

HELGOLAND: Ø med en broget fortid

Gunnar Larsen
Arne Villumsen Jensen
Frede Becker Johannesen
Jørgen Liboriussen
Jörn Thiede

Helgoland er en mærkværdig ø, beliggende i den sydøstlige del af Nordsøen, kun cirka 100 km SV for den dansk-tyske grænse. I virkeligheden er Helgoland ikke een men to øer. Den ene - man kan kalde den hovedøen eller det egentlige Helgoland - er en cirka 50 m høj klippe med et tilhørende lavland. Det er på denne ø, Helgolands befolkning bor. Den anden er en lav, klitdækket ø, som betegnes "Düne", i modsætning til hovedøen er den ikke permanent befolket.

I gamle dage var Helgoland dansk. Vi afstod den imidlertid i 1814 til englænderne, som i 1890 handlede den videre til tyskerne. Under mellemkrigsårene fik øen voksende betydning som ferie- og badested. Dens betydning blev af strategisk art under anden verdenskrig, idet der indrettedes en stærkt befæstet flådebase her. Efter krigen var Helgoland nogle år atter på engelske hænder, men blev i 1952 i udbombet tilstand givet tilbage til Tyskland. I dag er genopbygningen forlængst gennemført, og Helgoland indtager atter pladsen som et meget besøgt kursted og turistområde.

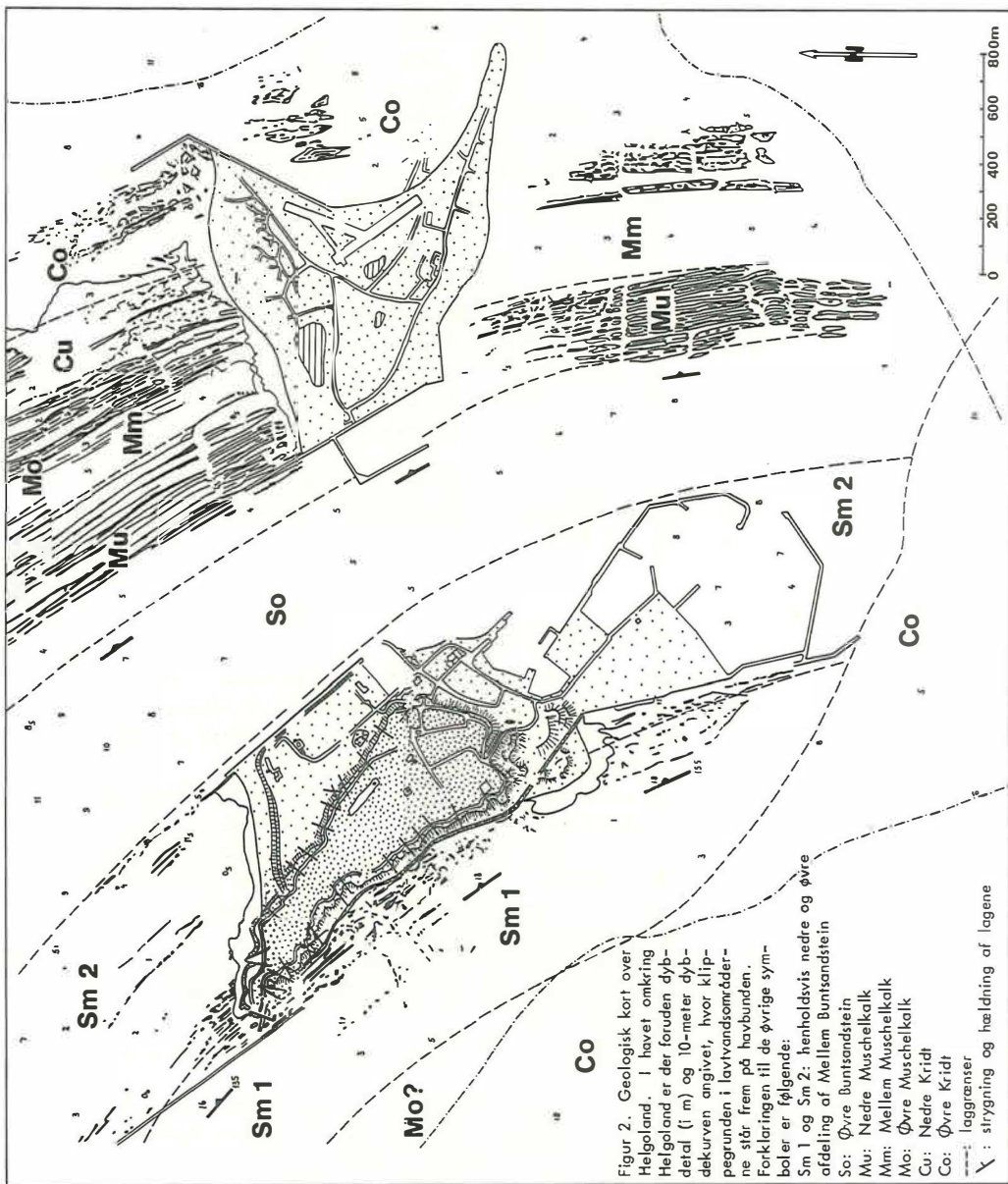
Der kan være mange grunde til at gæste Helgoland. Det kan for eksempel spille en rolle, at øen er todfrit område. Den har således en særlig status, noget der også ses afspejlet i, at øen fører sit eget flag. Det er stribet i grønt, rødt og hvidt, en farvesammensætning som symboliserer nogle væsentlige træk ved Helgolands natur. Den røde farve står som symbol for hovedøens røde klippeformationer, den hvide farve for naboøens lyse klitter og strande. Endelig kan den grønne farve symbolisere Nordsøbølgerne, som omskyller stedet.

Hvis man som geolog tiltræder en Helgolandsrejse må hovedmålet naturligt være studiet af de røde klipper.

DET RØDE NORDEUROPA

Helgolands røde klipper udgør et lille brudstykke af undergrundslag, der i tilgrænsende områder ligger flere kilometer under jordoverfladen. Den høje beliggenhed her skyldes, at underliggende saltforkomster har presset lagene op.

De røde lag tilhører Nedre Trias og har således en alder på godt 200 millioner år. Nedre Trias betegnes i Tyskland Buntsandstein, det vil sige broget sandsten.



Hovedparten af de nedre triassiske aflejringer er af rødbrun farve på grund af et indhold af jernilte (Fe_2O_3). Dette betyder formentlig, at aflejringerne fortrinsvis er dannet under direkte indflydelse af atmosfæren, det vil sige på land. Da landområdet øjensynlig ikke har været plantedækket, har det sandsynligvis haft ørkenkarakter. I dette miljø kan materialtransporten fra randområderne antages at have fundet sted i strømløb i forbindelse med periodisk optrædende regnskyl over blandt andet bassinets randbjerge.

Man må imidlertid også regne med muligheden af, at havet nu og da har gjort sig gældende over dele af bassinet. Et symptom herpå har man i forekomsten af et saltlag, hvis udbredelse er anført på kortet. Formentlig har dele af bassinet for en tid været dækket af indhav - tørre klimaforhold har da medført, at havvandet er inddampet, og salt udfældet. Dette indhav antages at have haft forbindelse til det åbne hav mod NV.

Dette var nogle forestillinger om naturforholdene i Nordeuropa under den ældre Triastid.

Af kortet ses, at Helgoland ligger i det centrale strøg af aflejringsområdet. Studiet af de røde klipper på Helgoland kan derfor kaste lys over forholdene i denne del af Triasbassinets.

LAGSERIEN PÅ HELGOLAND

Som antydte tidligere, er den høje beliggenhed af de røde Triaslag på Helgoland et resultat af opskydning af underliggende saltforekomster. At sådanne er til stede, blev påvist allerede i 1938, da man førte en boring cirka 3 km ned i øens undergrund.

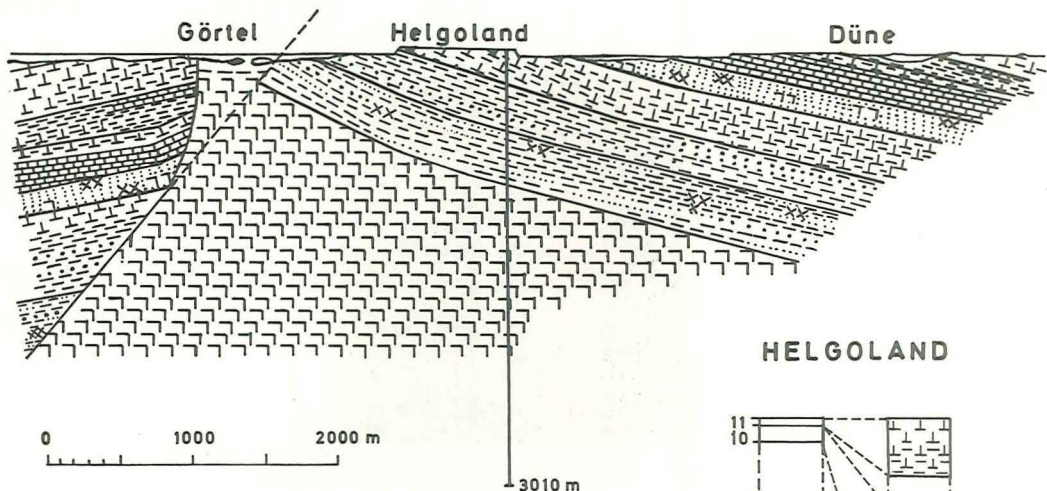
På Helgoland ser man umiddelbart, at de blottede Triaslag hælder mod øst. Alene ud fra denne observation kan man få den opfattelse, at der må forekomme yngre lag på havbunden øst for hovedøen. Tilstedeværelsen af sådanne er da også blevet påvist. Et indtryk af disse yngre lags beskaffenhed kan man få blandt andet ved at studere det stenmateriale, som under storm kastes op på den lave klitøes brede strand.

Ved at sammenstille disse forskellige observationer har man dannet sig det billede af områdets opbygning, som er vist i det geologiske kort (figur 2) samt i tværprofilen i figur 3.

Lagserien er skitseret i figur 4. Til de enkelte afsnit skal der knyttes følgende kommentarer:

Øvre Perm (Zechstein) (nr. 1 i figur 4). Mere end 2 km af denne aflejring er gennemboret uden at underlaget er antruffet. Lagserien består især af stensalt med underordnede lag af anhydrit, dolomit og saltler.

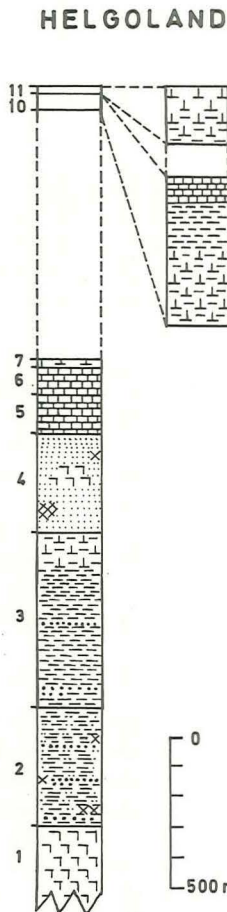
Nedre Buntsandstein (nr. 2) er en 290 m tyk aflejring af lersten og fin-kornede sandsten med indlejringer af anhydrit i den nedre del og forekomster af grovere sandstensbænke i den øvre.



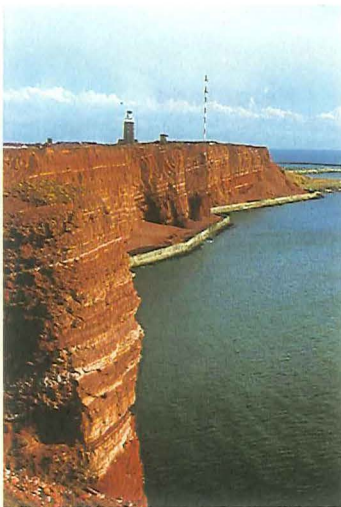
Figur 3. Tværsnit gennem Helgoland-højdestrukturen fra SV til NØ. Det bemærkes, at selve Helgoland kun udgør en lille del af denne højdestruktur. Den 3010 m dybe boring, der har oplyst om lagene under Helgoland, er angivet.

Mellem Buntsandstein (nr. 3) har en tykkelse på 450 m. Det er et udsnit af denne lagserie, som er blotet i de stejle klippevægge på Helgoland. Lagene kan deles i en nedre og en øvre afdeling, hvis mægtighed er henholdsvis 334 m og 116 m. Den nedre afdeling består af brunrøde, glimmerholdige lersten og siltsten med lyse lag af såkaldt "Katersand". Disse lyse sandlag er kun svagt sammenkittede og nedbrydes derfor let af vejrliget. Den øvre afdeling er opbygget af lyse, teglrøde eller vinrøde ler-mergelsten. Grænsen mellem nedre og øvre afdeling ses i stejlvæggen langs Helgolands vestkyst (figur 5).

Øvre Buntsandstein (nr. 4) er ikke blottet på Helgoland, men forekommer på havbunden mellem de to øer. Aflejringer er cirka 250 m tyk. Den består af finsandsten med lag af anhydrit og stensalt. Sidstnævnte er det såkaldte "Röt"-salt, hvis udbredelse er vist på kortet figur 1.



Figur 4.



Figur 5. Helgolands vestkyst set fra nord.

Nedre Muschelkalk (nr. 5) er en cirka 100 m tyk, grå kalksten med bænk (lag) indeholdende talrige muslingeskaller.

Mellem Muschelkalk (nr. 6) har en tykkelse på 65 m. Materialet består af blågrå og røde kalksten med anhydritforekomster.

Øvre Muschelkalk (nr. 7) er en kun 20 m tyk aflejrning af glimmerholdig mergel, hvori der forekommer fisketænder og skæl.

Nedre Kridt (Neokom, Gault)(nr. 10) er cirka 50 m tyk og består af forskellige slags materialer: lergytje, kalkgytje, mergel og skiferler. En af bjergarterne bærer det lokale navn "Töck", det er en mørk, noget bituminøs, kalkholdig lerskifer, indeholdende en del fossilrester, blandt andet fisk. Den øverste del af Nedre Kridt er en kalkaflejrning af rødlig, grålig og hvidlig farve.

Øvre Kridt (Cenoman, Turon, Senon)(nr. 11) består af rødlig mergelkalk og hvidt skrivekridt med flintforekomster.

Det bemærkes, at man i denne lagserie mangler aflejringer fra Øvre Trias (Keuper) samt fra hele Jura.

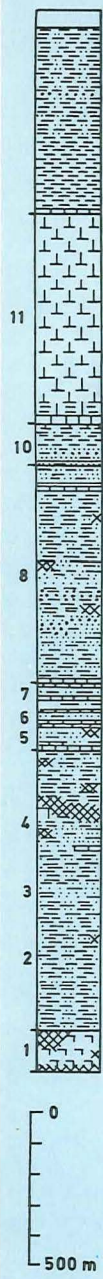
SAMMENLIGNING MED DYBDEBORINGEN TØNDER 2

Lagserien på Helgoland - hvorledes svarer den nu til den, vi kender fra dybdeboringerne i den danske undergrund?

Dette spørgsmål kan belyses eksempelvis ved en sammenligning med dybdeboringen Tønder 2, som er lokaliseret cirka 100 km nordøst for Helgoland. Tønderboringsens profil er skitseret i figur 6. Ved at sammenholde denne med figur 4 ses blandt andet følgende:

Zechstein (nr. 1 i figur 6), der er gennemboret ved Tønder, omfatter her 655 m af stensalt med lag af anhydrit og dolomit. Den langt større salttykkelse på Helgoland må sikkert sættes i forbindelse med opskydningen af saltmasserne.

Figur 6. Lagserien
i boringen Tønder 2.



Buntsandstein (nr. 2, 3, 4) er tyndere ved Tønder (668 m) end ved Helgoland (990 m). Dette stemmer udmærket med, at Tønder øjensynlig har ligget nærmere ved bassinranden (se figur 1). Lagenes udformning er iøvrigt næsten ens i de to lokaliteter, blandt andet findes "Röt"-salt begge steder.

Muschelkalk (nr. 5, 6, 7) ved Tønder er af samme tykkelse som forekomsten ved Helgoland.

Keuper (nr. 8), der mangler ved Helgoland, er til stede ved Tønder som en 511 m tyk aflejrings af lersten og finkornede sandsten af mere eller mindre rødlig farve.

Jura mangler i Tønder ligesom ved Helgoland.

Nedre Kridt (nr. 10) er ved Tønder næsten dobbelt så tyk som ved Helgoland, nemlig 96 m. Materialet er fortrinsvis mørkegråt og grønligt ler.

Øvre Kridt (nr. 11) udgør cirka 500 m ved Tønder. Bjergarterne er kalk og kridt ligesom på Helgoland.

Tertiær findes ved Tønder men mangler på Helgoland.

Af denne sammenligning ses, at hovedtrækkene i de to lokalitetsområders geologiske udvikling er så ens, at man uden videre kan forestille sig, at de falder indenfor samme aflejringsfelt. De store træk i dettes udvikling har øjensynlig været:

I løbet af Perm og Trias foregik der aflejring under tørre klimaforhold i et større aflejringsbassin. I Jura-tiden var denne del af det tidligere bassin øjensynlig hævet til et landområde, hvor der ikke fandt aflejring sted. I Kridt skete der atter en sænkning, som førte til, at havet trængte ind over området, og marine aflejringer dannedes.

Lighederne i de store træk er som nævnt slående, men der er også forskelle, eksempelvis i salttykkelsen. Endvidere kan nævnes tilstedeværelse af Keuper og Tertiær i Tønder, men ikke ved Helgoland. Det er muligt, at en del af disse forskelle skal ses som et udslag af de saltbevægelser, som har fundet sted i dybet under Helgoland.

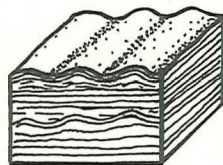
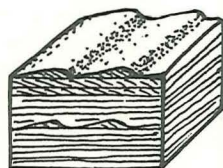
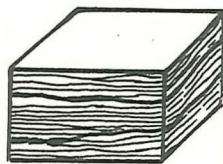
DETALJER I TRIASLAGENES UDFORMNING

Er hovedemnet for et Helgolandsbesøg studiet af de røde Trias-lag, så kan man med fordel give sig i lag med blotningerne på vest- og nordkysten. Her hæver klipperne sig næsten lodret op fra en flad brændingssterasse. Langs vestkysten er der opført en beskyttelsesmur i beton, hvorfor man kan færdes her, selv under højvande.

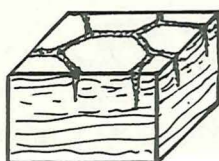
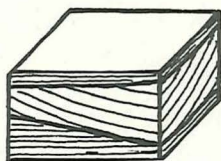
Det er som nævnt mellemste Buntsandstein, der er blottet. Allerede på afstand kan man tydeligt skelne den nedre, rødbrune og den øvre, tegltil vinrøde afdeling (se figur 5). Endvidere ses en lagdeling klart aftegnet ved forekomsten af spredte, lyse horisonter i de rødlig aflejringer. Kommer man på tæt hold, viser det sig snart, at de tilsyneladende ensartede, røde klipper fremviser en rigdom af små og større aflejringsstrukturer, som det nok er umagen værd at se nærmere på.

Man vil blandt andet lægge mærke til, at lagene varierer i tykkelse. Nogle er kun få mm, andre (således de tidligere nævnte "Katersand"-lag) er op mod $\frac{1}{2}$ m tykke. Man kan opfatte et lag som en sedimentær enhed, dannet indenfor et tidsinterval, hvorunder aflejningsforholdene ikke har ændret sig væsentligt. De mindste enheder, man kan erkende i et lag, betegnes som laminæe. Laminationen i et lag udsiger noget om, at der til stadighed er sket små ændringer i eksempelvis strømhastighed eller materialetilførsel under lagets dannelse.

Såkaldte bølgeslagsmærker er meget hyppigt forekommende strukturer i de røde siltsten. Man kan skelne mellem to typer, nemlig strømribber og bølgeribber. Strømribber kan på lagflader danne lange, lige, parallelle rygge, i andre tilfælde fremtræder de med buede eller tungelignende former. I tværsnit viser ribberne en usymmetrisk opbygning med en flad og en stejl side. Fra nutidige dannelser ved man, at strømribber dannes i strømmende vand. Den flade side vender mod strømmen, den stejle er læsiden. Ribberne vandrer i strømrretningen, den ene efter den anden. Hvis materialetilførslen er tilstrækkelig stor, afsætter hver ribbe et lille krydslejet lag. Strømribberne i de røde aflejringer kan således fortælle om strømningsretning, da Triaslagene dannedes. Bølgeribber kan minde om strømribber, men er dog afvigende ved, at de i tværsnit er fuldstændig symmetriske. Ligeledes fra aflejringer, der dannes i dag, kender man forholdene, hvorunder bølgeribber opstår. De opstår på ret lavt, næsten stillestående vand af små frem- og tilbagegående bevægelser ved bunden, fremkaldt af overfladebølgerne. Ribbernes retning er parallel med bølgernes. De kan derfor fortælle noget om retningen af den fremherskende vind, eller eventuelt om retningen af en nærliggende kyst. Dette sidste må ses i sammenhæng med, at bølger på vej mod kysten kan afbøjes, så de løber ind parallelt med denne selv om de oprindeligt har haft en anden retning. Strømribber og bølgeribber kan iagttages i stejlvæg-

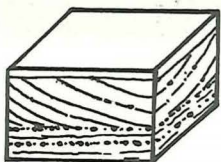
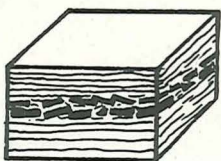


gene og på brændingsterrassen. Ribbernes retning er højst varierende. Stedvis kan man på en og samme lagflade se to generationer med indbyrdes forskellig retning.



Krydslejring er en strukturform, som blandt andet forekommer i "Katersand"-lagene. Indlejringer af cm-store lerrullesten kan forekomme, især i den nedre del af disse lag. Krydslejringer kan dannes på samme måde som strømribberne, blot er strømhastigheden og ribberne større. Krydslejrede lag kan blandt andet opstå i slyngede render (loer) i et vadehav.

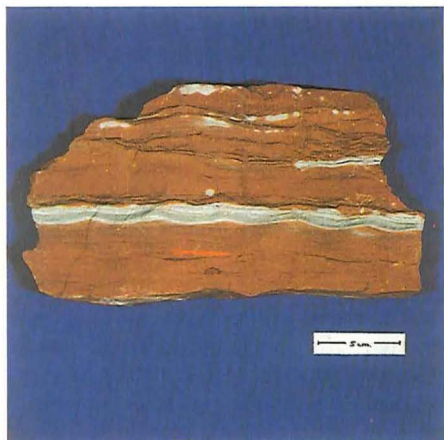
Tørresprækker er en anden almindelig struktur i de finkornede aflejringer på Helgoland. På næsten alle blottede lagflader ses sprækker, der danner mere eller mindre irregulære polygoner, diameteren varierer mellem få mm til næsten 1 m. I tværsnit ses, at sprækkerne er fra få mm til cirka 20 cm dybe. De dybe sprækker kan gennemskære flere lag, disse sprækker er som oftest udfyldt med et grovere, sandet materiale. Flere generationer af tørresprækker af forskellig størrelse kan optræde på samme lagflade. Disse tørresprækker må være opstået ved udtørring af bløde, vandholdige, slamlag. Deres hyppige optræden synes derfor at vise, at der under Triaslagenes dannelse har været en stadig veksel mellem fugtige og tørre forhold på aflejningsstedet.



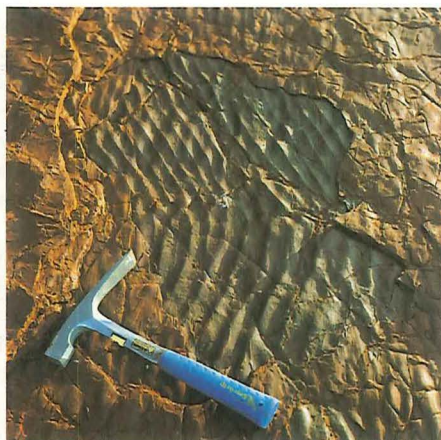
I mange lag kan man iagttage strukturer, som må være opstået ved deformationer. Nogle skal formentlig sættes i forbindelse med de ændringer, der opstår i materialerne ved ovennævnte udtørring. Andre kan snarere forklares ved flydning i vandmættede sedimentter.

De opsprækkede lerlag bærer mange steder præg af, at have været udsat for erosion. De små lerflager kan være flyttet et stykke eller blot vippede. Under en kort transport ved man, at lerflager kan bevare deres kantede form, man betegner sådanne dannelser "intraformationale breccie". Ved længere transport afrundes flagerne, og der dannes lerrullesten. Sådanne findes overalt i lagserien på Helgoland, stedvis i tætte ophobninger.

7



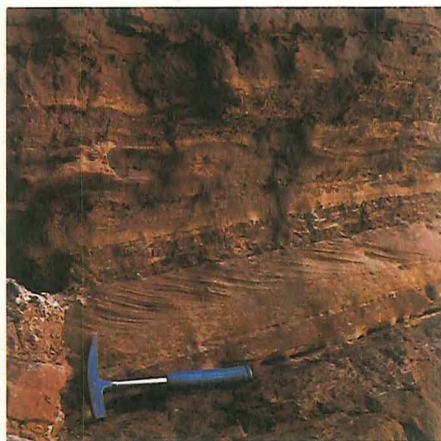
8

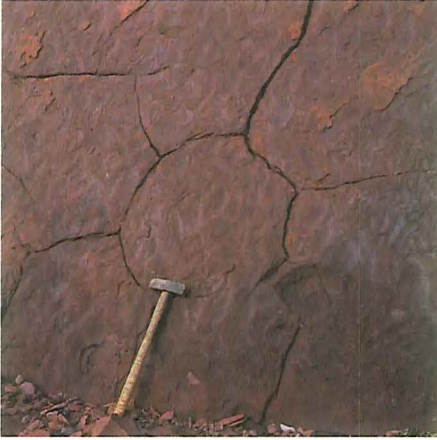
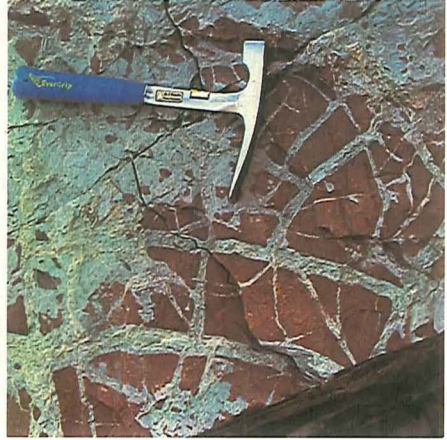


9



10



11**12**

Figur 7. Håndstykke af Buntsandstein. I dette tværsnit af lagene ser man lamination, strømribber, bølgeribber, "intraformational breccie" samt lyse reduktionspletter og -bånd.

Figur 8. Lagflade med flere generationer af strømribber samt tørresprækker.

Figur 9. Lagflade med grove strømribber overløjet af fine strømribber, som er orienterede vinkelret på de grove.

Figur 10. Tværsnit af "Katersand"-lag med skrålejring.

Figur 11. Tørresprækker i lagflade med uregelmæssige bølgeribber.

Figur 12. Lagflade med tørresprækker, som fremtræder meget tydeligt på grund af reduktionsfænomener (blegning) langs sprækkerne.

Figur 13. Håndstykke af Buntsandstein med en hulrumsudfyldning af kalkspat og malakit.

13

De her nævnte aflejningsstrukturer må selvsagt afspejle nogle væsentlige træk ved Triaslagenes dannelsesforhold. Øjensynlig har der været en stadig skiften mellem vanddækning og udtørring. I de vanddækkede perioder har strømningens retning hyppigt skiftet. Sådanne forhold kan umiddelbart lede tanken hen på nutidige vadehavsområder. Hvorvidt vi virkelig står overfor en triassisk vadehavsdannelse, må dog endnu anses for uafklaret. Det skal endelig understreges, at man ifølge lagenes røde farve kan antage, at aflejningsstedet har ligget i tilknytning til et ørkenområde.

Der er forskellige tegn på, at der efter aflejringen er foregået forandringer med materialet. I de røde bjergarter findes der således pletter, partier og uregelmæssige horisonter med grønlig farve. Dette tages som udtryk for, at der er sket en reduktion af de oprindeligt tilstedeværende, røde jernforbindelser. Andre fænomener er ansamlinger af kalkspat, rød kobbermalm, gedigen kobber, malakit og andre kobberforbindelser i hulrum i bjergarten. Disse forekomster tyder på, at der er sket en opløsning, transport og genudfældning af sådanne materialer ved at vandige opløsninger har sivet gennem lagserien.

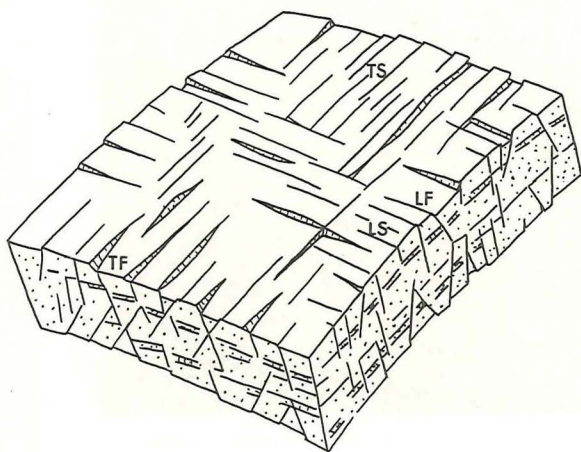
LAGSERIENS DEFORMATION

Helgoland udgør i virkeligheden kun de højest opragende partier af en højdestruktur eller ophvælvning i undergrundslagene. Dette kan blandt andet ses af det geologiske kort (figur 1), som oplyser om lagenes beliggenhed.

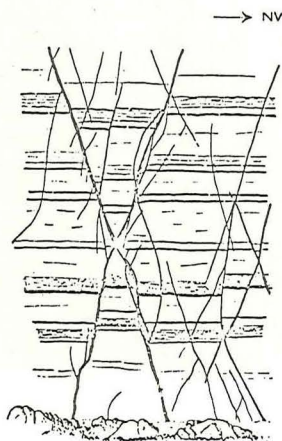
Det fremgår, at Triaslagene ved Helgoland hælder 16° til 20° mod nordøst og øst. Denne ret regelmæssige laghældning afbrydes cirka 600 m sydvest for øen af en forkastningszone. Langs denne er den vertikale for-sætning så stor, at Øvre Kridt er i niveau med Nedre Buntsandstein. I selve forkastningszonen er Permsaltet, der udgør kernen i strukturen, trængt højt op. Forkastningen opdeler højdestrukturen i to ulige store dele, nemlig en lille vestlig og en større østlig del.

Dette var kortets oplysninger, men også ved at færdes langs Helgolands fjeldvægge kan man se spor efter deformationer af lagserien. Den østlige eller nordøstlige hældning er allerede nævnt. Desuden ses sprækkezoner og mindre forkastninger. Sprækkerne kan inddeles i forskellige typer. Ved langssprækker forstås sådanne, som med en hældning på cirka 70° mod sydvest følger Triaslagenes strygningsretning (nordvest-sydøst). Da lagene hælder cirka 20° mod nordøst, står disse sprækker altså vinkelret på lagfladerne. Ved vest- og nordkysten ses mange lodretstående tvær-sprækker, som skærer langssprækkerne under næsten rette vinkler. Andre sprækker er skråtstillede, disse ses i nogle tilfælde at skære hinanden i X-formige systemer. Forkastningerne følger samme retninger som sprækkerne. Som regel er forskydningerne små, almindeligvis ikke over 1 m. Den største forkastning, der kendes på Helgoland, har en springhøjde på cirka 35 m.

Hvor man ser skråtstillede forkastninger, bemærkes, at der i alle tilfælde er tale om normal forkastninger. En oversigt over disse sprække- og forkastningssystemer er vist i blokdiagrammet figur 14. Detaljer vedrørende X-formige systemer er illustreret i figur 15 og 16.



Figur 14. Blokdiagram af et udsnit af Helgoland visende forekomster af langssprækker (LS), langsforkastninger (LF), tværsprækker (TS) og tværforkastninger (TF).

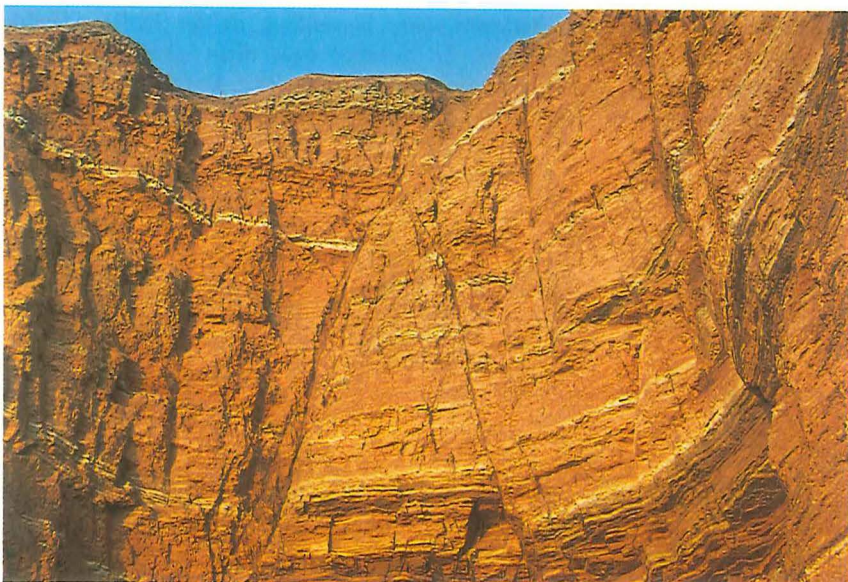


Figur 15. Skitse af fjeldside med X-formigt forkastningssystem.

Disse sprække- og forkastningsstrukturer er utvivlsomt opstået som følge af en udvidelse af lagserien. Da en udvidelse netop vil gøre sig gældende i en lagserie, der udsættes for et opadrettet tryk, er det naturligt at forestille sig, at de er opstået i forbindelse med højdestrukturens dannelse, altså som et resultat af saltbevægelserne i undergrunden.

Et spørgsmål, der naturligt melder sig, er: Hvornår opstod Helgoland-højdestrukturen ?

Det, at aflejringer fra Øvre Trias samt Jura mangler, kunne lede til den antagelse, at bevægelserne var sket i disse tidsafsnit. En sådan formodning kan dog ikke bekræftes, da Kridttidens aflejringer ser ud til at hvile uden vinkeldiskordans på Muschelkalklagene. Kridtlagene er ret tynde, og de indeholder flere konglomeratzoner. Dette kan tyde på, at området har ligget ret højt, medens kridtlagene blev aflejret. Strukturdannelsen er derfor muligvis begyndt dengang, men da disse lag indgår i strukturen, må hovedfasen i saltopskydningen falde senere, antagelig i Tertiærtiden.



Figur 16. Forkastninger, der danner en del af et X-formigt system.

HELGOLAND UNDER TERTIÆR- OG KVARTÆRTIDEN

Går man ind for den opfattelse, at Helgoland-strukturen er dannet i Tertiærtiden, er det nærliggende også at forestille sig, at havet allerede dengang begyndte at erodere i de opdykkende undergrundslag.

Af tværprofilet figur 3 ses, at overfladen af Helgoland er en næsten plan flade, beliggende cirka 50 m over havniveau. Denne flades form minder om den brændingsterrasse, nutidens Nordsø har skåret ud omkring Helgoland. Den tanke er da nærliggende, at den høje flade ("Oberland") er en lille rest af en brændingsterrasse udformet af den tertiære Nordsø. Der er imidlertid også tegn på, at Kvartærtidens processer har spillet en rolle.

Man ved, at indlandsisen i to af Kvartærtidens nedisningsperioder (Elster og Saale) har dækket området. Forekomster af grundfjeldsblokke af skandinavisk herkomst må sættes i forbindelse med disse begivenheder. Under nedisningerne må man regne med, at grundvandet har været frosset. Dette kan have betydet, at der i hovedforkastningen sydvest for Helgoland kan være sket en opstigning af salt uden at dette er blevet opløst af grundvandet. I den efterfølgende varmeperiode (interglaciertid) kan en omfattende saltopløsning have fundet sted med en indsynkning over opbrudsstedet som følge. Den langstrakte rende ("Gürtel"), man i dag træffer i havbunden på det sted, hvor hovedforkastningen er lokaliseret, menes netop opstået på denne måde.

Fra historisk tid har man flere kortfremstillinger, som kaster lys over ændringer i Helgolands udseende gennem de senere århundreder. Det fremgår således, at de to øer har udgjort et sammenhængende hele, samt at der på nordsiden af den nuværende klitø ("Düne") har været et klippeparti ("Witte Kliff"), hvor Muschelkalk var blottet. Under danske-tiden blev der fra det 15. århundredes begyndelse brudt kalk og gips på dette sted.



Figur 17. Helgoland 1649.

Da man omkring år 1700 havde fjernet det meste af klinten, havde man også fjernet en naturlig kystsikring. Resultatet udeblev ikke. I 1711 tog havet resten af "Witte Kliff" og få år senere, ved nytårstid 1720, tog det under en stormflod tangen, der forbandt de to øer. For omfanget af denne erosion har menneskets indgreb øjensynlig spillet en afgørende rolle.

Også fra de seneste tider møder man spor af menneskeskabt erosion. "Oberland" er således tæt arret efter englændernes bombninger i årene 1947-52, og fra samme tid stammer også "Mittelland", et kæmpemæssigt krater opstået ved bortsprængningen af de underjordiske forsvarsanlæg.

I dag er Helgoland et fredeligt sted, som gæstes af mange, og der kan være mange grunde til at gæste Helgoland. For en geolog kan øens brogede fortid være grund nok.

