

Nu befinder man sig på Tangen, hvor de pæneste blotninger af Jeløya Formationen findes. Nede på kysten kommer man ud på en større blotning, der strækker sig mod højre (nord). Denne blotning består af udeformeret sandsten fra Holmestrand Formationen. Man vil kunne finde de samme strukturer, som man så ved Nes Camping. Læg mærke til, at der også ses lagplaner med flotte bølgeripper. Hvis man går til venstre (syd) over et stykke strand dækket af kvartære aflejringer, kommer man til en af hovedblotningerne for Jeløya Formationen.

Det første man møder, er udeformede sandsten overlejret af en lille sill (vandret vulkansk gang). Længere mod syd kan man se, at denne sill danner undergrænsen til en kaotisk udseende sandsten, som består af mindre og større sandstensblokke omgivet af en massivt udseende grundmasse af finsand. Dette er den typiske udformning af Jeløya Formationen.

Langs Tangens øvrige kyster kan man se det samme billede foruden steder, hvor det dominerende sediment består af store blokke, der er tippet op i stejle hældninger. Man kan gå turen langs vestkysten, men skal så vidt muligt holde sig fra østkysten på grund af stedets beboere. Langs vestkysten er man med jævne mellemrum nødt til at finde de stier, der går lidt oppe i land, da kysten bliver for stejl for sikker passage.

## God tur

Hans Peter Birk Hansen



VARV BRINGER EN ARTIKEL OM DEN TIDLIGSTE UDFORSKNING AF ALPERNE. VI TEGNER ET PORTRÆT AF DEN FØRSTE ALPEGEOLOG H.B. DE SAUSSURE

MOLER ER EN DIATOME-AFLEJRING, MEN DER FINDES OGSÅ DIATOMEER I ANDRE AFLEJRINGER I MOLER-OMRÅDET. DETTE FREMGÅR AF EN ARTIKEL OM DIATOMITERNE I SILSTRUP SYDKLINT.

ENDELIG BRINGES DEN FØRSTE AF TO ARTIKLER FOR JERN-TITAN-OXID 'FREAKS', SAMT EN ARTIKEL OM SINHALIT, ET U-SÆDVANLIGT OG MEGET SJÆLDENT MINERAL

Forsidebillede: Silstrup sydklint. Foto: C.Heilmann-Clausen.

Forfattere til artikler i dette nummer kan kontaktes på følgende adresser:

Claus Heilmann-Clausen, Geologisk Institut, Århus Universitet,  
8000 Århus C

Ole Graversen, Asger Berthelsen og Aage Jensen, Geologisk Institut, Øster  
Voldgade 10, 1350 København K

Hans Peter Birk Hansen: Borgbjegvej 50<sup>th</sup>, 2450 København SV

#### -----VARV-----

VARV er udgivet med støtte fra Kulturministeriets bevilling til  
almenkulturelle tidsskrifter.

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Institut,  
Øster Voldgade 10, 1350 København K

Telefon: 35 32 24 00, Geologisk Institut, København

Redaktion: Asger Berthelsen, Bjørn Hageskov, Jens Konnerup-  
Madsen, Lena Madsen og Svend Pedersen (ansvarshavende).

Abbonentkontakt: Steen Mølgaard

Lay-out: Bjørn Hageskov og Svend Pedersen

Repro: Tage Wilken a/s, København

Tryk: Levison+Johnsen+Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 100 kr i abonnement for 1995.  
Abonnement kan tegnes ved at indsende beløbet til

VARV, postgiro 9 06 88 80

eller 100 SEK til VARV's svenske postgirokonto: 4388-5, eller 100 NOK til  
VARV's norske postgiro: 0806 1923234.

Girokort er indsat i dette nummer. Husk at skrive navn, adresse og ger-  
ne ab.nr. på kortet. Abonnenter i Norge og Sverige vil modtage separat  
girokort. Adresseændringer bedes meddelt VARV!

© 1994 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kan kun ske efter aftale.

**VARV ØNSKER  
GLÆDELIG JUL OG GODT NYTÅR**

hovedlokaliteterne for Jeløya Formationen findes. Efter lidt kørsel på landet  
vil vejen igen dele sig. Denne gang skal man følge vejen mod venstre.

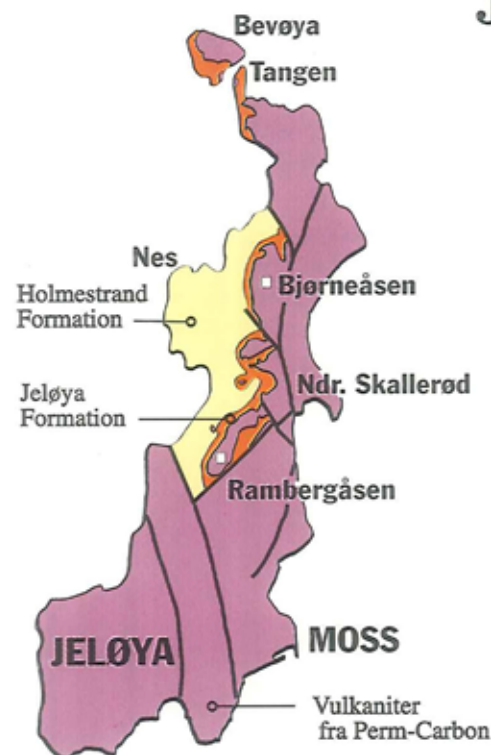
Første stop er ved campingpladsen 'Nes Camping'. Her kan man køre bag om  
campingpladsen, hvor man finder indtil flere parkeringspladser.

Ved kysten kan man se den udeformerede Ringerike sandsten, der her  
tilhører Holmestrand Formationen (Silur). Her er der fundet rester af  
Cephalaspider, en art panserfisk. Mest hyppigt er det at finde skæl, men der  
er blevet fundet nogle få kranier. Desuden ses der rester af små stenbrud,  
hvor man har brudt den fint bænke sandsten. Efter at have set på sand-  
stenen, kan man begynde at udskille de to grupper af aflejringer. De vandret  
lagdelte, finkornede bænke repræsenterer strandaflejringerne og de forskel-  
lige kanalaflsætninger og nogle af skråløjningerne repræsenterer den strøm-  
afsatte gruppe. Langs bunden af en del af kanalaflsætningerne kan man se  
mudderklaster, hvilket vidner om, at man her har haft erosion fulgt af  
fornytt aflejring.

Herefter kan man gå en tur op på Bjørnåsen, der rejser sig lige bag cam-  
pingpladsen. Der går flere stier gennem skoven op til åsen. På Bjørnåsen vil  
man kunne se en stejlvæg, der i den nederste del består af Holmestrand For-  
mationen. Længere oppe bliver sedimentet kaotisk, ofte med en rød farve og  
med blokke og partier af sandsten, der er orienteret nærmest tilfældigt. De-  
te er Jeløya Formationen. Øverst afsluttes stejlvæggen med lavabænke. Hvis  
man kan finde op til åsens højeste punkt, bliver man belønnet med en pragt-  
fuld udsigt over den centrale del af Oslofjorden. Længst mod vest kan man  
se lavaplateauet i Vestfold, omkring Holmestrand. Mod nordvest rejser  
Drammensgranitten sig stejlt på Hurumlandet. I selve fjorden kan man i det  
fjerne se Langøya, der består af silure kalksten. På denne ø brydes kalken  
intensivt, hvilket betyder, at øen efterhånden er gravet helt væk. Lige foran  
Jeløya ligger den lille ø Bile, som består af sandsten fra Holmestrand For-  
mationen.

Hvis man stadig har blod på tanden, kan man køre videre mod nord ad ve-  
jen forbi campingpladsen. Denne vej bliver hurtigt til en grusvej med store  
huller, så forsigtig kørsel tilrådes. Vejen skal hele tiden følges mod venstre.  
Til sidst vil man blive stoppet af en gitterlåge. Her er man nødt til at parkere  
bilen og fortsætte til fods. Området er privat, så man skal respektere områ-  
det omkring ejernes huse. Man fortsætter ned ad grusvejen efter gitterlågen.  
Efter ca. 300 m går der en markvej op til venstre som man skal følge op i en  
lille skov. Efter et par hundrede meter vider vejen sig ud til en lille lysning,  
hvor man finder en sti, der går ned mod kysten til venstre. Man skal ikke  
fortsætte frem, da man så kommer ned til et af husene.

## JELØYA



Hvis læseren skulle lægge vejen om ad Jeløya, kunne det jo være, at man havde lyst til at se nogle af de strukturer i Jeløya Formationen, som jeg har skrevet om i VARV nr. 3 1994..

For at komme til Jeløya skal man ind gennem byen Moss. Her skal man følge skiltene mod "Jeløya", hvilket fører én over sundet mellem Østfold og Jeløya. Her vil man passere den forkastning, der adskiller de paleozoiske bjergarter på Jeløya fra Østfolds prækambriske bjergarter.

På Jeløya fortsætter man lige ud ca. 500 m, indtil man i et lysreguleret kryds skal dreje fra mod højre efter et skilt, hvorpå der står 'Nes'. Denne vej skal nu følges mod højre indtil man er et godt stykke uden for byen (flere kilometer). Man er nu på vej til den nordlige del af Jeløya, hvor

17. februar 1740 - 22. januar 1799

## DEN FØRSTE ALPEGEOLOG

Asger Berthelsen

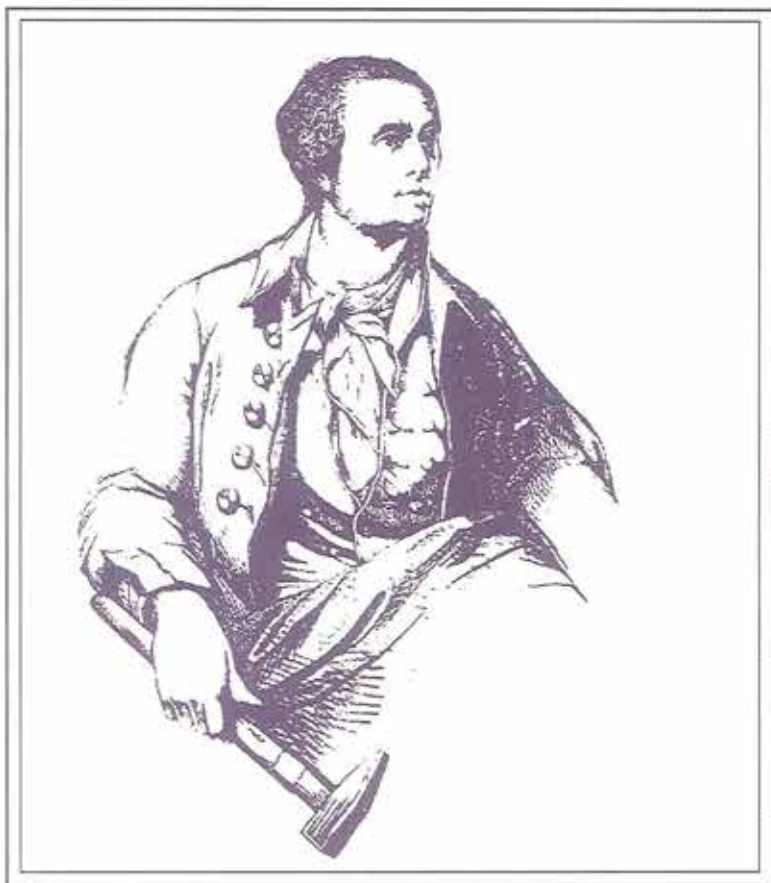
Hvorfor begynder mange forskere, når de blive ældre, at interessere sig for deres fags videnskabshistorie? Jeg tror det skyldes, at man lidt efter lidt tvinges til at erkende, at ens egen indsats kun repræsenterer 'et brette nøk' i fagets udvikling. Det øger ens respekt og interesse for de gamle pionerer. Man erkender mere og mere klart, at vi alle står på skuldrene af vore forgængere, og når man skuer tilbage, bliver man både forundret og imponeret.

Her skal med det skrevne ord tegnes et portræt af en af geologiens store pionerer, Alpegeologen Horace Benedict De Saussure, som levede i slutningen af 1700-tallet, fig.1. Han var en statelig herre; det kan tydeligt ses på det oliemaleri, som den unge Jens Juel under et ophold i Geneve (1777-1779), malte af den fem år ældre Monsieur De Saussure. Jens Juel portrætterede i øvrigt også De Saussure's onkel og lærer, naturforskeren og filosofen Charles Bonnet (1720-93), der bl.a. påviste, at bladlus formerer sig kønsløst.

Guldaldermesteren Jens Juels portræt afbilder H.B. De Saussure i felten - med alpe stok, geologhammer og vandrehat. Men at maleriet blev malt indendørs, ses tydeligt af De Saussure's klædedragt; den er pyntet og stilig - som stod han ved kateteret midt i en forelæsning. Måske helt utilsigtet, afslører portrættet herved to meget karakteristiske sider af personen De Saussure: den ivrigt søgende og observerende feltgeolog - og den forsigtigt eftertænksomme professor.

H.B. De Saussure blev en af oplysningstidens store pionerer. Han var en blændende begavelse. Som kun 20-årig udnævntes han til professor i matematik, og to år senere til professor i filosofi ved Akademiet i Geneve. I det sidstnævnte embede forelæste han skiftevis over naturvidenskabelige og filosofiske emner, og ind imellem drog han på lange ekskursioner for at udforske egnene omkring Mont Blanc. I 1786 forlod han sit professorat for helt at kunne hellige sig studiet af Alperne, dybt optaget af spørgsmålene: 'Hvordan dannedes disse bjerge, hvor gamle er de.....hvilke kræfter har formået at løfte disse klipper op i en sådan højde..?'.

De Saussure levede i en opbrudstid, der tåler sammenligning med vor, både hvad omfanget af de videnskabelige landvindinger og hurtige ændringer i samfundsforholdene angår. Det foregående århundredes religiøse og metafysiske naturopfattelser blev i 1700-tallet afløst af rationalistiske, hvor fornuft og logik sættes i højsædet. Lærde selskaber, akademier, blev stiftet i næsten alle europæiske lande; herhjemme blev Videnskabernes Selskab stiftet i 1742. I 1700-tallet voksede også nye liberalistiske teorier frem, og romantikkens første frihedsidealer og tanker om social lighed blev formuleret.

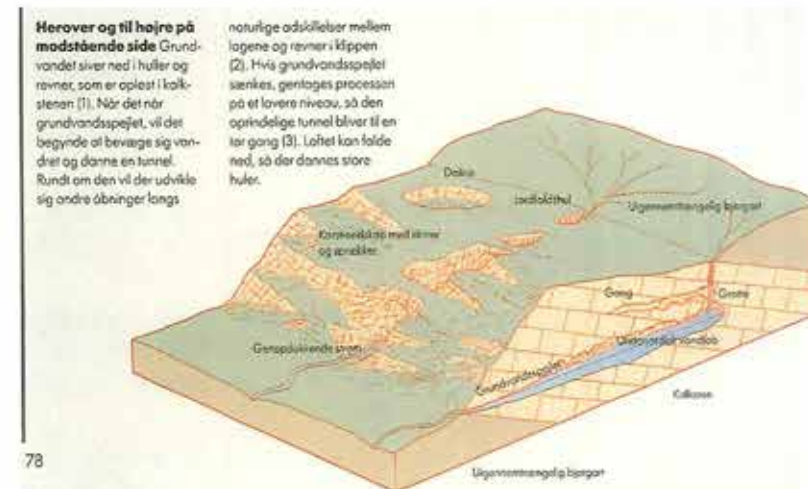


**Horace Benedict De Saussure**  
 efter skitse i Universitetsbiblioteket i Geneve.

vidende amatør uden en egentlig faglig skoling. (eller er det en journalist, der har 'peppet teksten op'?). Dette forhold bliver næppe bedre ved en oversættelse, som blot har haft støtte af en faglig konsulent (der dog burde have luget flere faglige fejl ud). En dansk oversættelse og bearbejdning af teksten udført af en velskrivende dansk geolog kunne have gjort bogen væsentlig bedre. Dette ville også kunne gøres inden for den økonomiske binding til lay-out og trykning af farveillustrationer. Der ville samtidig være en nem adgang til det øvrige skandinaviske marked med en tilretning til norsk og svensk.

På trods af tekstens udformning og mange faglige indvendinger, der ikke er omtalt her, vil jeg gerne anbefale bogen til geologisk nysgerrige. Den burde være en god opmuntring og inspiration til at fordybe sig videre i geologien. Det er bogens overskuelige opbygning, det omfattende illustrationsmateriale i farver og den indbydende lay-out, der umiddelbart fanger.

Ole Graversen.



Figur fra bogen.

## ANMELDELSE

**Dougal Dixon: Feltgeologi.** Oversættelse: Villy Broe, faglig konsulent: Henrik Forsberg. Høst & Søn's Forlag 1993. 159 sider. Kr. 298,-.

En dansk bog om feltgeologi vil altid vække opmærksomhed hos den geologisk interesserede. Den foreliggende bog fremtræder som en indbydende behandling af emnet. Bogen er indbundet og trykt på mat papir, der er læsevenligt og yder det omfattende illustrationsmateriale i farver god fyldest.

Bogen præsenteres som en introduktion til geologi for alle, der interesserer sig for naturen. Der er således ikke kun tale om en vejledning i feltgeologi. Bogen er bygget op som en basal geologisk lærebog med følgende kapitler: Hvad er en feltgeolog?, jordens historie, jordens bestanddele, bevægelserne i jordkloden, jordens historie, erosion og geomorfologi, feltarbejds teknik, kortlægning, geologiske områder, den geologiske tidsskala samt ordliste og register. Der er en god balance mellem emnerne.

En systematisk gennemgang af bjergarter og strukturer som baggrund for landskabets udformning er et bærende element i bogens opbygning. Der er gjort omfattende brug af instruktive blokdiagrammer, der giver en god illustration af de behandlede emner. Kortlægning og geologiske kort indtager også en central position. Den begrænsede plads til behandlingen af hver emnekreds har resulteret i en omfattende brug af 2-siders opslag. De enkelte opslag om f.eks. en bjergartstype eller en landskabsform giver en samlet beskrivelse af emnet. Opslagene kan læses hver for sig, og dette er med til at gøre bogen brugervenlig.

Forslag til praktiske øvelser forekommer i stort omfang. Øvelserne omfatter bl.a. dyrkning af kobbersulfatkrystaller og fremstilling af forsteninger(!), anvisning af forskellige typer feltundersøgelser og øvelser omkring plade-tektonik og geologiske kort. Nogle kan være inspirerende, andre har formodentlig en sværhedsgrad, der er for høj til selvstudium (fx. geologiske kort). Selv om amatører normalt ikke har adgang til et petrografisk mikroskop og tyndslib af bjergarter, sætter jeg alligevel pris på at de mange tyndslibsillustrationer i farver.

Den indbydende udformning og opbygning af bogen, som er beskrevet ovenfor, står imidlertid i skærende kontrast til bogens tekst. Behandlingen af de enkelte emner giver selvfølgelig en indføring i området. Teksten er imidlertid alt for ofte floskelpræget og ufaglig. Den samlede tekst og også opdeling af flere emnekredse giver indtryk af, at bogen er skrevet af en

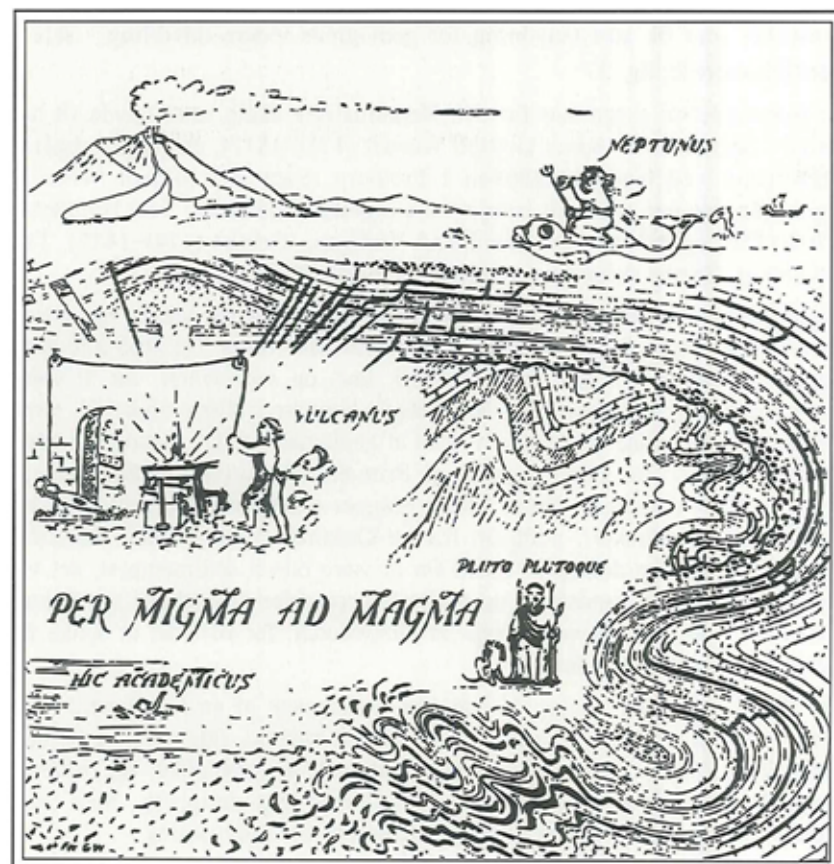


Fig. 2. Efterklange fra striden mellem Neptunister, Vulkanister og Plutonister mærkedes længe - som anskueliggjort her i G.Wilsons lettere ironiske tegning fra H.H. Read's bog om 'Granitter og Granitter' fra 1944. De gamle guder Neptunus, Vulkanus og Pluto kæmper fortsat bravt om at styre de geologiske processer, mens geologerne ivrigt diskuterer, hvorvidt granitter er opstået ved 'granitisering', eller er magmatiske produkter. Betegnelsen Migma (granitisk juice) indførtes af den finske geolog J.J. Sederholm tidligt i dette århundrede.

Inden for geologien, der var på vej til at blive en naturvidenskabelig disciplin, var den bibeltro Syndflodsteori blevet afløst af Neptunistiske opfattelser; de kom til at præge De Saussures faglige opvækst. Mod århundredets

slutning opstod dog nye rivaliserende skoler, den Vulkanistiske og den Plutonistiske, som fik stor betydning for geologiens videre udvikling - selv i dette århundrede, fig. 2.

En fremtrædende eksponent for den Neptunistiske skole, som havde sit arnested i Sachsen, var Adam Gottlob Werner (1750-1817), en meget inspirerende lærer ved bjergværksskolen i Freiburg (Sachsen). Blandt Werners elever kan nævnes den vidt berejste naturforsker Alexander von Humboldt (1769-1859) og dertil forfatteren Johan Wolfgang Goethe (1749-1832). Tro det eller ej, Goethe skrev flere vægtige geologiske afhandlinger.

Neptunisterne hævdede, at Jordkloden alene modtager sin varme fra solen, og at temperaturen derfor aftager ind mod Jordens midte. De anså alle geologiske dannelser, fra granit til basaltisk lava og sediment, for at være blevet udfældet på bunden af et 'Ur-Ocean', hvis 'krystallisationskraft', temperatur og udbredelse var aftaget i løbet af geologisk tid. De geologiske dannelser inddeltes i tre aldersgrupper: de Primære (primitive), de Sekundære, og de Tertiære dannelser. De to ældste grupper opfattedes som rent kemiske krystallisationsprodukter, udfældet fra 'Ur-Oceanets' fluidum eller 'kemiske suppe'. De Tertiære dannelser ansås for at være blevet sedimenteret, det vil sige opstået ved, at sandkorn og andre løse partikler af floderne var blevet skyllet ud i det, der da var tilbage af Ur-Oceanet, for til sidst at synke til bunds der, som et sediment.

Der skulle gå næsten endnu 100 år, før eksistensen af en Kvartærtid med store nedisninger blev erkendt. De Saussure iagttog (gletscher-)polerede klippeflader, store (erratiske) fjerntransporterede klippeblokke, og indførte betegnelserne moræne og 'roches moutonnees' (rundklipper), men han tilskrev alle disse fænomener kraftige vandstrømmes indvirkning.

Mens de retro Neptunister som 'forklaring' på de vulkanske fænomener stædigt blev ved med at hævde, at det var varmen fra brændende kullag, der havde smeltet sidestenen og derved dannet den vulkanske lava, fremholdt Vulkanisterne, at det var opstigende smeltmasser fra Jordens varme og glødende indre, der forårsagede udbruddene. H.B. De Saussure indså under sin Italiensrejse (1773), hvor han besteg både Vesuv og Etna, at den Vulkanistiske tolkning måtte være det rigtige. På denne rejse begyndte De Saussure også at tvivle på, om Sekundærtidens kalkstenslag virkelig var udfældet kemisk.

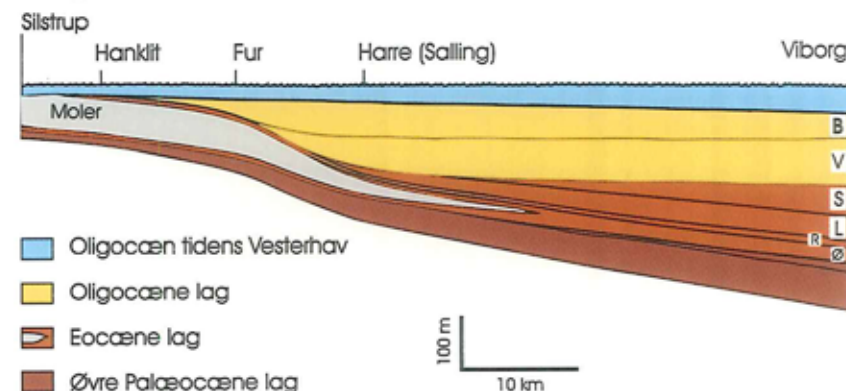
De Neptunistiske anskuelser byggede især på iagttagelser over de geologiske forhold i Thüringen, hvor både de Primære, Sekundære og Tertiære lag optræder med næsten vandret lagstilling. Da De Saussure som 19-årig begynd-

Kun nu og da finder man enkelte dårligt bevarede skaller i disse lag. I stedet for at stille spørgsmålet, hvorfor der i Oligocæntiden blev aflejret diatomeskaller ved Silstrup skal vi nok snarere spørge, hvorfor de er blevet bevaret her, når de er blevet opløst alle andre steder.

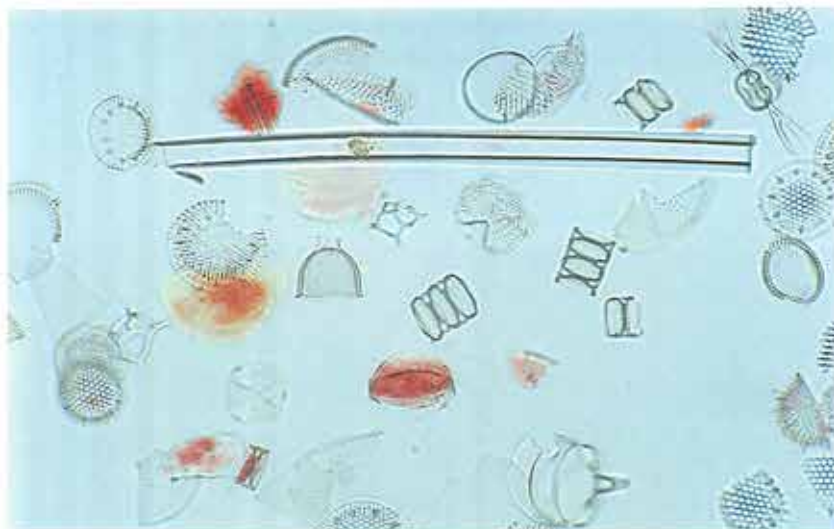
Svaret på det sidste spørgsmål er, at der må have eksisteret et specielt kemisk miljø i bundvandet på dette sted, altså over moleret, et miljø, som var gunstigt for bevaring af diatomeer og andre kiseliskeleter. Det er meget tænkeligt, at der var en svag, opadgående strøm af porevand gennem havbunden ved Silstrup. Dette vand stammede fra den tykke og porøse molderdiatomit. Måske har det været rigt på opløst kisel. Herved ville de kiseliskaller, som aflejredes på havbunden, blive omgivet af kiselholdigt porevand, som beskyttede dem mod opløsning.

Kisel opløses ret let i et basisk miljø, men derimod ikke i et surt miljø. Det er muligt, at opstigende porevand har været surt. Det ville så ikke indeholde opløst kisel, men alligevel kunne beskytte diatomeerne mod opløsning ved at skabe et surt miljø omkring dem.

Efter at den unikke diatomit fra Oligocæn var vokset i tykkelse til 20 cm har den formodentlig spærret for den videre porevandsbevægelse nedefra. Fra da af blev kiseliskeleterne opløst - også ved Silstrup. Kun de mere robuste svampenåle forekommer fortsat i det overliggende lerlag (fig. 3).



Figur 8. Situationen mod slutningen af Oligocæntiden, lige før den oligocæne diatomit blev aflejret, set i et tværsnit fra Silstrup til Viborg. Vesterhavet strakte sig ind over det nuværende Jylland og dækkede det viste område. Moleret var blotlagt på havbunden ved Silstrup, mens det andre steder var dækket af lerlag. B = Branden Ler, V = Viborg Formationen, S = Søvind Mergel, L = Lillebælt Ler, R = Røsnæs Ler og Ø = Ølst Formationen.



Figur 6. Stigtet materiale fra den oligocæne diatomit. Man ser diatomeer, et par kiselflagellater og en nål fra en kiselsvamp. Sidstnævnte er 0,3 mm lang.



Figur 7. Gravegange i toppen af moleret. Gangene er udfyldt af mørkt oligocænt ler.

te at undersøge Geneves omegn og Mont Blanc-området, fandt han imidlertid ganske andre forhold. Lagene stod her lodret eller hældede mere eller mindre, og de kunne indgå i meget komplicerede strukturer (folder).

At forklare dette voldte De Saussure stort hovedbrud. Han følte sig i begyndelsen tvunget til at antage, at forholdene var fremkommet ved, at lagene under deres 'krystallisation' var vokset direkte ud fra en enten fladtliggende, stejl, lodret eller overhængende havbund, og derved havde erhvervet deres meget uregelmæssige form. De Saussure sammenlignede disse fænomener med de koncentriske bånd i mineralaggretatet agat (fig. 3), og de travertinudfældninger, han havde iagttaget i drypstenshuler i Geneves omegn.



Fig. 3. Poleret agat med mange koncentriske lag dannet ved successiv krystallisation. Fra de Saussures mineralsamling i Naturhistorisk Museum i Geneve. Prøv at holde hånden over den nederste trediedel - og 'lagserien' danner en 'fold'!

De Saussure kendte ikke det klassiske værk, som danskeren Niels Steensen (Nicolaus Steno) ca. 100 år tidligere havde udgivet om bl.a. Toscana-området geologi. Her beskriver Steno i 1669, hvorledes oprindelig vandret aflejrede sedimentlag kan komme til at indtage afvigende lagstillinger, når de udsættes for senere (tektoniske) forstyrrelser. Havde De Saussure læst dette værk, havde han ikke behovet at gå en så lang Neptunistisk omvej i sin tolkning af lagforstyrrelserne i Alperne.

Den Plutonistiske skole blev grundlagt af den skotske geolog James Hutton (1726-1797). Hutton realiserede, at Jordens indre varme kunne medføre opsmeltning af tidligere aflejrede geologiske lag, og han tolkede granit, porfyr og lava som dannet ved størkning af opstigende smeltmasser, det vi nu kalder magma. Huttons banebrydende afhandlinger herom blev udgivet i 1788 og 1795, men de kom aldrig De Saussure i hænde. James Hutton læste derimod med stor interesse De Saussure's trykte arbejder.

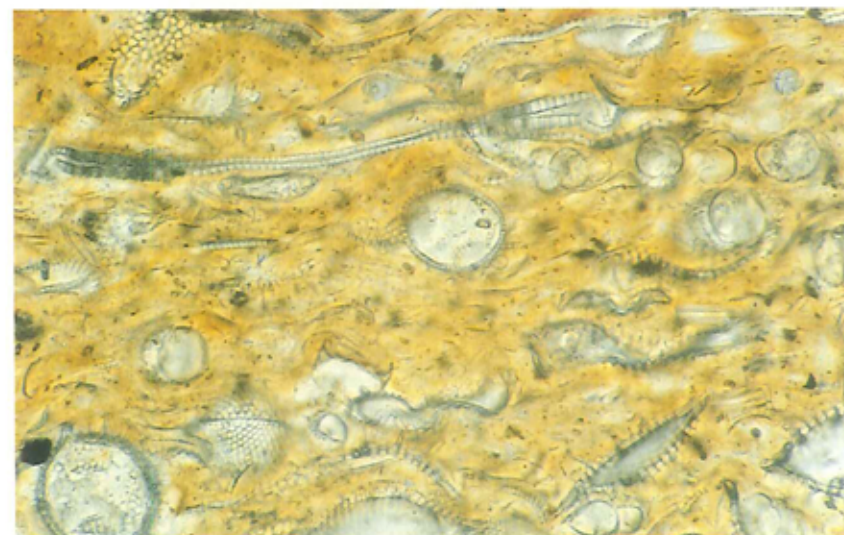
De forsteninger, De Saussure fandt i de Sekundære lag, anså han under sine første Alperrejser for at være 'rester' af havdyr, der var blevet indfanget under 'krystallisationen' af den omgivende kalksten. Men efter Italiensrejsen i 1773, hvor han havde set forsteningsførende, unge Tertiære kalksten, der var ligeså krystallinske som de Sekundære kalkstenslag i Alperne, indså han, at også Alpernes Sekundære kalksten måtte være sediment, dannet ved aflejring af kalkpartikler fra marine organismers kalkskaller.

De Saussure undersøgte tidligt de konglomeratiske sandsten i de Tertiære dannelser mellem Alperne og Jurabjergene. De grove Nagelfluhkonglomerater havde en sandet mellemmasse, hvori der optrådte næve- til hovedstore rullesten af kalksten.

Bemærkelsesværdigt nok indeholdt konglomeraternes mellemmasse Tertiære, og kalkstenen Sekundære forsteninger. Det fordrede en forklaring. Her greb De Saussure til en (aktualistisk!) sammenligning med de dannelser af nedstyrtede sten, grus og sand (talus), som han tit så ved foden af bjergmassiver. Han ræsonerede sig til, at rullestene måtte stamme fra den Sekundære Kæde; men de var ikke blot styrtet ned som i en talus. De måtte være blevet transporteret af strømmende vand, og derefter aflejret i mere roligt vand sammen med det omsluttende (Tertiære) sand - ellers ville konglomeratlagenes konstante tykkelse og lagstilling ikke kunne forklares.

Feltgeologen H.B. De Saussure beskrev allerede fra sine første vandringer i Mt. Blanc-området, hvorledes det store centrale granitmassiv var flankeret af stejltstående Primitive lag, som ud mod Alperanden, i den Sekundære Kæde, efterfulgtes af mindre oprejste og næsten vandret liggende kalkstenslag,

forestille sig, at de kun levede i dette lille område af havet og ikke trivedes andre steder, hvor vi finder lag fra samme periode? Her må vi se på forholdene i nutiden for at kunne give en sandsynlig forklaring.



Figur 5. Lodret snit af den oligocæne diatomit. Forstørret.

#### Et spørgsmål om bevaring eller ikke bevaring

Diatomeer er i dag vidt udbredt og hyppige i ferskvand og i havet. Nogle arter lever planktonisk, svævende i vandmasserne, andre lever på havbunden. Kort tid efter algerne død bliver kisel skelettet i reglen opløst. Det er årsagen til, at diatomeer ikke så tit bliver fundet som fossiler, til trods for at de også i ældre tider må have været ganske hyppige. Kun når særlige forhold er til stede, for eksempel en usædvanlig stor produktion af kiselalger, kan de blive bevaret i større mængde, der dannes diatomeholdige lerlag eller egentlige diatomitter.

De øvre oligocæne jordlag i Danmark blev aflejret i datidens Vesterhav, som dengang dækkede hele Jylland. Der har ganske givet levet diatomeer overalt i dette hav, ikke kun ved Silstrup. Skeletterne er imidlertid blevet opløst.

Oligocænlagene var skubbet eller slæbt derhen af en gletscher. Med andre ord: De oligocæne lag ved Silstrup ligger, hvor de altid har ligget.

Men hvorfor mangler lagene fra den mellemliggende periode så? Formentlig er der sket det, at havbunden har hævet sig som en undersøisk bank, hvor strøm og bølgegang har eroderet materialet bort. Tilsvarende lokale hævnin- ger synes at være sket rundt omkring i landet på forskellige tidspunkter af Tertiærperioden, f. eks. ved Albæk Hoved, omtalt i VARV 1990, 4.



Figur 4. Vandret snit af den oligocæne diatomit. Forstørret.

Figur 8 viser, hvorledes situationen kan have set ud i slutningen af Oligocæntiden, lige før diatomitten blev aflejret. Som det ses, bestod havbunden de fleste steder af lerlag, som var blevet aflejret i den foregående del af Oligocæntiden. Men ved Silstrup var der altså et 'hul' til det væsentligt ældre moler, som var blottet på havbunden. Lige netop her blev den tynde diatomit aflejret. Kunne den oligocæne diatomit så ikke simpelthen bestå af omlejret materiale fra moleret? Dette materiale kunne jo nemt være blevet løsnet ved erosion og så indlejret i bunden af de oligocæne lag. Denne nærliggende hypotese kan imidlertid straks opgives. Det er nemlig helt andre arter af diatomeer, man finder i den oligocæne diatomit. Kiselfossilerne i den oligocæne diatomit stammer uden tvivl fra dyr og planter, som levede i havet i Oligocæntiden. Hvorfor findes de så ikke andre steder end her? Kan man

fig. 4. Men den eftertænksomme professor var yderst forsigtig med at prøve at forklare disse forhold, selvom han skrev tykke bøger om sine iagttagelser under Alperejserne. Han forfattede et helt bogværk på fire bind, med titlen 'Voyages dans les Alpes'. Det første bind udkom i 1779, det andet i 1786, og tredje og fjerde i 1796. De Saussure dristede sig dog til i bind 1 at nævne, at han umiddelbart forestillede sig, at et eksplosivt udslip af et 'elastisk fluidum' fra Jorden varme indre, kunne have ført til en voldsom hævnin- g af den centrale, Primitive Kæde - med kipning af lagene udenom til følge. Men han nævner dog senere i samme bind, at han nu ikke længere (i 1779) tror på den forklaring.



Fig. 4. Skitse visende De Saussures første opfattelse af et tværsnit gennem Alperne. Sammenlign med fig. 6.

Han tegnede C-, Z- og S-folder, nogle så store som bjerge, men han var alligevel så påvirket af den Neptunistiske 'krystallisationskraft', at han først i 1784, 25 år efter sin første Alperejse, begyndte at tolke disse strukturer som folder, der var dannet ved at hele lagpakker var blevet sammenskudt i hori- sontal retning. Men herom står der intet i 'Voyages dans les Alpes', ikke engang i de to sidste bind fra 1796.

De Saussure's franske kollega, Grev Leclerc de Buffon (1707-1788), som ved eksperimenter med afkøling af metalkugler i 1778 havde beregnet Jordens alder til at være 75.000 år, bebrejdede på tryk De Saussure, 'at han ikke konkluderede nok'. De to var absolut ikke nære venner! Sammenholdes de 75.000 år, som de Buffon foreslog, med de 4,6 milliarder år, som nu anses for at være Jordens alder, kan man godt komme i tvivl om, hvorvidt de Buf- fon var den rette til at fremsætte en sådan kritik. Netop det forhold, at De Saussure var forsigtig med hurtigt at publicere vidtrækkende konklusioner, er faktisk en stærkt medvirkende årsag til, at hans værker nu 200 år efter sta- dig er læseværdige.

Euklid (ca. 300 år f.K.) lærte os, at den korteste vej mellem to punkter er en ret linie, og nutidens naturvidenskabsmænd hævder stadig, at ud af flere

mulige logiske løsninger, bør den mest enkle foretrækkes ('Occams rasekniv'). Geologi handler imidlertid ikke blot om Jordens fysiske og kemiske forhold, om forsteninger, mineraler og bjergarter, og om hvordan alt dette er placeret i de tre dimensioner. Geologien inddrager en fjerde dimension: Tiden. Selvom geologi er en naturvidenskabelig disciplin, har den et vigtigt historisk perspektiv. To punkter, eller observationer gjort på to lokaliteter, kan langt fra altid forbindes med en ret line eller en enkel forklaring. Dette var De Saussure sig meget bevidst - og det bidrog til hans ulyst til at drage hurtige konklusioner.

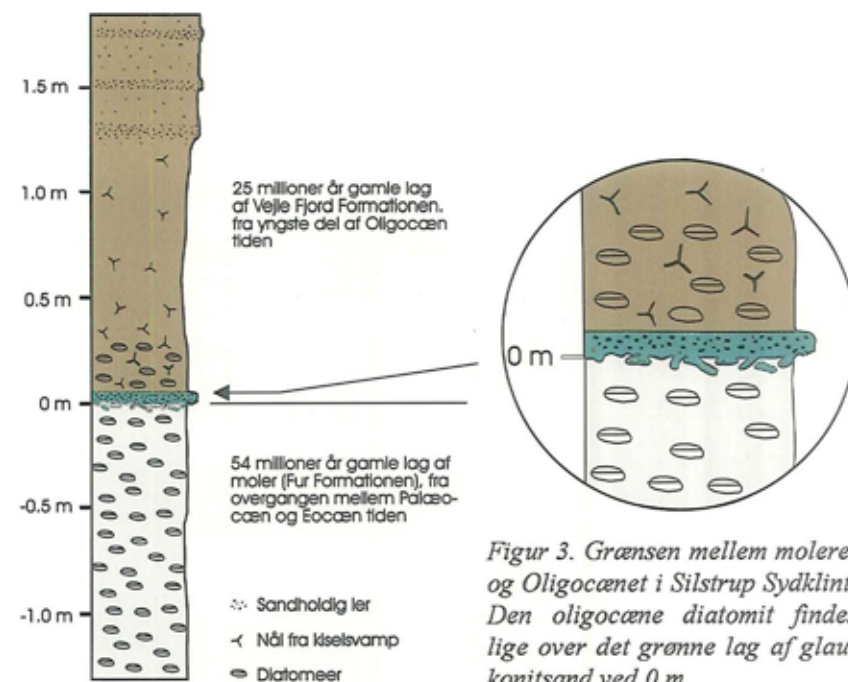
Der er i dag udviklet mange forfinede analysemetoder, som gør det muligt at læse, hvad Naturen har skrevet inden i stenene - og dermed også lettere at tolke stenenes tilblivelse. H.B. De Saussure måtte 'nøjes' med at bruge sine øjne, sin hjerne og sin hammer. Han havde ellers udpræget flair for fysiske instrumenter. Han forbedrede termometeret og hygrometeret, udviklede strømhastighedsmålere og en metode til måling af luftens gennemsigtighed, og var den første, der med et barometer bestemte Mont Blanc's højde (august 1787).

De Saussure observerede, tegnede og beskrev flittigt det han så: geologiske, botaniske, glaciologiske, geomorfologiske, topografiske, højde-medicinske, meteorologiske og andre fysiske fænomener, ja tilmed etnografiske forhold. Rækkefølgen, hvori han beskrev sine iagttagelser i 'Voyages dans les Alpes', er ikke særlig systematisk - og dårligt nok kronologisk, for resultater fra flere rejser kan være 'kogt sammen'. Allerede da 1. bind af 'Voyages dans les Alpes' udkom i 1779 (fig.5), havde han krydset Alpekæden 14 gange ad 8 forskellige ruter.

Alt imens De Saussure observerede, begyndte han - på et helt andet bevidsthedsniveau - forsigtigt at tolke de nye data, at gøre sammenligninger, opstille dele af mulige udviklingsrækker og udfinde årsagssammenhænge. Disse overordnede overvejelser nedskrev han omhyggeligt som 'strøtanker' på særlige sider i sine feltdagbøger. Men de konkluderende strøtanker kom som regel ikke med, når han ren- og omskrev dagbøgerne under udarbejdelsen af manuskriptet til 'Voyages dans les Alpes'. De blev lagt på lager. Store synteser hørte efter De Saussure's mening til et senere stadium med et stort og bredt erfaringsgrundlag. Dette grundlag søgte han at skaffe sig under sine lange vandringer i Alperne og på rejser i Italien, Frankrig, England og Tyskland.

Da han var meget nær ved at nå målet, rantes han imidlertid af en alvorlig mave- og tarmsygdom, som nedsatte hans arbejdsevne. Efterfølgende lam-

periode. Ingen andre steder finder man dog et diatomitlag i forbindelse med det brune glimmerler. Diatomitten er et helt lokalt fænomen.



Figur 3. Grænsen mellem moleret og Oligocænet i Silstrup Sydclint. Den oligocæne diatomit findes lige over det grønne lag af glaukonitsand ved 0 m

### Det store 'hul' i lagserien.

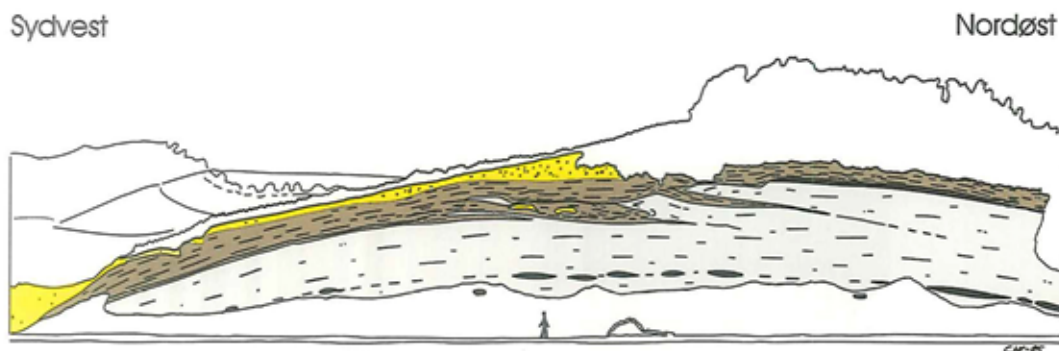
Det har altid vakt undren, at de oligocæne lag (som henregnes til Vejle Fjord Formationen) ligger direkte oven på det dobbelt så gamle moler ved Silstrup. Andre steder finder man nemlig tykke lag fra det mellemliggende tidsrum, især fedt plastisk ler fra Eocæntiden.

Længe mente man, at de oligocæne lag ved Silstrup var blevet anbragt oven på moleret af istidens gletschere. En nærmere inspektion af grænsen mellem moleret og Oligocænet udelukker dog aldeles denne mulighed. I toppen af moleret ses nemlig rør og gruber, som er udfyldt af oligocænt materiale.

Det er gravgange, som er lavet af havbundens dyr i Oligocæntiden, og som nu er fyldt op med sediment. Figur 7 viser et lille stykke af grænsen med disse gravgange. Sådan en fossil havbund ville ikke danne grænsen, hvis

skyldes et af naturens tilfældige luner; der må være en særlig forklaring på fænomenet!

Lad os derfor se lidt nærmere på denne klint ved Silstrup.



Figur. 2 Silstrup Sydklint. Størsteparten af klinten består af moler (lysegråt) med cementsten (sort) i et niveau nær askelag nr. 135. Moleret overlejres af oligocænt glimmerler (brunt) og sand fra Kvartærperioden ((gult). Istiden har forstyrret lagserien i den midterste del af klinten, hvor kiler af moler er skudt ind i de oligocæne lag. Den sydvestlige del er uforstyrret, og det er her, grænsen mellem moleret og de oligocæne lag kan studeres.

#### Sydklintens opbygning

Nederst ses lysegrå lag af det 54 millioner år gamle moler, hvoraf de øverste 10 meter er repræsenteret i klinten. Direkte oven på moleret ligger lagene fra Oligocæntiden og de nederste 20 centimeter er altså også en diatomit (fig. 3). Den oligocæne diatomit afviger fra moleret ved, at farven er brun, medens moleret er gråt. Desuden adskilles de to diatomitter af en tynd lerstribe med grønne sandkorn af mineralet glaukonit. Figur 4 viser et tyndt, vandret snit og figur 5 et lodret snit af det oligocæne diatomitlag, som det ser ud i mikroskop. Diatome-skeletterne udgør ca. halvdelen af materialet, resten er ler og siltpartikler. I figur 6 er leret sigtet fra, og man ser, hvor fint de forskellige kiselskeletter er bevaret. Foruden diatomeer ses også en kiselnål fra en havsvamp og et par kiselflagellater. Der er altså kiselskeletter ikke kun fra diatomeer, men også fra andre organismer i laget.

Over diatomitlaget består det oligocæne materiale af brunt, siltholdigt og sandet glimmerler, mægen til det, man finder andre steder i landet fra denne

## VOYAGES DANS LES ALPES, PRÉCÉDÉS D'UN ESSAI SUR L'HISTOIRE NATURELLE DES ENVIRONS DE GENEVE,

Par HORACE-BÉNÉDICT DE SAUSSURE, Professeur de Philosophie dans  
l'Académie de Genève.

TOME PREMIER.



Carte d'Alphonse, etc.

Nec species sua cuique manet, rerumque novatrix,  
Ex aliis aliis reparat Natura figurat.

O:14.

A NEUCHÂTEL,

CHEZ SAMUEL FAUCHE, IMPRIMEUR ET LIBRAIRE DU ROI.

M. DCC. LXXIX.

Fig. 5 Forsiden i bind 1 af 'Voyages dans les Alpes' fra 1779.

melsesanfald (1794 og 1796) medførte, at han aldrig nåede at sætte kronen på sit livsværk, at sammenskrive et længe planlagt 2-bindsværk om geologiens principper og bjergkædernes dannelse. Helbredet og tiden rakte kun til, at han fik skrevet et par udkast til indholdsfortegnelsen, gøre spredte notater om det, der endnu burde checkes i felten, og forfatte en ret trivial indledning om jordoverfladens fysiske udformning.

Efter De Saussure's død i 1799 sikrede hans kolleger og elever imidlertid, at alle dagbøger, notater og breve blev behørigt bevaret for eftertiden, og de opbevares stadig på universitetsbiblioteket i Geneve. Det har derfor været muligt i ret udstrakt grad at rekonstruere de konklusioner og tanker, som de Saussure havde til hensigt at sammenfatte i et afsluttende 2-bindsværk. Det omfattende arkivmateriale er senest behandlet af en amerikansk geolog med dyb interesse for videnskabshistorie (Carozzi 1989).

Carozzi har klart dokumenteret, at De Saussure i løbet af de 40 år, han helligede sig geologien, gradvist nåede frem til en afklaret erkendelse af, at det ikke blot var hævnninger, der var årsag til Alpernes dannelse. Det var først og fremmest storstilet sammenskydning indenfor jordskorpen i horisontal retning og ledsagende overskydninger og foldninger, der fik Alperne til at rejse sig som Europas højeste bjergkæde, fig. 6. De Saussure indså også, at der havde været en ældre bjergkædefoldning på spil længe før den Alpine, og at afbrydelser i lagfølgen og optræden af konglomerater beretter om perioder med bjergkædefoldning og efterfølgende aflejring af nedbrydningsprodukter. - Der er ingen tvivl, H.B. De Saussure var den første blandt de store Alpegeologer.

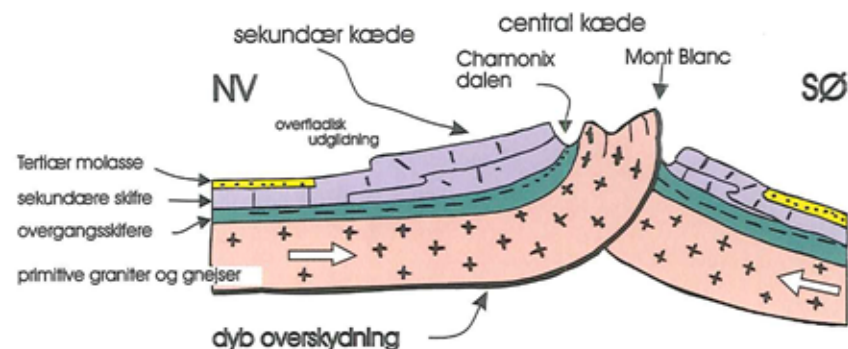
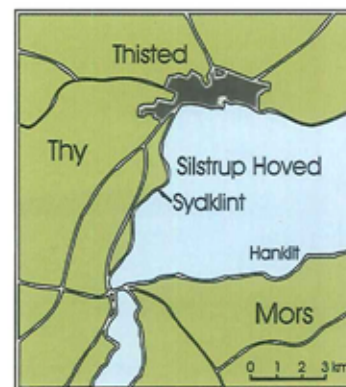


Fig. 6. Carozzis (1989) rekonstruktion af det Alpe-tværsnit gennem Mont Blanc-området, som De Saussure havde udtænkt, men ikke nåede at publicere.

## SYDKLINTEN VED SILSTRUP

- hvordan en diatomit fik en aflægger efter 29 mill. år

Claus Heilmann-Clausen



Figur 1. Klinterne ved Silstrup.

En diatomit er en hav- eller søaflejrings, som overvejende består af kiselskeletter fra mikroskopiske kiselalger - diatomeer. Diatomitaflejringer er sjældne. I Danmark findes en stor og berømt forekomst, nemlig moleret eller Fur Formationen, som findes i den vestlige del af Limfjordsområdet. Moleret kan her ses i en række imponerende klinte, især på Fur og Mors.

Moleret blev dannet i havet i den ældre del af Tertiærperioden, på overgangen mellem Paleocæn- og Eocæntiden for cirka 54 millioner år siden. Moleret og dets fossiler er tidligere blevet omtalt i VARV (1972, 2 og 4, 1983, 4, 1994,2).

Bortset fra moleret har vi kun beskedne forekomster af diatomit i Danmark. De er aflejret i søer i mellem-istiderne og er mindre end en halv million år gamle. Der findes dog endnu en diatomit. Forekomsten er meget lille, men højst interessant og er emnet for denne artikel. Denne diatomit blev dannet midt i Tertiærperioden, i den sidste del af Oligocæntiden og er cirka 25 millioner år gammel.

Den udgør kun et ganske tyndt lag på 20 centimeter og kendes kun fra ét sted, nemlig Sydklinten ved Silstrup nær Thisted (fig. 1). Det ganske mærkværdige ved denne tynde oligocæne diatomit er, at den ligger lige oven på moleret, altså oven på en anden diatomit, som er dobbelt så gammel. Dette sammentræf, at to diatomitter ligger lige over hinanden, er ganske enestående - fordi diatomitter, som nævnt, er så sjældne. Det kan bestemt ikke

## Sinhalit- Et sjældent mineral

Aage Jensen

Sinhalit hører til de få mineraler, der ligesom taaffeit og benitoit først er blevet erkendt som et nyt mineral i sleben tilstand. Sinhalit er et magnesium-aluminium-jern-borat  $Mg(Al,Fe)BO_4$ , der krystalliserer orthorombisk bipyramidisk, har hårdhed 6 1/2 og massefylde 3,48. Farven varierer fra lys gulbrun over gylden eller grønligbrun til sort afhængig af, hvor stort jernindholdet er. Sinhalit forekommer som vandlidte rullesten på Sri Lanka og er blevet slebet og solgt som brune peridoter. Olivin som smykkesten kaldes peridot, og olivin og sinhalit tilhører samme krystalklasse og har samme hårdhed og massefylde. Sinhalits lysbrydning er kun lidt større end olivins.

Man troede derfor, at sinhalit var en særlig jernrig peridot, men efterhånden opstod der tvivl om, at disse brune peridoter virkelig var peridot. I 1952 konstaterede to videnskabsmænd på British Museum i London, G.F. Claringbull og M.H. Hey, at der slet ikke var silicium i mineralet. Da peridot er et magnesium-jern-silikat, kunne der så ikke være tale om peridot. Man fandt ud af, at der var tale om et helt nyt mineral, et borat og ikke et silikat. Det nye mineral fik navn efter sanskritbetegnelsen for Sri Lanka: Sinhala. Den ydre krystalform kendte man ikke dengang, da sinhalit kun var kendt som vandlidte rullesten i ædelstensgruset på Sri Lanka. Senere er krystaller af sinhalit fundet i Mogokdistriktet i Burma. Der er ikke meget sinhalit i handelen, og når der er, aftages det hurtigt af interesserede samlere. British Museum i London har en sinhalit på 74,8 carat, og Smithsonian Institution i Washington har én på 110 carat.

Udover at ligne peridot, ligner sinhalit også i høj grad chrysoberyl og zirkon. Sinhalit har da også været solgt som både chrysoberyl og zirkon, indtil man blev klogere.

Moralen må alligevel være: 'Tænk dig ikke om så længe, at du lige så godt kunne have sparet dig ulejligheden med at tænke'. Det Søren Kierkegaard ironisk kaldte 'penneklø', skader ikke altid. Hvad skrevet står, glemmes ikke så let som tanker, der kun er tænkt.

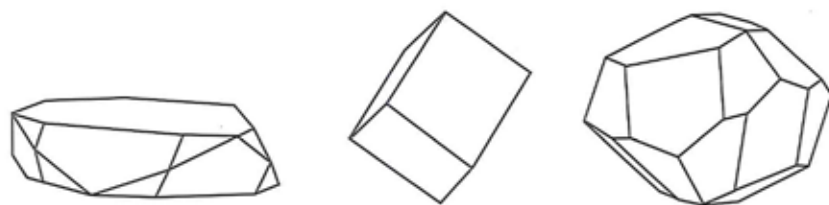
H.B. De Saussure opnåede tidligt og med god grund stor berømmelse og akademisk anerkendelse. Han blev bl.a. indvalgt i lærde selskaber i Italien, Frankrig, England, Tyskland og Sverige. Indvalget i 'Vetenskaps Akademiet i Stockholm' blev formodentlig foranlediget af Carl von Linné (1707-1778), den systematiske botaniks grundlægger. Uanset at geologien med årene optog De Saussure mere og mere, bevarede han hele livet sin ungdoms store interesse for botanik.

Carl von Linné var på sin side også alsidig. Han publicerede bl.a. i 1741 en afhandling, hvor han på bedste neptunistiske vis tolkede diabas/basalten på Kinnekulle (kendt som ledeblok herhjemme) som et vandaflejret sediment! - Det 1. bind af 'Voyages dans les Alpes' blev i øvrigt udgivet på dansk i 1798, oversat af Gregers Wad, der var professor i 'Naturhistorie og Økonomi' ved Københavns Universitet.

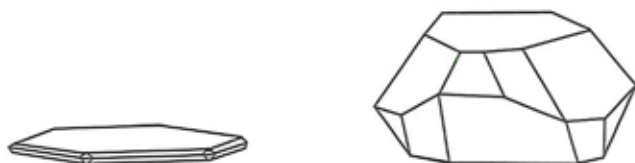
Berømt akademiker eller ej, De Saussure lukkede sig aldrig inde i noget elfenbenstårn. Han var nok rundet af det bedste borgeskab, men var alligevel yderst samfundsengageret. Han var tidligt aktiv i politik som medlem af Geneve's lovgivende forsamling. Han måtte forlade sit hjem, da Geneve hærgedes af et blodigt oprør (1763-68). Det brød ud få dage efter, at J.J. Rousseau's opsigtsvækkende bøger, 'Emile' og 'Contrat sociale', var blevet afbrændt af bødlen på torvet. Det dengang strengt calvinistiske Geneve fungerede som 'Protestantismens Rom'. Bølgerne fra Den franske Revolution (1789) nåede også Geneve og bevirkede, at provinsen fik en demokratisk forfatning i 1794. Da Geneve i 1798 blev annekteret af Frankrig (til 1813), tildeltes H.B. De Saussure, som da havde mistet det meste af sin formue og var helt lammet, som æresbevisning et professorat i naturhistorie.

De Saussure var også pioner som opdagelsesrejsende og bjergbestiger. Hans levende rejseberetninger gjorde det at færdes i bjergene til noget attraktivt. De naturromantiske beskrivelser bidrog til at fortrænge den frygt for 'de onde bjerge', som mange ellers nærede. Bjergbestigning blev snart en yndet sport for gentlemen. Selv en dansker, der i 1789 rejste i Schweiz, blev så betaget af Alpernes natur, at han skrev hjem: 'Jeg gjorde Bekiendskab med forskellige Lærde. Hr. Saussure var mig allerede så interessant, at blot hans Omgang vilde kunne lønne mit Ophold'.

Under sin opvækst var Horace Benedict De Saussure af sin far og onkel systematisk blevet opdraget til at være naturelsker, og som aktiv naturforsker nød han til fulde de glæder, som altid vil høre til en feltgeologs frynsegoder. Dermed ikke være sagt, at De Saussure ikke tog sig sit geologiske feltarbejde yderst alvorligt. Det gik altid klart forud for andet - også samværet med hustruen. For, som han skrev i et af sine mange, yderst kærlige breve til hustruen: 'Hvorledes skulle jeg ellers forklare mine kritiske kolleger, at jeg ikke tog mig tilstrækkelig tid til at iagttage alt det, der var at se? Jeg turde i hvert fald ikke vove at svare dem, at det var fordi, min frue ønskede mig hjem'. - I den henseende har godt 200 år vist ikke ændret ret meget.



*Hæmatitkrystaller- i midten ses et romboeder.*



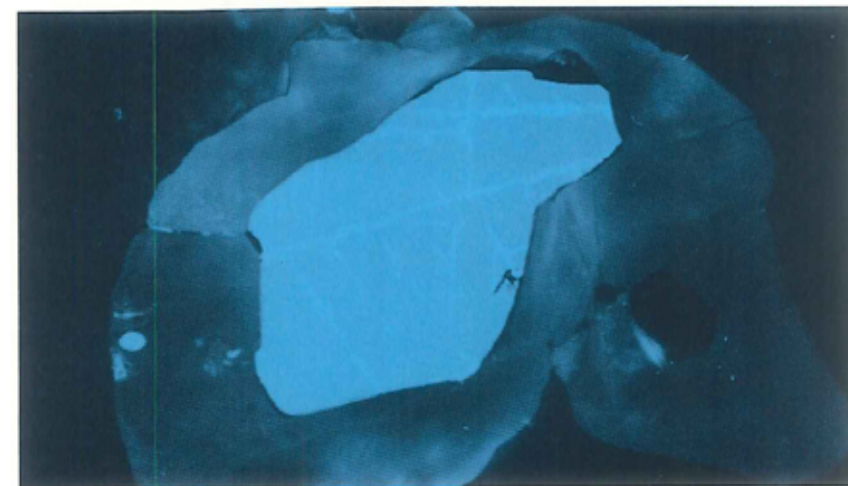
*Ilmenitkrystaller.*

grundmasse. Det hænder ikke så sjældent, at magnetiten oxideres til hæmatit. Hæmatit, der er dannet ved oxidation af magnetit, har fået sit eget navn: Martit. Processen hedder martitisering. Martitisering er karakteriseret ved at trænge frem langs oktaederretningerne.

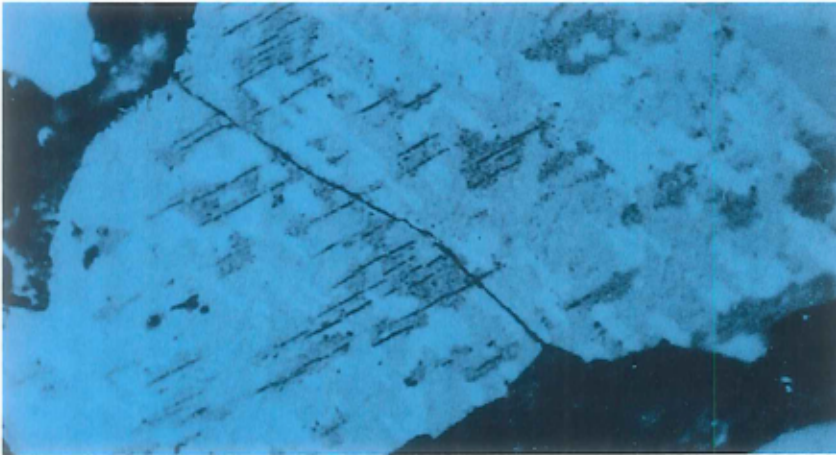
Det kan også hende, at magnetiten oxideres til maghemit, der er kubisk krystalliserende  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , i modsætning til hæmatit, der er trigonal krystalliserende  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Maghemitdannelsen - maghemitisering - trænger ikke frem langs krystallografiske retninger, men følger revner og sprækker. Titanomagnetiten omdannes undertiden også til såkaldt grumset titanit (engelsk: turbid sphene, englænderne og amerikanerne har nemlig haft en tilbøjelighed til at kalde titanit for sphene, men den internationale mineralogiske association IMA har nu forbudt brugen af ordet sphene og bestemt, at mineralet skal hedde titanit).

Ilmenit kan også omdannes til titanit, men så er der ikke tale om grumset titanit. Oprindelige ilmenitkorn kan blive fuldstændigt omdannet til titanit, men ofte finder man små afrundede rester af ilmenit inde i titaniten.

Endelig er der endnu en omdannelse der kan ramme ilmeniten, det er den såkaldte omdannelse af 'beach sand type'. Denne hedder således, fordi omdannelsen først er fundet i kystaflejringer af tungsand i tropiske og subtropiske områder. Ilmenitomdannelse af "beach sand type" er senere påvist blandt andet i diabas fra Bornholm og i tungsand fra Rågeleje



*Rest af titanomagnetit med martitisering efter oktaederretning liggende i titanit.*



*Diffuse ilmenitlameller opstået efter oxidation af allerede afblandet ulvöspinel*

Hvis man kan bestemme sammensætningen af den oprindelige romboedriske fase og den oprindelige kubiske fase, kan dette bruges til at bestemme såvel dannelsestemperaturen som iltrykket. Sammensætningen af den romboedriske fase fås let ved at analysere ilmeniten, der næsten altid er homogen. Bestemmelse af den oprindelige kubiske fase er derimod forbundet med flere vanskeligheder. Da ilmeniten som regel er udskilt før titanomagnetiten, finder man ofte sammensatte korn, der har en kerne af ilmenit omgivet af titanomagnetit. Sådanne korn kan ikke bruges, da det er umuligt at afgøre, hvor meget ilmenit der er født romboedrisk, og hvor meget der er afblandet fra titanomagnetit, men har nået at samle sig til større masser.

Sammensatte korn skal altså undgås. Herefter kommer så bedømmelse af, hvor meget af titanomagnetiten, der er afblandet ilmenit, og hvor meget der er kubisk grundmasse, samt beregning af hvor meget oprindelig ulvöspinel, den afblandede ilmenit repræsenterer. Er dette lykkedes, så tilbagestår der bare at analysere titanomagnetitgrundmassen og de afblandede ilmenitlameller, for det er ikke sikkert af afblandingslamellerne har samme sammensætning som den oprindelige romboedriske ilmenit. Er man kommet så langt, er der kun en lille joke tilbage: Sammenregningen af magnetitanalysen, der jo er baseret på fire ilt, og ilmenitanalysen, der er baseret på tre ilt.

Beregningen af sammensætningen af den oprindelige kubiske fase kan yderligere kompliceres, hvis der er sket en oxidation af titanomagnetitens

For jern-titan-oxid 'freaks'

## Historien om jern-titan-oxiderne I

Aage Jensen

Jern-titan-oxider er de almindeligst forekommende malmminerale i basaltiske bjergarter. Det drejer sig især om mineralerne ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ), hæmatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) og ulvöspinel ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ).

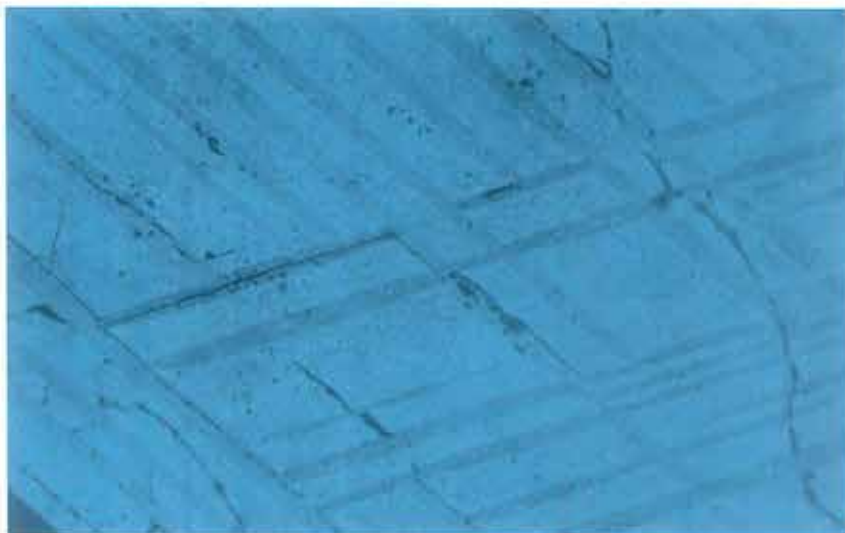
Der er tale om to serier af faste opløsninger: Den romboedriske fase ilmenit-hæmatit og den kubiske fase ulvöspinel-magnetit. Ulvöspinel er opkaldt efter den svenske ø Ulvö. Ved  $1050^\circ\text{C}$  er der fuldstændig blandbarhed mellem  $\text{FeTiO}_3$  og  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Ved  $950^\circ\text{C}$  kan der højst være 33 mol%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{FeTiO}_3$  og 33 mol%  $\text{FeTiO}_3$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Malmminerale kaldes også opake minerale, fordi de er uigennemskinnelige for lys selv i de  $30\mu$  tynde skiver, såkaldte tyndslib, som man bruger ved undersøgelse af minerale og bjergarter i mikroskop. Tyndslib undersøges i gennemfaldende lys, det vil sige lyset sendes gennem præparatet og op til øjet. Dette kan ikke lade sig gøre med opake minerale, de må undersøges i påfaldende lys. Lyset bliver derfor sendt ud gennem objektivet og ned på præparatet, der i modsætning til tyndslib skal være poleret, så lyset kan kastes tilbage fra præparatet op igennem objektivet til øjet.

Mikroskoper, der anvender påfaldende lys, kaldes også malmmikroskoper, og man kan enten benytte polerede tyndslib (almindelige tyndslib er ikke polerede, men kun slebet ned til  $30\mu$  tykkelse) eller såkaldte polerprøver, hvor overfladen er poleret, men som kan have en tykkelse på flere cm.

I basaltiske bjergarter udskilles den romboedriske fase i regelen først og sammensætningen ligger mellem 80% ilmenit-20% hæmatit og 95% ilmenit-5% hæmatit. Der kan desuden være lidt MgO og MnO. Denne romboedriske fase udgør gerne 1-5 vægt% af basaltiske bjergarter.

Samtidigt med dannelsen af den romboedriske fase eller lidt senere begynder udskillelsen af den kubiske fase, der kaldes titanomagnetit. Denne har som regel en sammensætning på mellem 50% ulvöspinel-50% magnetit og 80% ulvöspinel-20% magnetit. Der kan desuden være lidt  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (< 1-4%), lidt MgO (< 1-3%) og lidt MnO (< 1-2%). Den kubiske fase, titanomagnetiten, udgør ligeledes 1-5 vægt% af basaltiske bjergarter.



*Ilmenitlameller i titanomagnetit opstået ved oxidation af ulvöspinel.*

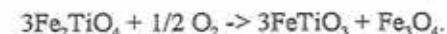


*Gensidige hæmatit- ilmenitafblandinger.*

Forholdet mellem mængderne af den romboedriske og den kubiske fase er gerne tæt ved 1:1, men er afhængig af iltrykket og aktiviteten af  $\text{SiO}_2$ .

I basaltiske bjergarter sker der sjældent noget med den romboedriske fase under afkølingen, men i metamorfe bjergarter forekommer der ofte afblandinger. Først dannes der 2 faser, en ilmenitrig og en hæmatitrig. Derefter afblandes der hæmatitrige faser i den ilmenitrige og ilmenitrige faser i den hæmatitrige. Dette fortsætter, og slutresultatet er en intim sammenvoksning af en fase bestående af næsten ren ilmenit og en fase af næsten ren hæmatit.

Det er yderst sjældent at der ikke sker noget med den kubiske fase under afkølingen, men hvis der ikke sker noget får man homogen titanomagnetit. Ulvöspinellen i den kubiske fase bliver dog næsten altid oxideret under afkølingen, og det sker efter reaktionskemaet:



Den dannede magnetit kan godt tilpasses i den kubiske fase, men den romboedriske ilmenit kan ikke og den udskilles derfor som lameller parallelt med magnetitens oktaederretninger. Derved fremkommer der et imponerende mønster, der kan minde lidt om Widmannstättenfigurerne i jernmeteoriter. Denne afblanding af ilmenitlameller fortsætter indtil afkølingstemperaturen når  $600^\circ\text{C}$ . Ilmenitlameller afblandet ved høj temperatur kan nå at blive store og brede og undertiden også samles i større sammenhængende områder, der ikke har lamelkarakter. Efterhånden som temperaturen falder, bliver ilmenitlamellerne mindre og tyndere.

Når temperaturen når  $600^\circ\text{C}$  vil den resterende del af ulvöspinellen, hvis der er noget tilbage, blive afblandet. Det kan udmærket ske, at al ulvöspinellen når at blive oxideret til ilmenit og magnetit, inden temperaturen under afkølingen når  $600^\circ\text{C}$ . Afblandingen af ulvöspinel sker som et ganske fint mønster af tynde stave parallelt med terningretningerne. Hvis oxidationen fortsætter under  $600^\circ\text{C}$ , vil ulvöspinellen i de afblandede stave også oxideres til ilmenit og magnetit efter det nævnte reaktionskema, og den dannede ilmenit udskilles efter ulvöspinellens oktaederretninger. Sker denne oxidation ved en temperatur høj nok til at tillade mobilitet, vil de talrige små ilmenitlameller indenfor de oprindelige ulvöspinelstave samle sig til større, oftest noget diffuse ilmenitlameller, stadig parallelt med oktaederretningerne.

Hvis titanomagnetiten har et relativt højt indhold af magnesium og aluminium, kan der også forekomme afblandinger af mineralet spinel  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ . Spinelaftblandingen finder i regelen sted ret tidligt og sker både efter terningretninger og oktaederretninger.