnetitdialaggit*, „ —

Den mikroskopiske arealberegnings begrænsede nøagtighed.

Endelig vort begrænsede kjendskap til de processer, der kan spille ind under krystallisationen af en magma, som underkjølingens betydning, en eventuel optræden af en begrænset elektrolytisk dissociation o. s. v.

Formaalet er væsentlig at faa et generelt billede av diagrammets vordende utseende, retningen af de binære eutektikumlinjers omtrentlige forløp, og en ytre environ for det ternære eutektikums beliggenhet.

Resultatet fremgaar av diagrammet (fig. 1) med angivne lokaliteter for de 9 bergarts- og malmprøver, der ligger til grund for bestemmelsen.

Nr. 1 og 1a har krystallisationsfølgen:

1) Plagioklas, 2) Magnetit, 3) Hornblende.

Hvad angaar rækkefølgen mellem de to sidste maa der tages hensyn til den tidlige omtalte synkning af magnetitindividerne, saa den oprindelige magnetitgehalt vistnok har været større. (Begnet ved en pil paa tegningen).

Nr. 2 (Beskr. s. 25) ligger nærmere eutektikum, med for en stor del samtidig krystallisation af plagioklas og magnetit. Dog er sandsynligvis plagioklas det ældste mineral, hornblenden det sidste.

Nr. 3 gir sammensætningen af grundmassen i malmkoncentrationens overgangsled (den porfyriske plagioklas bortelimineret) og med krystallisation: 1) Magnetit, 2) Hornblende.

Nr. 4 viser rækkefølgen: 1) Magnetit, 2) Hornblende 3) Plagioklas, meget distinkt.

Nr. 7. Plagioklasen, der er først utkrySTALLISERT viser sammensætningen labrador (ca. 50% An).

Malmutsondringer fra dette felt fører 10% TiO<sub>2</sub> til 60% Fe, ø: omtrent samme forhold som Ramsøyfeltet.

Nr. 8. Krystallisationsfølgen synes at være: 1) Diallag, 2) Magnetit, 3) Plagioklas, dog litet utpræget. Da diallag har højere smeltepunkt end hornblenden, kommer eutektikum her noget nærmere plagioklasen.

Nr. 9. Meget markert krystallisationsfølge: 1) Diallag, 2) Magnetit. Malmen fører 4% TiO<sub>2</sub> til 35 à 40% Fe, altsaa noget lavere titangehalt.

Av diagrammet fremgaar, at beliggenheten av det nære eutektikum endnu er temmelig ubestemt.

Det ligger mellem:

30—45 % Plagioklas.

35—55 % Fe-Mg-silikater.

10—20 % Magnetit.

Det interessanteste ved diagrammet er det formodede forløp av plagioklas-magnetiteutektikumslien, det eneste der skiller sig væsentlig fra de av VOGT antagne forløp. Mens VOGT vil ha dette eutektikum nærmere magnetiten, jo lavere gehalten av Fe-Mg-silikater er, tyder mine resultater i dette punkt paa det motsatte, og synes deri at stemme med en række forhold blandt bergarterne. Av diagrammet fremgaar det, at det binære plagioklas-magnetit eutektikum kommer meget nær det første mineral, naar Fe-Mg-silikater ikke er tilstede. Da dette gjælder for middelsure plagioklaser, vil det i endnu høiere grad være tilfældet for de sure plagioklaser og vistnok ogsaa ortoklas med de lavere smeltepunkter. Heri kunde man eventuelt finde forklaringen til, at magnetit (ilmenitfri) i de av alkalirækkens og delvis ogsaa mellemrækkens bergarter som fører rikelig feldspat f. eks. granit og syenit næsten altid krystalliserer før silikaterne, selv ved meget smaa mængder, mens dette ikke er saa gjennemgaaende naar bergarten fører mere Fe-Mg-silikater. Desuten finder vi et træk hos labrodorstene og deres jernmalmutsondringer, der meget sterkt peker i samme retning.

Det er mangfoldige gange iagttaat, at naar man har jernmalmutsondringer i normale gabbroer, noriter, hyperiter o. s.v., i det hele i bergarter med rikelig Fe-Mg-silikater, finder man ofte alle overgangsled mellem den normale bergart og dens differentiationsprodukter. Man finder differentiationerne fra

den normale gabbro henimot den rene magnetit-ilmenit, fra den normale gabbro henimot de rene Fe-Mg-silikater, og likeledes rikelig repræsentert leddene Fe-Mg-silikat til magnetit uten plagioklas, i form av titano-magnetit-dialaggiter, — enstatititer og — olivinitter. Anderledes hos labradorstenene. Disse er mindst like ofte som gabbroerne moderbergarten for utdifferenteret jernmalm, men processen forløper noget anderledes. Enten finder man næsten rene magnetit-ilmenit malme som skarpt begrænsede „Nachschübe“ i den rene labradorsten, eller man har overgang fra labradorstenen til malmén, men da altid med samtidig koncentration av Fe-Mg-silikaterne. De rene titanomagnetitplagioklasiter med underordnet Fe-Mg-silikat er ikke kjendt.

Ifølge den av VOGT opstillede regel, vil nu en differentiation som regel forløpe saaledes, at produkterne mere og mere nærmer sig de tilnærmet monomineralske og de tilnærmet eutektiske produkter.

Som vi ser av diagrammet, skulde nu eutektikum plagioklas-magnetit være meget litet utpræget, med liten smeltepunktsnedsættelse, og selv den eutektiske blanding fører meget litet magnetit, særlig volumetrisk maalt.

Differentiationerne inden denne del av diagrammet skulde derfor i overensstemmelse med iagttagelserne, utelukkende gi praktisk talt monomineralske produkter.

Eftersom nu Fe-Mg-silikaterne tiltar i mængde, vil eutektikum plagioklas-magnetit bli stadig mere utpræget, med stadig større smeltepunktsnedsættelse, og dermed betingelserne for en differentiation med en række mellemprodukter tilta, likesaa mængden av materiale for dannelsen av det ternære eutektikum.

Inden denne gruppe kommer alle de overgangsled, der optrær mellem labradorsten og jernmalm. Eutektikum ind-

gaar som regel i disse overgangsled, idet det ikke utdifferenteres for sig, men undertiden finder man gange, yngre end det øvrige, hvis sammensætning tenderer mot eutektikum.

Disse ting stemmer derfor med den efter diagrammet antagne plads for eutektikum plagioklas-magnetit.

---

## VI. Malmens utbredelse og magnetisering.

(Se magnetometerkartet.)

Paa grund av den sterke overdækning i malmdistriket og den fuldstændige mangel paa nyere røsknings og avdækningsarbeider har man i det væsentlige kun to momenter at holde sig til ved bedømmelsen af malmforekomstens utstrækning og form:

1. De gamle grubeaapninger.
2. Det magnetometriske kart.

Da grubeaapningerne omrent alle staar fulde af vand og er halvveis overgrodde, gir de temmelig litet indblik i malmens opræden, og da de i sin tid alle er anlagt efter bergkompassets anvisning, er det i virkeligheten næsten ute-lukkende magnetiske maalinger, der danner grundlaget for vort nuværende kjendskap til malmens utbredelse.

Her, som ved saa mange andre jernfelter, hører derfor det magnetometriske kart til de vigtigste foreløbige undersøkelsesarbeider.

Dette er ikke, som mange undertiden gaar ut fra, beregnet paa at skaffe endelige resultater, det være sig med

hensyn til arealberegnung og kubicering av malmen, eller overslag over malmens relative gehalter.

Paalidelige bidrag til arealberegningen kan det i høiden kun gi i forbindelse med systematiske avrøskningsarbeider. Med et magnetometrisk kart for haanden kan man med større sikkerhet „interpolere“ mellem og til en vis grad ogsaa „ekstrapolere“ fra de foreiggende iagttagelser paa avdækkede steder. Kartet kan derfor til en vis grad bidra til at formindske utstrækningen av de nødvendige avdækningsarbeider.

Dets hovedopgave er imidlertid som nævnt at være forløperen for alle andre undersøkelsesarbeider.

Det danner et grundlag, der ikke alene er nyttigt, men som regel ogsaa nødvendigt for et fuldt korrekt anlæg av forsøksarbeiderne.

Ved enhver magnetisert malmforekomst, kan man av et magnetometrisk kart med sikkerhet vente at faa oplyst:

1. Forekomstens utstrækning og begrænsning.
2. Forekomstens hovedretning og hoveddimensioner.
3. Sammenhængen mellem feltets enkelte dele og den relative betydning av disse.

Som regel ogsaa:

4. Feltets faldretning.
5. Ertsføringens større eller mindre regelmæssighet.

I forbindelse med en del avrøskninger:

6. Et tilnærmet maal for mægtigheten.

I gunstige tilfælder og jevn magnetisering desuten:

7. Et tilnærmet maal for dypgaaende.

Hvad Ramsøyfeltet angaaer har malmen der sterke magnetiske egenskaper, saa man faar et utmerket billede av feltets magnetisering.

Som man av forekomstens genesis kunde vente, tyder kartet paa en i detaljer meget uregelmæssig malmforekomst med overgangsled fra den rikere malm til den malmførende bergart. Der er derfor utviklet et stort antal sterke primære og sekundære magnetiske poler, hvad der umuliggjør en tilnærmet bestemmelse av mægtighet eller dypgaaende paa basis av kartet.

Derimot gir det en utmerket oversigt over forekomstens optræden i sin store almindelighed, og viser for det første med al ønskelig tydelighed, at malmen staar i et markeret forhold til gabbrofeltets grænse.

Tar vi magnetometerkartet for os, finder vi, at i det store og hele forløper malmzonan i en stor bue rundt graniten, men ved nærmere eftersyn opløser denne sig i 3 markerte og tilnærmet parallele zoner med sterkt positivt drag og længderetning N—S, likesom denne retning ogsaa i detaljen er ganske markert gjennem hele feltet.

Disse malmførende zoner viser sig at repræsentere mere eller mindre utprægede tunger av gabbroen ind i graniten.

De er derfor adskilte ved markerte indbugtninger av granitgrænsen, der videre fortsættes av magnetisk neutrale eller negative zoner langt ind i gabbrofeltet.

De magnetiske kurver antyder her ogsaa malmens faldretning, og dermed det sandsynlige forløp mot dypet av gabbrogrænsen.

Av disse forhold slutter jeg, at gabbroens grænse mot graniten ikke kan antages at forløpe vertikalt mot dypet.

Gabbroen synes derimot med sin undre grænse at være plogfureformig injicert i graniten, i længderetning N—S, og med akseretning faldende mot N.

Ved erosionen er saa de underliggende granitrygge delvis kommet frem i overflaten og danner de synlige lange tunger ind i gabbroen, der videre maa antages at fortsætte under gabbroen, og der repræsenterer de magnetisk neutrale og negative zoner i denne.

Paa basis herav kan nu de sandsynlige profiler opstegnes (s. 48).

Disse er altsaa konstruerede utelukkende efter magnetometerkartet, og kan derfor ikke ansees helt sikre, men i hovedsaken kan de dog med stor sandsynlighed antages at repræsentere det virkelige forhold.

Hermed synes ogsaa at stemme den mundtlige oplysning, jeg anførte (s. 13) angaaende Larsgruben I, hvor man i ca. 25 m. dyp var kommet ned paa en mot NO skraanende slette med underliggende graaberg. Dette har antagelig været granitgrænsen, om jeg end ingen sikkerhet har for denne antagelse.

Malmen, der følger grænsen, synes derfor at maatte forløpe temmelig skraat mod dypet, og den midtre malmzone skulde efter dette antages, ikke at være særlig dypgaaende, især i sin sydlige del.

I et par foregaaende kapitler, har jeg gjennem en længere teoretisk utredning forsøkt at skaffe en tilfredsstillende forklaring av malmens differentiationsproces. Selv om denne utredning i og for sig ingen praktisk betydning har, vil det let indsees, at konklusionen er af væsentlig betydning for forstaaelsen av malmens optræden og utbredelse mot dypet.

Som konklusion er jeg kommet til, at differentiationen antagelig skyldes en kombinert indvirkning af krystallisationsfølgen og tyngden. Hvis denne antagelse i fremtiden skulde

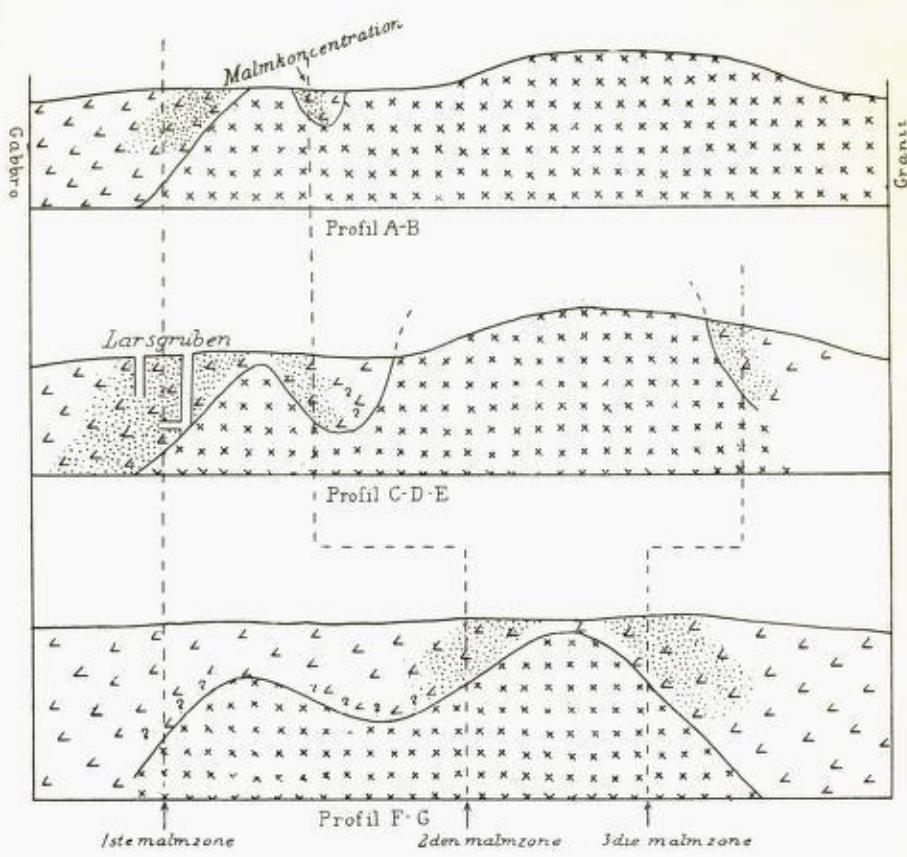


Fig. 2.

Forekomstens formodede forløp mot dypet. Profilsnit, konstrueret efter magnetometermalinger, samt enkelte blotninger. (Se kartet).

vise sig at være rigtig, vil den i forbindelse med den av magnetometerkartet fremgaaende antagelse om gabbrogrænsens forlop mot dypet, gi den forønskede oversigt over malmens generelle forlop mot dypet, og den nødvendige veiledning ved videre eftersøkning av malmen.

De utprægede N—S gaaende zoner uten magnetometrisk drag, som jeg altsaa antar repræsenterer rygge i den underliggende granit, skulde da likeledes repræsentere malmfrie eller malmfattige zoner. For den øvre (sydlige) dels vedkommende kunde dette forklares ved, at den overliggende gabbro kun har en liten mægtighed før man kommer ned paa graniten.

For den generelle forklaring kan vi imidlertid atter ty til antagelsen om malmfeltets dannelsesmaate. Ved synkningen av magnetitindividerne har nemlig disse naturligen hovedsakelig samlet sig i de utpræget rendeformige fordypninger af gabbroen, og kun i mindre utstrækning over de opstaende granitrygge. Forsaavidt faar man en analogi med *Sudburyfeltet* i Canada, hvor der er en utpræget ansamling af sulfider i fordypningerne i noritfeltets undre grænse<sup>1</sup>; dog med den forskjel, at denne regel dér er langt mere utpræget, som følge av at sulfiderne er utskilt allerede i flytende tilstand, og følgelig har hat langt lettere for en saadan ansamling.

Ser vi nu nærmere paa malmfeltet ved Ramsøy, falder det naturlig i 3 adskilte zoner, den vestre, midtre og østre.

Den midtre zone, der efter dette danner en grøft mellem 2 opstikkende granitrygge, skulde man derfor ikke vente sig saa meget av, da den opstikkende granit i kartets nordlige

<sup>1</sup> A. P. COLEMAN: The nickel Industry. Bureau of Mines. Ottawa, 1913.

hjørne enten danner en grænse for denne grøfts utbredelse mot dypt (hvis det er graniten i det liggende), eller hvis det er gabbroens hængende grænse, gir temmelig liten mægtighet av denne, og følgelig liten koncentration.

I den vestlige og den østlige zone falder malmen mot dypt henholdsvis mot vest og mot øst, den første temmelig steilt, den sidste svakere, idet magnetometerdraget overalt avtar bort fra granitgrænsen.

Det spørsmål som nu blir av størst betydning for bestemmelsen av feltets størrelse er følgende:

Skyldes magnetometerdragets avtagen bort fra granitgrænsen en avtagen av malmmængden nedover, eller skyldes det malmens stadig dypere stilling eftersom grænsen synker henholdsvis mot vest og øst? Efter min tidligere utredning skulde det sidste være det sandsynligste, og man skulde eventuelt kunne vente en malmanrikning av større eller mindre betydning over hele gabbrofeltets bundflate.

Herfor taler ogsaa forholdet ved de 3 grunde skjærp mellem + 40 og + 60 m.-linjerne (se kartet). I disse staader, tiltrods for det sterke magnetometerdrag, kun forholdsvis fattige malmimpregnationer, saa man eventuelt skulde vente den rikere malm nedenunder.

Hvis det første av ovennevnte alternativer var det rigtige, vilde den forhaandenværende malmmængde antagelig være for liten til at paakalde nogen opmerksomhet, i sidste tilfælde skulde muligheterne være tilstede, og en nærmere undersøkelse være berettiget. En saadan kunde da enten foregaa ved en lænsning av de gamle grubehul, og fortsat drift nedover, eller ogsaa ved en række diamantboringer inden feltet, for hvis anordning magnetometerkartet gir tilstrækkelig veiledning.

Den første metode vilde skaffe betydelige øieblikkelige utgifter og følgelig en stor risiko at bære, den sidste vilde foruten at være den billigste, tillike være den absolut rationelleste.

Den midtre malmzone skulde da, tiltrods for at den efter kartet tilsyneladende er en af de betydeligste, allikevel være den man mindst skulde fæste sig ved.

Betingelserne for en eventuel drivværdighet av feltet, vil desuten naturligvis avhænge af den mægtighed man i gjennemsnit kunde paaregne, av malmens jerngehalt og av separationsbetingelserne. Den første maa antages at være adskillig uregelmæssig, men vil neppe paa det nuværende stadium nærmere kunne fastsættes. Med hensyn til de to sidste spørsmaal vil jeg komme nærmere ind paa dem i næste kapitel.

Med hensyn til en eventuel grubedrift kan det her omtales, at terrænet ikke gir adgang til stolanlæg. Hvis man ikke vil drive feltet efter de gammels primitive metode, ved at gaa ned med en synk inden hvert malmparti, maa principet for grubedriften bli at arbeide med en eller to centralskakter.

---

## VII. Malmens kemiske sammensætning og separationsbetingelser.

Som tidligere fremhævet optrær der inden feltet alle overgange fra moderbergarten til den rike malm. De til enhver tid herskende faktorer vil da bestemme, til hvor lav gehalt man med fordel kan medta malmen, og derigjennem

hvilke malmkvantiteter der kan regnes med. Av denne grund vil det fremgaa, at der for tiden ikke kan tales om nogen gjennemsnitsgehalt for det hele felt. Den vil avhænge af hvor denne minimumsgrænse fastsættes. Tidligere har jeg omtalt, at differentiationen ikke har gåaet saa vidt som til utsondring av ganske ren malm. Foruten den med magnetiten forbundne gehalt av ilmenit, vil der altid være mere eller mindre silikatmineraler tilstede.

Jeg anfører her et par analyser, utført paa den utbrudte malm, og som repræsenterer den bedste kvalitetsgruppe. I mindre partier vil man muligens kunne finde endnu noget høiere gehalter, men de kommer ikke til at spille nogen rolle.

Paa den anden side finder man muligens de betydeligste mængder av malm med lavere gehalter, jevnt avtagende nedover til den malmfri bergart.

*Analyser av den bedste malm.*

	I.	II.
Fe . . . . .	49,52 %	54,8 %
TiO <sub>2</sub> . . . . .	7,78 "	3,95 "
Mn . . . . .	0,62 "	
S . . . . .	0,34 "	0,851 "
P . . . . .	0,071 "	0,011 "

- I. Analysen utført av dr. O. N. HEIDENREICH, Kristiania. Gjennemsnit av en 45 kgs prøve.  
 II. Efter en ældre svensk driftsanalyse.

Analyserne viser en sammensætning, som er fuldt normal for forekomster av denne type. Karakteristisk er saaledes den tidligere omtalte lave fosforgehalt, som dog vistnok vil være noget høiere i de fattigere dele av malmen.

Likeledes er den relativt høie svovlgehalt typisk. Jerngehalten vil neppe nogetsteds gaa over 55 % Fe, inklusive det i ilmeniten indgaaende jern, der som det senere vil fremgaa, i dette tilfælde maa regnes med.

Beregnet efter ovennævnte analyse nr. 1 skulde malmens sammensætning bli:

61 % Magnetit,

15 % Ilmenit,

24 % Silikater,

hvorefter forholdet magnetit : ilmenit = 4 : 1. Hvordan denne ilmenit indgaar har jeg ikke kunnet undersøke uten reflektionsmikroskop, som jeg ikke hadde til disposition. Hvor meget av den, der kan indgaa som fast oplosning i magnetiten er endu ikke avgjort, men en betydelig del maa eventuelt indgaa som en meget fin mekanisk blanding.

Med hensyn til separationsmuligheterne blev der for nogle aar siden foretaget et par forsøk derover ved universitetets metallurgiske laboratorium av dr. P. FARUP, publicert sammen med en række andre separationsforsøk i indberetningen fra den elektrometallurgiske kommission.

Utgaaende fra malm som analyse nr. 1, viste resultaterne:

Sammensætning av raamalmen	Knusning til 1 mm.		Knusning til 1/10 mm.	
	Tons raa- malm pr. ton slig	Sligens sammen- sætning	Tons raa- malm pr. ton slig	Sligens sammen- sætning
49,52 % Fe 7,78 " TiO <sub>2</sub>	1,30	53,72 % Fe 8,02 " TiO <sub>2</sub>	1,52	57,2 % Fe 7,9 " TiO <sub>2</sub>

Det fremgaar herav med al ønskelig tydelighet, at titan-gehalten *ikke* lar sig bortseparere ved de teknisk anvendelige finknusningsgrader. Man opnaar kun en bortseparation av silikaterne, og som det sees i dette tilfælde ned til en resterende gehalt av ca. 7 % silikat.

Med en malm av ovennævnte sammensætning er derfor de fordele man opnaar ved en separation smaa i forhold til omkostningerne, og den vilde med den nævnte gehalt som gjennemsnit for malmfeltet, ikke ha været berettiget. Som nævnt kan imidlertid kun en del av malmen leveres med denne gehalt, mens betydelige malmmasser vil ha lavere gehalter og uten separation være værdiløse.

Jeg gaar derfor ut fra, at som tingene nu staar, kan man under ingen omstændighet tænke paa en utnyttelse av feltet, uten i forbindelse med et separationsanlæg, hvorved lavgrænsen for den brytværdige malm kunde nedsættes til 35 % Fe for dagbruddenes vedkommende, og til ca. 40 % Fe for grubedriften, forutsat at de øvrige betingelser var opfyldte.

Det maa nemlig erindres, at for dette felt vil salgsvarer under enhver omstændighet holde 5—8 %  $TiO_2$ , og ved alle de anvendelser for titanholdig malm, man for tiden har i sigte, det være sig elektrisk smelting eller jernsvamp-tilvirkning, forlanges der for økonomiens skyld et raamateriale med forholdsvis høi jerngehalt.

For at bestemme, hvilken finknusningsgrad maatte ansees nødvendig ved en eventuel separation, har jeg foretatt endel mikroskopiske maalinger av kornstørrelsen i den forholdsvis rike malm.

	Diameter i	
	1ste præparat	2det præparat
Magnetitaggregater, max. . . . .	0,8 mm.	0,7 mm.
Do. vanlig . . . . .	0,5 "	0,4—0,5 "
Isolerte magnetikorn, max. . . . .	0,5 "	0,5 "
Do. vanlig . . . . .	0,2 "	0,2 "
Yderst ubetydeligtgaard ned til . . . . .	0,05 "	0,05 "

Det fremgaar herav, at en separation overhovedet ingen berettigelse vil ha ved en mindre finknusningsgrad end 0,2 mm. Paa den anden side vil man ved at knuse ned til max. 0,1 mm. opnaa alt hvad der praktisk talt kan opnaas. Svovlgehalten vil kunne nedsættes betydeligt, og for de fattigere malmpartier, hvor endnu nævneværdigt fosfor forefindes, vil man ogsaa faa en rensning for dette.

Det salgsprodukt man vilde kunne paaregne efter en separation ved 0,1 mm. kornstørrelse, vilde holde:

Fe . . . . .	55—58 %
TiO <sub>2</sub> . . . . .	5—8 "
S . . . . .	max. 0,1 "
P . . . . .	max. 0,07 "
Silikater . . . . .	ca. 10 "

altsaa en vare, der for øieblikket har temmelig liten værdi paa grund av titangehalten.

Resumerer vi nu tilslut resultaterne, for at bedømme feltets eventuelle drivværdighed og værdi vil det indses, at feltet hører til de vanskelige, og dets værdi endnu maa siges at være adskillig tvilsom.

For at det skulde kunne ansees drivværdigt, maa der opfyldes iafald 3 betingelser:

1. *Kommercielt*: Der maa findes en saadan anvendelse for titanholdig malm, at titangehalten ikke (iafald ikke væsentlig) nedsætter malmens værdi.
2. *Geologisk*: Ved borer eller paa anden maate maa det konstateres, om den av mig antydede formodning om malmkoncentration over en større del av gabbro-feltets undre grænse virkelig holder stik, før malmkvantiteten kan ansees at berettige et anlæg.
3. *Teknisk*: Ved forsøk maa det konstateres, at separationen av malmen lar sig gjennemføre med samme resultater i stor stil, som ved laboratorieforsøkene.

Saa længe én av disse forudsætninger svigter, er der intet at gjøre med feltet.

---

## **English Summary.**

The present paper deals with a deposit of titaniferous iron ore in the province of *Sølør*, in Southeastern Norway, and its formation through differentiation processes.

The treatise may be naturally divided into two parts. The first deals with the general features, history of mining, economical and technical conditions etc., and is supposed to be mostly of local interest. In the second part is given a description of the geology of the field, and a more general discussion of the differentiation processes in basic eruptives, and at last tried to determine approximatively the „ternary gabbroidal eutectic“, as introduced by I. H. L. VOGR.

As this part is supposed to be of more general interest a more thorough account of it is given in this summary, while the matters of the first part are only lightly touched upon.

### **I. General Features.**

In this chapter the author mentions briefly the new advances towards utilizing the titaniferous iron ores through the methods of magnetic separation, electric smelting, and the production of „fuzzy iron“ by reducing the ore without smelting.

These processes have revived the interest taken in such deposits throughout Scandinavia, where there is a great num-

ber of them, partly mined in older times, but nearly up to the present time not in operation. After a general summary of the distribution of these deposits in Norway, it is stated that the present deposit naturally belongs to a zone of small bosses of basic eruptives, that from SV Sweden enters Norway, in a northwesterly direction.

## II. History of the field.

The Ramsøy deposit has been known for about 80 years, and been subject to two different periods of mining.

The first one shortly after the discovery, was mainly one of prospecting, the surface being broken in at least 25 different places, but not one of them to a depth of more than 40 feet.

The second period was one of real mining, but only for a short period of two years (1872—1873) for which time I have calculated the total output of ore at 12—13 000 t. It was, however, too heavily fusible for the high furnaces at that time, and the ore was refused.

On page 12 I have given a table of all the small mines in the district, the area of their opening, their probable depth and volume. Most of them are reported to have ore at the bottom.

## III. Geology of the field.

The geology and petrography of the present field are treated so detailed, because several features are different from the ordinary magnetic segregations of iron ore in gabbroidal rocks.

In the first place the mother rock is more acid and comes much nearer up to the composition of the diorites, than is usual in this sort of deposits.

In the second place, the ore here occurs near the contact against older rocks (see map), while the ordinary mode of occurrence of titaniferous iron ores in basic eruptives, is quite independent of the contact, as stated by I. H. L. VOGT.

In the third place the titanic acid (in the ilmenite) cannot be separated magnetically from the magnetite, even when crushed down to  $1/10$  m/m, although it is now proved in this country, that the mixture for the greater part is a mechanical one, and that the minerals as a rule can be easily separated.

The rocks in the district of Solor are altogether of Archæan age, consisting mainly of different kinds of granite and granite porphyries.

A small field of a basic eruptive, however, claims the main interest, being the mother rock for the ore. The field is only about an English mile long, and shows only small variations as to the distribution of the feric minerals, apart from the magnetite.

The minerals, observed in the rock, are:

Primary: Plagioclase, Amphibole, Biotite, Quartz, Magnetite, Apatite.

Secondary: Amphibole, Clorite, Serpentine, Epidote, Magnetite  
(in some parts also: Garnet, Limespar and Pyrite).

The minerals of the pyroxene and olivine groups, probably also orthoclase, are wanting.

The plagioclase is determined as an acid andesine ( $37\%$  An), only very faint zonar structure, in part slightly metamorphosed into epidote and white mica.

The amphibole is mainly primary, partly changed, however, into not less than 4 different types of secondary amphibole, and at last to clorite and serpentine.

The order of the beginning of crystallisation of the minerals in the rock, is the following (as seen in diagram, page 19):

- 1) *Plagioclase*,
- 2) *Apatite*,
- 3) *Magnetite*,
- 4) *Femic silicates*,
- 5) *Quarz*.

The plagioclase in large crystals without inclusions, partly ophitic structure. The quarz, and often also the magnetite, as typical mesostasis between the feldspar lists (Pl. I, fig. 1).

In some parts of the rock, containing a little more femic silicates and magnetite, we find the last mineral partly included in the feldspar, but mainly in the periferic parts, the amphibole also in this case crystallizing last. The composition is here nearer to the eutectic.

In order to get an idea of the chemical composition of the normal rock, I have made a microscopic calculation of the volume of the different minerals, and from this calculated the chemical composition. The results are given on page 20

From these different features it appears, that the rock does not fit completely in any of our groups of classification. The mineral composition, especially the acid plagioclase, is that of the diorites, the structure and order of crystallization resemble more nearly certain gabbroidal rocks, and the chemical composition is intermediate. I will call it here a *quarz-amphibole-gabbro*.

As to the iron ore, it is altogether, or for the larger part, concentrated *in situ*, and we find all transitions from the rock to the ore. The maximum concentration reaches about 85 % ore (magnetite + ilmenite).

The mineral composition of the ore, qualitative, is the same, as that of the rock, except that quarz is wanting.

The order of crystallization, however, is completely changed.

The magnetite, which here predominates, has crystallized first. The crystals are in part close together, and then limited by sharp crystallographic lines, distinguished by small traces of silicates between them. In part they lie isolated in the silicates, then showing distinct corrosion. (Pl. III, fig. 2.)

As the second mineral, the amphibole has crystallized as narrow rims around all the magnetite individuals, the whole rim being uniformly orientated and partly showing twinning. The phenomena resembles a little the „corrosion or reaction rims“, commonly seen in basic eruptives, but in the present case is undoubtedly primary and due to the crystallization. As the last mineral we here find the plagioclase as mesostasis in the interstices between the amphibole rims. (Pl. II.)

The apatite has nearly disappeared. The pyrite is pretty common.

It appears, that the order of crystallization is quite different from that in the rock and is:

- 1) *Magnetite*,
- 2) *Amphibole*,
- 3) *Plagioclase*.

To get an idea of the transition points, I have examined different stages in the concentration process, and found their composition through microscopic measurements.

The results are given page 24, showing the absolute quantities of the different minerals, and the relative quantity of the silicates. These tables give a good idea of the regularity of the differentiation. It is noteworthy, that the proportion of plagioclase to feric silicate changes very little from the basic gabbro to the richest ore.

As mentioned before, the eutectic composition must lie between those of the basic gabbro (nr. 2) and the rich ore (nr. 4) and was supposed to lie only little above the first one, according to the facts, known from former works on those eutectics (J. H. L. VOGT, I. c.).

Therefore the intermediate stage (nr. 3 in table) should be supposed to lie on the magnetite side of the eutectic and have magnetite first crystallized.

This is not the case, the plagioclase having crystallized first, but the rock shows a very curious structure.

The plagioclase forms large, partly rounded, half porphyritic crystals without inclusions. Between them is a crystalline mass, consisting of partly rounded magnetite crystals, completely inclosed in an amphibole mass, that separates them completely from the plagioclase. This on one side, and the amphibole-magnetite on the other, seem to form two sharp contrasts. These features, I can only explain, by supposing a displacement of material, after the beginning of crystallization (see below).

#### IV. The process of differentiation.

A look at the magnetometric map, shows the ore in a zone along the contact against the older granite, and several irregularities of this contact, followed uniformly by the ore, proves this to be a rule and not a mere accident. (Look at the steps in the southernmost part of the map and the narrow tongue in the middle.)

On the other hand the ore is not concentrated against the *plane of contact* (the cooling plane) in the same way as the magmatic nicceliferous pyrrhotite ores and the „mixed

dikes" with the concentration continuously decreasing away from the contact.

We find it within a *zone along the contact*, having a horizontal width of up to 300 feet, and in normal direction considerably less. The contact line itself is often free from ore.

Therefore the phenomena can *not* be considered a concentration in the melted magma against the cooling plane (Soret's principle) so much more as this would have demanded also a concentration of the phosphoric acid, and would have been a completely new feature for this sort of ore depositst, which are generally found quite independent of the contact.

Another feature is still more convincing.

BRØGGER has stated the rule, that there is always a paralellism between the order of crystallization and the order of differentiation.

J. H. L. VOGT in his treatise (cited page 28) has further proved, that the differentiation processes as a rule will act against the formation of nearly eutectic or nearly monomineralic components, among these of course, mainly of the first crystallized minerals.

In the present rock however the order of crystallization was:

1) *Plagioclase*, 2) *Apatite*, 3) *Magnetite*, 4) *Femic silicates*.

The plagioclase has crystallized first, but shows no concentrations (anorthosites are not found in the field).

The apatite is the second mineral, but also not concentrated.

The third mineral, on the contrary, the magnetite, is the only mineral in the rock, that shows a very marked and

very considerable concentration, apparently without any connection at all with the order of crystallization, and without any marked displacement in the relative proportion of the other minerals (table page 24).

It seems to me, therefore, that this must be due to some quality of the magnetite itself, and then we naturally first think of its specific gravity.

For this supposition the following facts speak:

- 1) The appearance of the enrichment in a zone along the lower border of the gabbro.
- 2) The special enrichment of magnetite, although it is not induced by the order of crystallization, — and the non-concentration of apatite.
- 3) The corrosion phenomena of a great many of the magnetite individuals in the ore, but not in the rock.
- 4) The abnormal order of crystallization in certain intermediate steps, apparently due to an enrichment of magnetite after the crystallization of the plagioclase.

Before entering nearer upon this problem, we will consider a little more generally some of those differentiation processes in basic rocks, which may proceed *in situ*, and therefore are the easiest to study; especially those of nickeliferous pyrrhotite and of titaniferous magnetite.

It must however be remembered, that the processes in ordinary magmas are very complicated, so that it will take a long time before they can be cleared up by the way of experiments. Even the smelting points of some of the single components are unknown. So the pyrite has not been melted at all without decomposition, the real melting point of the magnetite is unknown, that of some of the feric silicates not known with sufficient exactness. Of the 2-component-

systems, those of plagioclase-magnetite, magnetite-femic silicate and magnetite-ilmenite are still completely unknown, and before entering upon the 3-component systems of these minerals, a long time will elapse.

Therefore it is proper, as done by I. H. L. VOGT, from the observations in natural rocks to draw preliminary conclusions, concerning these complex relations, and that is what the present author has done in this paper.

The differentiation of pyrrhotite in basic eruptives, is determined by the two facts, that the sulphides are much more soluble in a silicate magma at high temperatures, than at low ones, and that the smelting point of pyrrhotite (1183°) is the lowest of those of the single mineral components in the magma.

On the cooling of such a sulphide-bearing magma, three cases are possible.

In the first case the limit of solubility is reached already before the crystallization of the first silicates. Then the surplus of sulphides will be separated out as another magma, and according to the same rules as those of a smelting furnace, will sink down and remain melted till the main magma for a greater part has crystallized, while the rest of the sulphides are still dissolved. Therefore the commonly observed feature, that in deposits with concentration of the sulphides mainly *in situ*, there is often found later eruptions of purer sulphide masses.

In the second case the limit of solubility is not reached till more or less of the silicates have already crystallized, and the sulphides will be gradually separated out (also in liquid condition) and accordingly have more or less difficulty in separating, according to the specific gravity.

The third case is, that the limit of solubility is not reached at all. If this be possible, it is in all cases by a very low content of sulphides.

By the concentration of titaniferous magnetite, the conditions are quite different. The magnetite has a higher smelting point than the silicates in the magma, and there is supposed to exist complete mutual solubility.

In the present case I have, as suggested before, tried to prove, that the differentiation is due to the *combined effect of the order of crystallization, and the gravity*, and I will go a little nearer into this problem.

The supposed composition of the original magma may have been as in table 32.

The plagioclase crystallizes first, nearly simultaneously through the whole magma, and it may be supposed, that not more than  $\frac{1}{5}$  of the whole magma was crystallized, when the eutectic line plagioclase—magnetite was reached. Henceforth the plagioclase and magnetite both crystallize, the first on the already existing individuals, the magnetite apparently in quite separate individuals, of which only a small part is enclosed in the plagioclase.

As mentioned before, the proportion of plagioclase to the feric silicates is about the same in all the stages of differentiation. It is therefore unnecessary to suppose any relative displacement during the first crystallization period of the feldspar.

It will also be noted, that the difference in specific gravity is insignificant, that of the feldspar being about 2,7, that of the liquid rest not over 3,3, (even when no lower specific gravity is supposed in the liquid than in the solid phase).

When now the magnetite crystallizes out, together with a considerable quantity of plagioclase, the rest is rapidly enriched in feric silicates, and accordingly the solution grows less viscose. At the same time the difference in specific gravity will increase very rapidly, that of the magnetite being about 5, that of the rest of the solution sinking below 3.3.

Under these conditions, and when only  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$  of the whole magma is solidified, we should be able to presume a relative displacement of the components according to gravity, i.e. a sinking of the magnetite, a condition, that according to the slow cooling, may be supposed to have existed for a long time.

The accumulation of magnetite lower down has not disturbed the equilibrium of crystallization, which proceeds along the plagioclase-magnetite eutecticum, no matter if one or the other is in excess in the solid phase.

As the concentration of the magnetite proceeded, the sp. gravity was very much raised in the lower part, and the already formed plagioclase individuals were forced to move upward from these concentration centers, leaving only the amount for the eutectic.

In the whole process, the apatite plays the same part as the plagioclase.

Meanwhile the crystallization in the main part of the gabbro proceeded completely undisturbed, producing a well-developed, half ophitic structure.

Certain zones must however be presumed to exist around the richest parts of the ore, where the relative displacement of magnetite and plagioclase has not been completed.

This is also what we find, and what I have described on page 62.

In the last phase of crystallization of the rich ore, we find as mentioned before the amphibole in regular rims around the magnetite individuals. This fact must be explained by a supersaturation of amphibole during crystallization along the plagioclase-magnetite eutectic line.

After this had ceased, there followed a short resorption of magnetite, soon interrupted by the rapid precipitation of amphibole.

In the intermediate zones, the same process has taken place, only here the remaining plagioclase crystals as well as the magnetite are subject to the resorption. Afterwards amphibole and magnetite have partly crystallized with eutectic structure (Pl I, fig. 2), that seems only to be formed by the rapid crystallization after the supersaturation.

As to the absence of rich ore along the contact plane itself, it is easily explained by the fact, that in evry magma the cooling must be a little in advance at the contact. Therefore the sinking of the magnetite individuals has been stopped before reaching the real bottom.

As seen, we have with this theory got an explanation of all the facts observed.

We may also draw the general conclusion, that gravity is a factor, which must also be taken into consideration, especially in the case of the differentiation af ores, as has been very much emphasized especially by professor DALY (Harvard).

In the very much drift-covered district, a future development of the deposit may contribute to prove the correctness of this theory.

### V. The „ternary gabbroidal eutectic“.

When J. H. L. VOGT in his paper, before cited, introduced this term, which should cover the general crystallization processes in gabbroidal magmas, he was obliged to combine all the numerous components in such a magma, into three main groups of components: 1) Plagioclases, 2) Femic silicates (such components as olivine, enstatite and anthophyllite with a considerably higher smelting point excepted) and 3) Magnetite-ilmenite.

As far as yet known, these groups include not only the minerals, chemically nearly related, but also those with smelting points of the same order of highness, although of course they differ considerably, also within the groups. Accordingly this method can only be expected to give approximate results. In this way VOGT used the observations and analyses from a labradorite-norite from Lofoten in Northern Norway to determine a point on the plagioclase-magnetite eutectic line, with a certain amount of femic silicates present. There is an error in the drawing of the diagram in his paper, but the correct point may easily be found from the figures given (se diagram fig. 1, points 5 and 6).

The best method for a nearer determination of the ternary gabbroidal eutectic, would be to examine a great number of this sort of rocks, with various composition and a distinguishable order of crystallization.

When I have tried here to locate this point (or area, according to the differing components) a little nearer, without such a large amount of material, it is because the present field has afforded a number of types, elsewhere seldom found, viz: relatively large amounts of magnetite and acid plagio-

clase together, and accordingly belonging to an important part of the diagram. The results are given in the diagram fig. 1, the points 1—4 being the types described from the present field, the points 7—9 titaniferous magnetite-bearing rocks and ores from other Norwegian fields.

A small ring indicates first crystallization of plagioclase, a dot that of magnetite, a cross that of feric silicates.

In this summary a more detailed description of the different points cannot be given.

According to the many causes of errors, the diagram is only intended to give an idea of the position of the eutectic point, lying within the area indicated and with 30 to 45 % plagioclase, 35 to 55 % feric silicates, and 10 to 20 % magnetite.

The most interesting point in the diagram is, I suppose, the position of the eutectic line plagioclase-magnetite.

While VOGT places this eutectic nearer to the magnetite, the lower the percentage of feric silicates is, I believe, that in this respect, it must be the opposite. According to this, the eutectic between those minerals, when feric silicates are not present at all, should be very near to the plagioclase. This should then be expected to be still more the case with the acid plagioclases and the orthoclase, both having a lower smelting point. In this way, we might possibly find the explanation of the fact, that in all the rocks very rich in alkali feldspar, as granite, syenite etc., we almost invariably find the magnetite (non-titaniferous) crystallized before the silicates, even when present in very small amounts. This however is not so generally the case in rocks rich in feric silicates and basic plagioclases.

Also certain observations from fields of anorthosites point in the same direction.

It is very often observed, that when iron ore differentiations are found in gabbros, norites, hyperites etc., so in all rocks rich in feric silicates, we often find all the transitions from rock to rich ore.

So we find the differentiations from gabbro towards pure titaniferous magnetite, from gabbro towards pure feric silicates, and often also the intermediate stages between magnetite and feric silicates.

The different types of ore are called by VOGT titanomagnetite-dialaggites, — enstatitites, — olivinites etc.

The anorthosite rocks on the other hand show other features. They are as often as the gabbros found as mother rocks for titaniferous magnetite, but the process goes on otherwise.

Either we find bodies of nearly pure ore as sharp-cut after-eruptions in the pure anorthosite, or we find transitions from the anorthosite to the ore, but in the latter case invariably with a concentration of the feric silicates at the same time.

Pure titanomagnetite-plagioclases are unknown.

According to VOGR's rule, a differentiation should now proceed towards the formation of either nearly monomineralic or nearly eutectic products.

According to my diagram the eutectic of pure magnetite-plagioclase should be very little marked, and with only a slight depression of the smelting point, even the eutectic mixture carrying very little magnetite. The differentiation in this part of the diagram therefore, should give only practically monomineralic products.

As the amount of feric silicates increases, the eutectic plagioclase-magnetite should be constantly more well-marked, with a greater depression of the smelting point, the quantity of eutectic mixture also increasing, and we get a more prominent formation of nearly eutectic products. Within this group therefore, we find the transitions between anorthosite and iron ore, and the observations agree with the theory.

## VI. Distribution and magnetization of the ore.

In the drift-covered area only small parts of the rock are visible, and in the old mines now filled with water, there is but little to be seen. Therefore the magnetometric map has been the main source for a general knowledge of the ore field.

After a general discussion of the importance of such maps for a great many of the iron-ore fields, and of the limits for their use, the author proceeds to discuss the conclusions, to be drawn from the present map.

It is first seen, that the deposit in the details is quite irregular, with many primary and secondary magnetic poles, making it impossible from the map alone to get approximate measures of the width and depth of the ore.

On the other hand it gives a fine general view of the deposit, shows the distinct relation to the contact, and how the ore, viewed as a whole, forms a great semi-circle around the granite field.

Looking closer however, it may be easily seen, that this semi-circle, is really composed of a series of nearly parallel zones of ore in the direction N—S (3 of them very marked), separated by narrow tongues of granite extending

into the gabbro field, which are continued inward by neutral or negative magnetic zones.

The isoclinal curves indicate the direction of the dip of the ore.

From these facts I conclude, that the contact granite-gabbro does not continue vertically, or nearly vertically, downwards.

The gabbro seems to be injected like a plough furrow in the granite, the furrows dipping slightly towards the north. Erosion has later exposed the upper parts of the ridges of granite, which also continue downwards underneath the gabbro.

From this I have constructed the supposed profiles (fig. 2), referring to the profile lines on the map.

The conclusions of the theoretical considerations in the foregoing chapters, are easily seen to be of great practical importance. If the supposition of the importance of gravity for the differentiation processes of the ore be correct, ore concentrations might be expected over a greater part of the lower contact of the gabbro. The neutral fields over the granite ridges might be explained by the natural accumulation of the magnetite in the deeper parts of this contact.

The ore field is divided naturally in the eastern, middle and western zones.

The middle zone, according to this, should not be expected to proceed very deep.

The western and eastern zones of ore, dip respectively towards the west and east. A main question is now, whether the gradual decrease of the magnetic field in these zones away from the granite, is really due to a disappearance of the ore downwards, or to the greater depth in these

parts of the field. I suppose the last case to be true, but only future borings can really determine it. This is the essential question for every calculation of the quantities of ore present.

[On the map, blue is the positive, orange the negative magnetic field. The neutral line is black. The crossed line is the contact line granite-gabbro. The hatched fields are mines.]

## VII. The chemical composition and the possibilities for a separation of the ore.

As mentioned before, there are in this field all intermediate stages between rich ore and rock. Neither an average analysis for the whole field, nor the quantity of ore can therefore be fixed, before the lower limit for the iron content, that can still be successfully mined, has been fixed.

On page 52 is given average analyses of the richer parts of the ore. Only small quantities can be supposed to have a higher average than this, and on the other hand a great deal of ore is available with a lower one.

The composition, as regards the other components, is that, common to this type of ore deposits. The mineral composition of the same ore is given page 53, showing the proportion magnetite-ilmenite to be as 4 : 1.

As to the separation possibilities, some experiments were made some time ago at the metallurgical laboratory of Kristiania by dr. P. FARUP.

The results are given in the table, page 53, the first column giving the composition of the raw ore, the third and fifth that of the concentrates, the ore being crushed respectively to 1 mm. and  $\frac{1}{10}$  mm. It is seen, that the content of titanic acid cannot be reduced in this case.

Notwithstanding this fact, I suppose that a utilizing of the ore deposit could only be practicable with a concentration plant, on account of the great quantities of poorer ores.

To find the necessary degree of crushing for such a separation, I have measured the dimensions of the single mineral individuals of the ore, as shown in table page 55.

The result is, that the least degree of crushing in order to obtain a concentration (removing the silicates) is about 0,2 mm.

The average composition of the final concentration products (crushed to  $\frac{1}{10}$  mm.) may be supposed to be as stated page 55.

The conditions for utilizing the deposit are therefore:

1. A technically satisfactory method for treatment of titaniferous iron ores.
  2. A concentration of ore over a greater part of the lower contact of the gabbro field.
  3. A technical separation giving results, not inferior to those obtained by the laboratory experiments.
- 
-

## Til plancherne.

- Pl. I, fig 1. *Kvarts-hornblende-gabbro.*  
Magnetit og kvarts (kv.) som „zwischenklemmungsmasse“  
mellem feldspatlisterne.  
— nic,  $\times 36$ .
- „ fig. 2. *Eutektisk sammenvoksning magnetit-hornblende*, fremkom-  
met ved rask krystallisation efter underkjøling.  
+ nie,  $\times 70$ .
- Pl. II. *Malm med 86 % magnetit — ilmenit.*  
Hornblenden som ens orienterede ringe omkring magnetit-  
individerne, plagioklasen sidst utkrystallisert i mellemrummene.  
+ nic,  $\times 36$ .
- Pl. III, fig. 1. *Malmkoncentration med 51 % magnetit.*  
I midten et noget rundet plagioklasindivid, omgit av senere  
utkrystallisert hornblende-magnetit. I periferien andre plagioklaser.  
— nic,  $\times 14$ .
- „ fig. 2. *Forholdvis rik malm*  
Magnetitindividerne dels tæt sammenhobet, krystalbegrenset,  
dels isolert i silikaterne og korroderet.  
+ nic,  $\times 16$ .



Fig. 1.

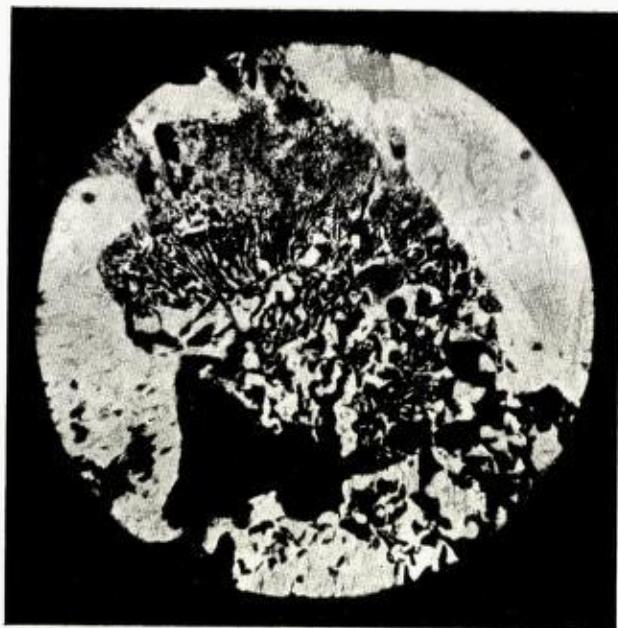


Fig. 2.



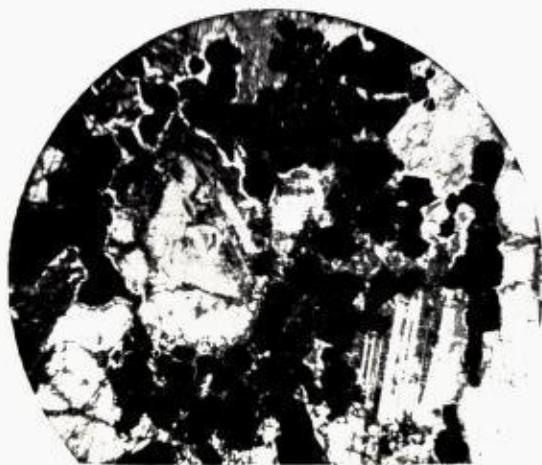


Fig. 1.

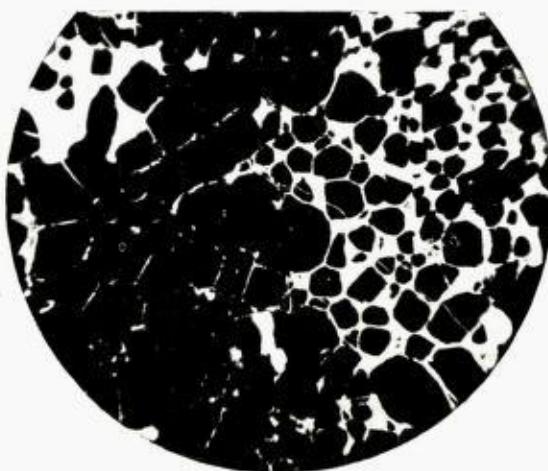


Fig. 2.

