

Bauxit i Ghana.

Morten Olsson

Denne artikel fortæller om den mineralogiske og kemiske udvikling igennem et forvittringsprofil i en bauxitmine ved Awaso i det sydvestlige Ghana.

Bjergarten bauxit blev navngivet i 1821, da den franske kemiker P.Berthier opdagede den aluminiumholdige malm i den sydfranske by Les Baux i Provence. Bauxit består hovedsagelig af mineralet gibbsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) og i mindre grad af mineralerne goethit (FeOOH) og diaspor $\text{AlO}(\text{OH})$.

Aluminium udgør lidt over 8 vægtprocent af jordskorpen og er dermed det mest udbredte metal i den yderste del af jordkloden. Det har dog kun været kendt i forholdsvis kort tid, idet det blev opdaget i 1809, og første gang fremstillet af H.C.Ørsted i 1825.

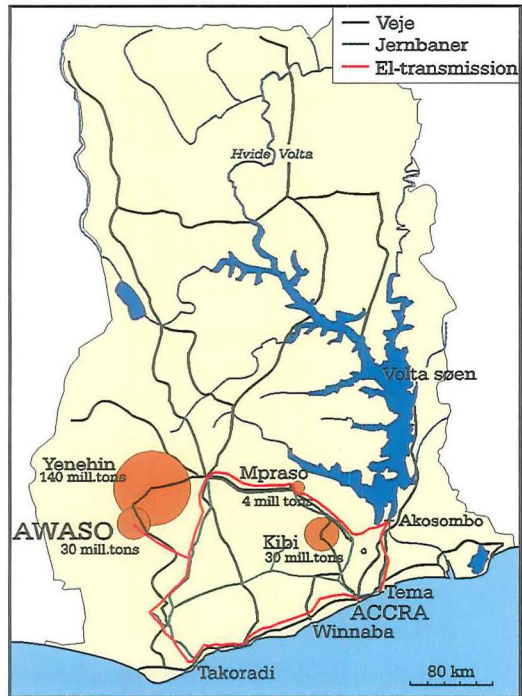
Ghana er et af de vestafrikanske lande, der er rigt på mange råstoffer og heriblandt også på bauxit. I 1914 opdagede man for første gang bauxit i Ghana, dog i ret små mængder. I 1921 blev der fundet store forekomster omkring byen Awaso i den sydvestlige del af landet. Under anden verdenskrig påbegyndtes en brydning i stor skala, da de allieredes hovedkilde i Les Baux i Frankrig blev lukket. Bauxiten i Awaso blev brudt med hakke og skovl af 5000 mand og båret i spande på hovedet ned til lastbiler, hvorfra der var godt 80 km til jernbanen og derpå 200 km til havnen (se figur 1). I 1944 lå eksporten på mellem 200.000 og 250.000 tons.

I dag kendes fire store forekomster i Ghana, men det er kun ved Awaso, bauxiten bliver brudt. Bauxiten findes her i fem plateauer, der ligger 300 - 600 meter over havet og 100 - 400 meter over det omgivende terræn. Udgangsmaterialet er en metamorfoseret lerbjergart, phyllit, fra Prækambrium. I udgangsbjergarterne findes nogle steder pyrit, der ved oxidation danner svovlsyre, og det menes, at syren medvirker til desilicifisering af mineralerne (se senere) og dermed til bauxitdannelsen. Ovenpå phylliten ligger et lag rigt på lermineralet kaolinit, derpå et op

til 20 meter tykt lag bauxit af varierende lødighed og øverst et jordbundslag på ca. 2,5 meter.

Bauxitforekomster dannet udfra metamorfe bjergarter findes ved mange andre lokaliteter, og er især dannet i visse perioder af Tertiær-tiden. Klimaet var varmere og mere fugtigt (humidt) end i nutiden. Der blev dannet meget bauxit af prækambrisk grundfjeld i Afrika, Australien, Sydamerika og Sydøstasien.

Figur 1. Kort over Ghana. Bauxitforekomsternes produktion er angivet i mill. tons.



Der skelnes mellem to typer bauxit udviklet på grundfjeld, nemlig slope-typen, der danner linseformede aflejringer på skråninger, og plateau-typen, der danner tykke kapper af bauxit ovenpå højtliggende plateauer. Bauxitaflejringerne i Ghana hører alle til sidstnævnte type, idet de er knyttet til erosion af gamle peneplaner, og optræder som 'tæpper' på de flade bakketoppe. Bauxitforekomsterne i Ghana er alle ved den tropiske forvitring bygget op fra bund til top på følgende måde (se også figur 2):

Udgangsmateriale => overgangszone => bauxit => jorddække.

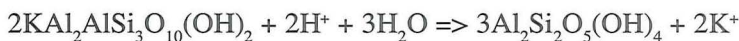
Bauxit hører til den type af forekomster, der er dannet ved ydre geologiske processer. Disse processer foregår på jordoverfladen, og for dannelsen af bauxit er der især tale om forvitring på stedet af bjergarter med regnvand som nedbrydende reagens. Generelt fortalt reagerer jordoverfladens bjergarter med ilt og regnvand, overfladevand og grundvand. Ved forvitring af de bjergartsdannende silikatminerale dannes forskellige lerminerale - smectit, vermiculit, illit og kaolinit - alt efter udgangs-

materiale og klima (d.v.s. temperatur og fugtighed) samt udvaskning. Forvitringen forløber hurtigere og mere fuldstændigt, jo varmere og fugtigere klimaet er, og slutproduktet i de humide troper er jern (Fe)- og aluminium (Al)-oxider.

Hvis glimmermineralet muskovit er en del af udgangsmaterialet kan forvitringen ske i form af hydrolyse, dvs at mineraler nedbrydes under indflydelse af brint (H⁺)- og hydroxyl (OH⁻)-ionerne fra vand. Man kan opstille følgende udvikling:



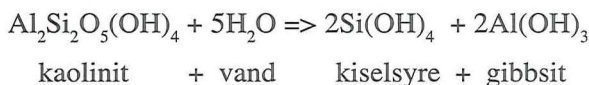
Reaktionen fra muskovit til kaolinit på formel ser således ud:



Hydrolysen bevirker en såkaldt kaolinisering, idet bjergarternes mineraler afgiver ioner som calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), kalium (K⁺) og natrium (Na⁺), som erstattes af brintioner (H⁺). På grund af de høje temperaturer sker der samtidig en såkaldt desilicifisering fra illit og smectit, idet Si også afgives, hvorved illit og smectit nedbrydes til lermineralet kaolinit, der er meget almindeligt i de røde tropejorde.

Under mere tørre (aride) tropiske og subtropiske betingelser vil hydrolysen være mindre gennemgribende, og smectit vil i mange egne være slutproduktet og resultere i sorte tropejorde.

I de humide troper og subtroper bliver jern og aluminium efterhånden relativt beriget, idet de danner så tungt opløselige oxider og hydroxider, at de tilbageholdes i selve forvittringszonen. Ved en vedvarende udvaskning vil silicium-koncentrationen sænkes, hvorefter kaolinit bliver ustabil og nedbrydes til gibbsit og kiselsyre, hvilket følgende formel illustrerer:



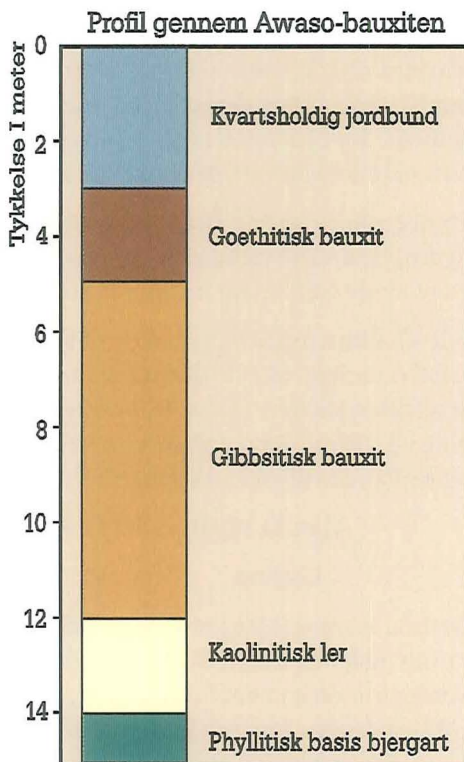
Dette er en meget langsom nedbrydning, og først når silicium-indholdet i jordvandet er tilstrækkelig lavt dannes gibbsit. Ved højere silicium-koncentrationer er kaoliniten stabil, og nedbrydes derfor ikke yderligere. Gibbsit dannes generelt hurtigere af basiske bjergarter (SiO₂ = 45-52%, f.eks. gabbroer) end af sure (SiO₂ > 66%, f.eks. graniter).

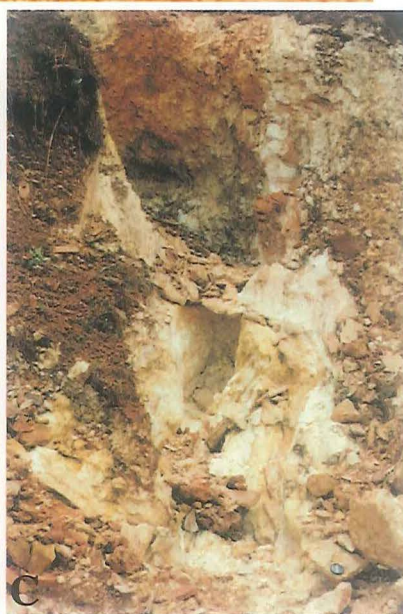
Der findes ikke en entydig definition af bauxit. Bauxit bliver dog ofte defineret som en bjergart i forvittringszonen med så meget aluminium, at det er økonomisk rentabelt at udvinde den, d.v.s. ikke mindre end 45-50% aluminiumoxid (Al_2O_3), ca. 20% jernoxid (Fe_2O_3) og ca. 3-5% silikater. Et andet krav til et materiale, for at det kan kaldes bauxit er, at den mængde Al_2O_3 (alumina), der kan fremstilles i raffineringprocessen, er 32% eller mere. Det skal her bemærkes, at der går fire til syv tons bauxit til at producere to tons alumina, og heraf kan der fremstilles ca. et ton ren aluminium.

Forfatteren har til kemiske undersøgelser udtaget og hjembragt prøver fra et forvittringsprofil fra minen i Awaso (figur 2). Prøverne er indsamlet for hver hele meter, og deres mineralogiske sammensætning er bestemt ved røntgendiffraction.

Nederst i det undersøgte profil indeholder den forvitrede phyllit noget kaolinitisk ler, som lidt højere oppe i profilet udgør det dominerende mineral. Herefter kommer den egentlige bauxit, der mellem 5 og 12 meters dybde hovedsagelig er gibbsitisk sammensat, dog med en del goethit i 9 meters dybde. Mellem 3 og 5 meters dybde er der udover gibbsit også en del goethit, hvorfor det i figuren er angivet som goethitisk bauxit. De øverste tre meter består af et jordbundslag med kaolinitisk ler og lidt goethit.

Figur 2.



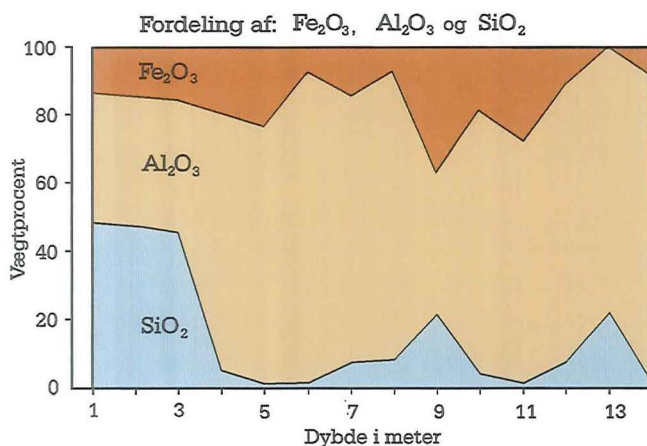


Figur 3. A) Nærbillede af bauxiten. B) Flammet bauxit. De røde og gule farver bruges som lødighedsindikatorer. Gule farver indicerer lidt jern og dermed meget aluminium. C) Nærbillede af overgangen mellem det phyllitiske udgangsmateriale og bauxiten.

Bauxitens lødighed varierer en del med dybden, hvilket kan ses i figur 3 og 4. Visuelt er det også tydeligt, idet bauxiten har forskellige flammede farver i profilet. Omtrent midt i profilet bliver dette klart mere gult med et lavere Fe-indhold og dermed et højere Al-indhold. Længere oppe er farverne mere røde på grund af et større indhold af jernoxider. I den øvre del af profilet er der også bleggrå pletfarver af varierende størrelse, hvilket peger på et større SiO_2 -indhold og dermed dårligere kvalitet af bauxiten.

Under bauxitten ligger kaoliniten som linser af varierende tykkelse og i bunden af overgangszonen (til phyliten) er der en ret skarp overgang til mørkerøde og sorte farver.

Der er udført kemiske analyser ved røntgenfluorescens af de fire dominerende grundstoffer aluminium (Al), jern (Fe), silicium (Si) og titanium (Ti) på de hjembragte prøver.



Figur 4.

Det fremgår, at indholdet af silicium falder markant fra over 40% i tre meters dybde til godt 3% allerede i fire meters dybde. Det høje indhold i toppen kan bl.a. skyldes, at fordampning fra jord og planter bevirker en opadgående bevægelse af grundvandet i den øverste zone, og dermed forbliver koncentrationen af silicium (SiO_2) så stor, at kaoliniten er stabil. Nede i bunden af profilet stiger Si-indholdet igen på grund af det kaolinitiske ler. Stigningen kan måske også skyldes, at kaoliniten ikke er

omdannet til gibbsit eller der har været en dårligere udvaskning af det gennemsvivende vand, der så har forårsaget en resilicifisering af gibbsiten og gendannelse af kaolinit. Mønsteret er velkendt fra mange andre bauxitforekomster af lignende type.

Titanium-oxid (TiO_2) har et ensartet forløb ned igennem profilet med værdier mellem knap 1% og lige over 5%. Titanium kan beriges relativt ved fjernelse (udludning) af andre stoffer eller absolut ved nedsivning og udfældning som konkretioner i forvittringsprofilet, og en berigelse på flere hundrede procent er ikke ualmindelig. Aluminium og titanium har en ensartet geokemisk optræden, d.v.s., hvor der er meget aluminium er der ofte også meget titanium. Titanium er et vigtigt biprodukt ved udvindingen af aluminium.

Figur 4 viser, at aluminium (Al_2O_3) har et noget nær modsatrettet forløb i forhold til silicium (SiO_2). Mellem tre og fire meters dybde stiger indholdet brat fra ca. 35 til ca. 55% og forbliver på et højt niveau indtil 9 meters dybde, hvor indholdet af aluminium falder til ca. 32%, for derefter at stige igen. Dette mønster kan hænge sammen med dræningsforholdene i profilet. Under humide tropiske forhold og med jordvand, der ikke er for surt, gælder det generelt, at ved en bedre dræning bliver mere silicium udvasket og relativt mere aluminium bliver tilbage som et residualprodukt. Aluminium og silicium har således en modsatrettet geokemisk optræden.

Jernindholdet (Fe_2O_3) ses at være lavere end indholdet af aluminium ned igennem profilet. Det kan skyldes, at udgangsmaterialet oprindeligt har indeholdt små koncentrationer af jern, men det kan også skyldes de klimatiske forhold. I regntiden vil iltrykket være lavere i jorden, og Fe^{3+} -oxider er under disse betingelser ikke helt så tungtopløselige som aluminium-oxiderne og udvaskes derfor hurtigere som opløste Fe^{2+} -ioner (Fe^{2+} er letopløseligt). Det fremgår ligeledes af figur 4, at jern-indholdet stiger, når aluminium-indholdet falder, hvilket igen kan skyldes de førnævnte udvaskningsbetingelser.

Aluminium-, jern- og silicium-oxider er normalt de tre kemiske forbindelser, der er mest af i bauxit. Derfor sammenholder man tit fordelingen af de tre oxider ned igennem et forvittringsprofil, for at vurdere bauxitens

lødighed. Sammenholdt med andre forekomster af samme type fremgår det, at Awasobauxiten er af meget fin kvalitet, og efter mineledelsens udsagn er det minens styrke, fordi det er en relativt lille forekomst. Den høje kvalitet bevirker, at en stor del af bauxiten udover til fremstilling af aluminium bruges til fremstilling af over 200 forskellige produkter, f.eks. tænderør, glaslinser, tandpasta, porcelæn, brandresistent skum og slibemiddel i form af pulver som dannes ved knusning af glødet bauxit. I forbindelse med sidstnævnte skal det nævnes, at hårdheds-skalaens trin nr.9 er mineralet korund, der er Al_2O_3 . Det meget hårde og ildfaste materiale viser sig at være velegnet til brug i olieindustrien som 'pløkke' til at lave sprækker i dybtliggende bjergarter. Bauxit bliver også brugt i fremstilling af cement, hvor der ønskes en hurtig udtørring og modstandsdygtighed overfor forvitring fra f.eks. kontakt med saltvand.

Udvindningen af metallet aluminium er meget energikrævende. Metallet udvindes af aluminium-oxid i smelter med kryolit og F, der sænker smeltepunktet fra ca. 3000°C til ca. 1000°C. Tidligere stammede alt anvendt kryolit fra den nu udtømte mine ved Ivigtut i Grønland, men nu fremstilles det kunstigt. Læs mere om Ivigtut minen i det kommende VARV (1998,1).

Aluminium er et let metal med massefylden $2,7\text{ g/cm}^3$ (mod jerns $7,9\text{ g/cm}^3$). Aluminium er ledende for el og varme (ca. 65% af kobbers ledningsevne). Det er det billigste af de ledende metaller og bliver hyppigt brugt til højspændingsledninger. Overfladen oxiderer meget let, og aluminium bliver ikke brugt som ledninger i husstande, da oxidlaget kan danne modstand ved samlinger og kontakter, og opvarmningen skaber risiko for brand. Aluminium er modstandsdygtigt overfor korrosion, og det bruges derfor også i gryder, konservesdåser og folie. Aluminium anvendes i det hele taget, hvor man har brug for et stærkt og let metal. f.eks i fly, biler, tog og værktøj.



Figur 5. Bauxiten er stedvis meget hård og må derfor sprænges med dynamit som her i Awaso.

Reserverne, der er den velkendte del af ressourcerne, der kan udnyttes med økonomisk fordel, var globalt i 1989 på ca. 20 milliarder tons, mod godt 6 milliarder tons i 1965 og 1 milliard tons i 1945. Ressourcerne er antagelig på ca 75 milliarder tons, og heraf brydes der årligt ca. 80 millioner tons på verdensbasis. Så der er aluminiummalm til mange års forbrug endnu. De største bauxitforekomster findes på Guinea, Australien, Jamaica og Brasilien, men der bliver brudt bauxit i mange andre lande, bla. som nævnt i Frankrig. Ghana er det attende-største bauxitproducerende land. Den totale produktion sættes til ca 300.000 tons, med en anslået reserve på ca. 30 millioner tons i Awaso.

I slutningen af anden verdenskrig blev der etableret et jernbanespor fra Awaso til den eksisterende jernbane, hvilket lettede transporten betragteligt (se kortet, figur 1). Den ene af de førnævnte fem toppe er udtømt, og i dag er man igang med nr 2. Selve bruddet er også moderniseret, og i dag bliver bauxiten brudt på næsten samme måde som i en dansk grusgrav.

Malmen graves med gravkøer, læsses på lastbiler og køres til en

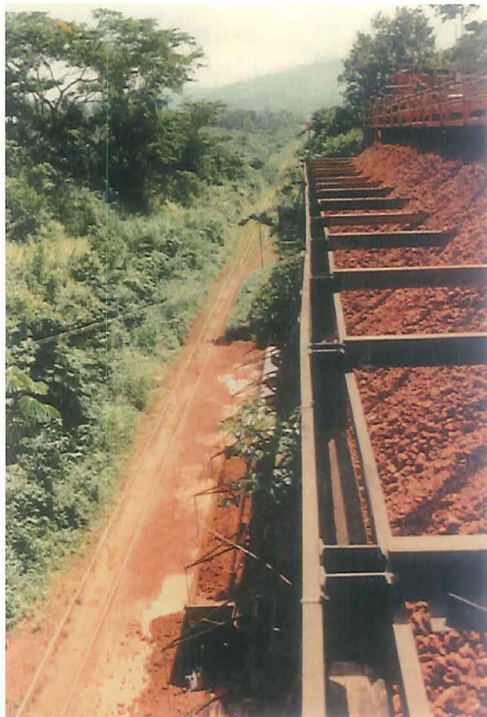
knusemaskine stående på plateauet. Her knuses malmen i tre omgange, hvorefter den på et 2,2 km langt bælte sendes ned til jernbanen. Der kører specielle godstog døgnet rundt. En transport udgøres af 30 togvogne, hver med 25 tons malm. Det er togkapaciteten, der er det begrænsende led i produktionen, hvilket bl.a. skyldes upålidelige lokomotiver. Dette til trods for, at der kun bliver arbejdet 8 timer i selve minen.

Figur 6. Inden malmen tippes ned på vognene, bliver den skyllet med kaustisk soda (NaOH) for at fjerne ler og dermed reducere indholdet af silicium.



Malmen køres de godt 240 km til havnebyen Takoradi, hvorfra ca 50% bliver sendt til en virksomhed i Skotland og resten til andre virksomheder. Politisk uro og tekniske problemer gjorde, at der fra slutningen af 70'erne til begyndelsen af 80'erne, kun blev eksporteret lidt over 50.000 tons årligt, men i 1992 var eksporten steget til knap 340.000 tons årligt. Der er indgået aftaler om, at lødigheden skal være på mindst 52% Al_2O_3 , med max 2% SiO_2 , 2% TiO_2 i gennemsnit og max 18% Fe_2O_3 . Da de midterste lag i profilet har en højere lødighed, iblander man bauxit fra de mere Si-holdige lag højere i profilet og holder derved lødigheden på 52%. Herved minimeres tillige restprodukterne fra brydningen.

Det skal afslutningsvis nævnes, at den uforarbejdede bauxit fra Awasominen bliver eksporteret til Europa. Det amerikanske firma



VALCO (Volta ALuminium COmpany) fremstiller aluminium i den ghanesiske havneby Tema. VALCO henter bauxiten fra sit eget bauxit-brud i Jamaica og forarbejder den i Ghana med meget billig strøm fra verdens største kunstige sø, Lake Volta.

Byggeriet af dæmningen ved Lake Volta blev delvis finansieret af VALCO midt i tresserne. Som led i finansieringen blev der indgået aftale om levering af strøm fra dæmningen til smeltning til særligt lave priser.

Figur 7. For foden af plateauet tippes malmen ned på et specielt godstog, der døgnet rundt kører ud til havnen i Takoradi.

VALCO-smelteværket bruger ca. 70% af den strøm, der produceres fra turbinerne i dæmningen. Det producerede aluminium sendes til fabrikker i USA, hvorfra det bliver solgt som færdige produkter til bl.a. Ghana! Dette til trods for, at der kun er ca. 300 km fra Takoradi til Tema med jernbanespor. Det er således ikke et praktisk problem, der vanskeliggør eller forhindrer opbejdningen af bauxit i Ghana. Der er desuden i de andre store bauxitforekomster forholdsvis let tilgængelige reserver på ca. 180 millioner tons. Den ghanesiske regering prøver i dag at få en bedre pris for strømmen og samtidig levere bauxit til smelteværket i Tema. Men VALCO holder fast i den oprindelige aftale, og afviser foreløbig køb af ghanesisk bauxit, hvis ikke strømmen fra dæmningen er billig nok.