



Poul Erik Lindelof

Oldowankulturens dateringsgrundlag



Opgave i kurset Europas og Verdens Arkæologi.

25.april 2010.

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	3
2. Gona, Etiopien	3
2.1 Geografi	3
2.2 Stratigrafi	4
2.3 Gonas stenredskaber	6
3. Datering af Gona	7
3.1 Hvordan dateres så gamle fund?	7
3.2 ^{39}Ar - ^{40}Ar metoden (Tidligere ^{40}K - ^{40}Ar metoden)	7
3.3 Resultat af Ar-Ar datering i Gona	13
3.4 Datering i Gona ved palæomagnetisme	14
4. Ain Hanech, Algier	17
4.1 Slutningen af Oldowan	17
4.2 Geografi	18
4.3 Stenredskaber	19
4.4 Flora og fauna	19
5. Datering af 18 redskabsfund fra Oldowankulturen	22
6. Oldowan, hvor skal det placeres i kulturhistorien?	23
5.1 Den kaledoniske krage	
5.2 Forskellen mellem mennesker og dyr	26
7. Konklusion	28
A. Appendiks	29
A.1 ^{238}U - ^{207}Pb og ^{235}U - ^{206}Pb datering	29
A.2 Termoluminescens	30
A.3 Elektron Spin Resonans (ESR)	32
A.4 Biologiske metoder	34
Litteratur	36
Abstract (engelsk)	40

Billedet på forsiden af denne opgave.

Foto fra Entabeni i Limpopo-provinsen, Sydafrika. Entabeni ligger øst for de vulkanske foldebjerger, der løber ned langs Østafrika. Landskabet er savanne gennembrudt af fugtige dalstrøg, søer og floder, ligesom det landskab de fleste homininer befolkede for flere millioner år siden. (Foto: Lisbet Lindelof).

1. Indledning

”New Archaeology” blev lanceret omkring 1950-60 [Binford 1962]. Det var en reaktion på den induktive arkæologi, der beskrev det forhistoriske på basis af fundene alene. ”New Archaeology” foreslog, at man indførte naturvidenskabelige metoder, hvor deduktion fra løst funderede ideer blev afprøvet ved naturvidenskabelige undersøgelser. ”New Archaeology” var bl.a. inspireret af C-14 metodens opdagelse i 1951 [Libby 1951]. Oldsagssamlinger og deres typologier spiller dog stadig en vigtig rolle (f.eks. i Københavns Universitets basiskurser ADN1-4).

Et interessant eksempel på skiftet i arkæologiens metoder er de to bøger af henholdsvis Louis og Mary Leakey [Leakey 1936; Leakey 1971], der handler om de samme fund i Olduvaikløften i Østafrika. Siden 1971 er der i denne tidligt palæolitiske periode gjort yderligere store opdagelser, der har revolutioneret vores viden om de allertidligste hominiders antropologi og deres materielle kultur.

Den tidligste menneskelige materielle kultur er defineret ud fra typen af de første stenredskaber og kaldes Oldowankulturen, et navn foreslået af Louis Leakey allerede i 1936 [Leakey 1936]. Leakey’erne fandt både stenredskaber og antropologiske fossiler af hominider. Det har imidlertid endnu ikke været muligt at forbinde bestemte fund af stenredskaber med fund af fossiler af hominider ved disse og efterfølgende udgravninger.

Denne opgave handler om dateringsgrundlaget for de fund af stenredskaber, der p.t. klassificeres som Oldowankulturen. Jeg har altså ikke medtaget de antropologiske fund, der er samtidige, men ude af kontekst. Jeg har udvalgt 2 fundsteder med forskelligt dateringsgrundlag og fra henholdsvis først og sidst i Oldowanperioden. Betydningen af stratigrafi og kontekst i forbindelse med dateringsmetoder håber jeg på denne måde bliver belyst.

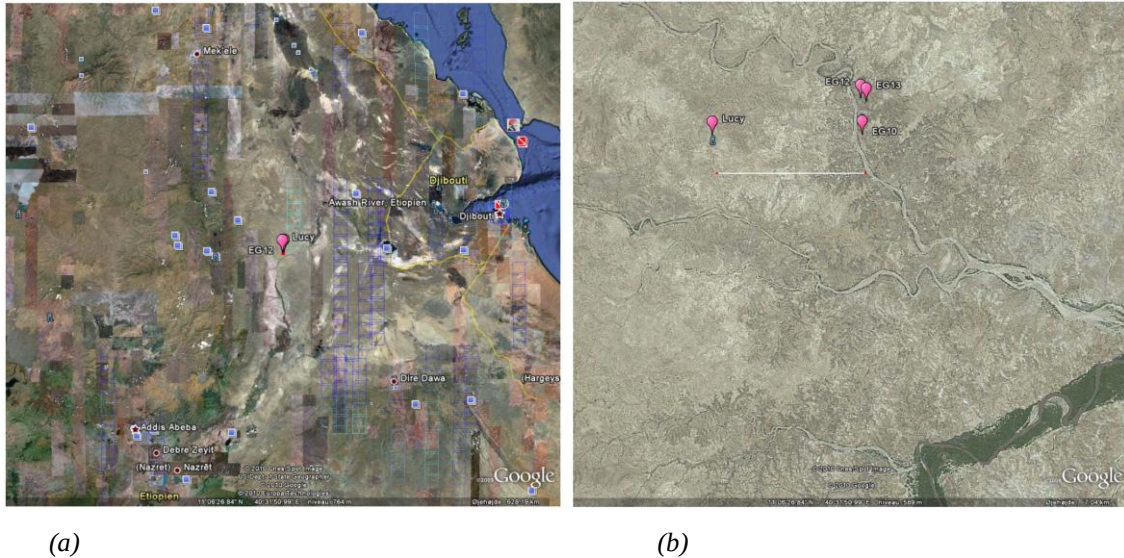
I et appendiks vil jeg omtale andre dateringsmetoder, der har været eller kan anvendes i Oldowanperioden.

2. Gona, Etiopien.

2.1 Geografi

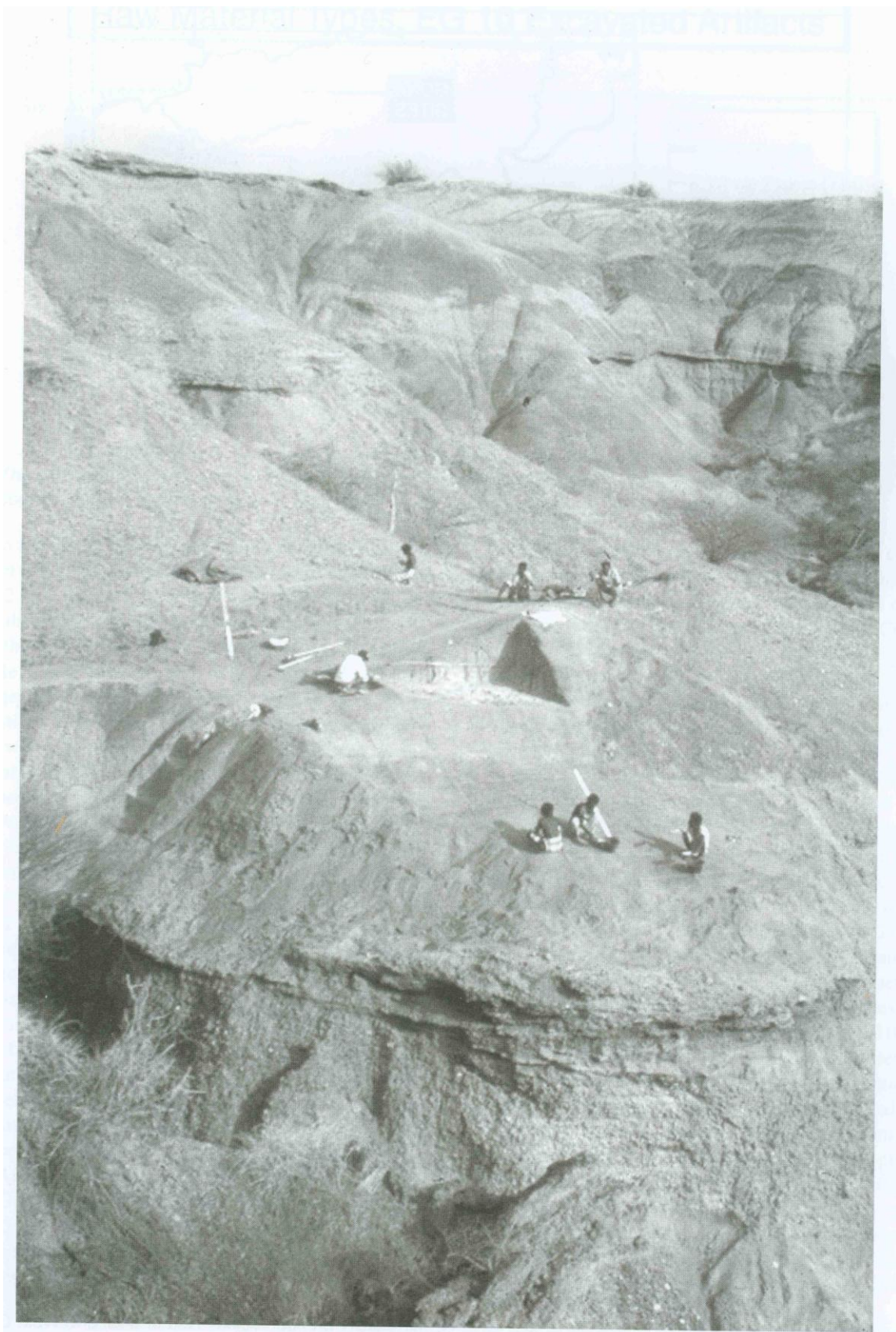
I de golde bjergegne ca. 100 km nordøst for Addis Abbeba i Etiopien er nogle af de tidligste fossiler af homininer (australopithecus og homo) fundet. Google-kortet figur

1(a) viser hele området, og den røde ballon viser det berømte fundsted ”Lucy” [Scarry 2005] med et næsten komplet fossilt skelet af en australopithecus (mennskeabe) dateret til at være 3.2 millioner år gammelt. Figur 1(b) zoom’er ind på dette område og viser yderligere 3 røde balloner i nærheden af lokaliteten Gona ved Kada Gona floden, og de repræsenterer fund af stenredskaber, der er 2.6 millioner år gamle, og som vi skal omtale i det følgende. Det er de tidligst daterede stenalderredskaber overhovedet på Jorden. Stedet, Gona, er ikke langt fra Nilens udspring.



Figur 1. Google kort. Den hvide streg er 2 km lang.

At fundet af stenalderredskaber ved Gona var det hidtil ældste blev rapporteret i Nature i 1997 [Samez et al. 1997], og en mere detaljeret artikel kom i år 2005 [Samez et al. 2005]. Udgravningerne fandt sted på østsiden af floden Kada Gona, kun 2 km øst for ”Lucy”’s findested. Kada Gona er i dag et næsten udtørret flodleje kun nogle få km nord for de frugtbare dale omkring den vandrige Awash flod, som man tydeligt ser som et grønt bælte på figur 1(b). I de østlige skrænter ned til Kada Gona ved de 3 lokaliteter EG10, EG12 og EG13 blev der fundet stenredskaber. Figur 2 viser et foto af udgravningerne ved lokaliteten EG10.

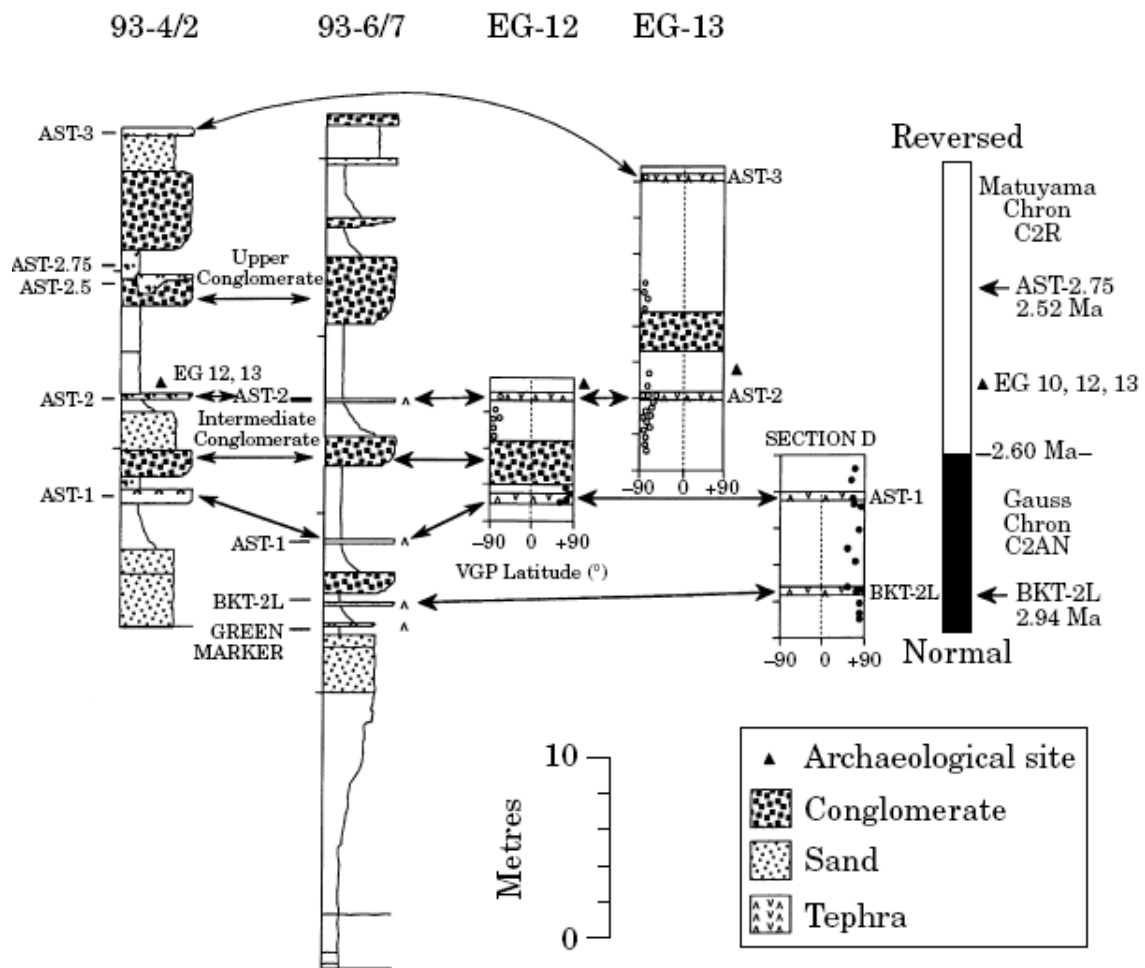


Figur 2.

2.2 Stratigrafi

Udgravningerne afslørede en meget tydelig lagdelt aflejring med en samlet tykkelse på 50 m. Man ser på figur 2, hvorledes udgravningerne blev udført på flere afsatser med

passende overløb. Profilerne af de enkelte udgravninger blev til sidst stykket sammen, således at man opnåede en kronologisk følge af de mange lag, som det ses på figur 3.



Figur 3.

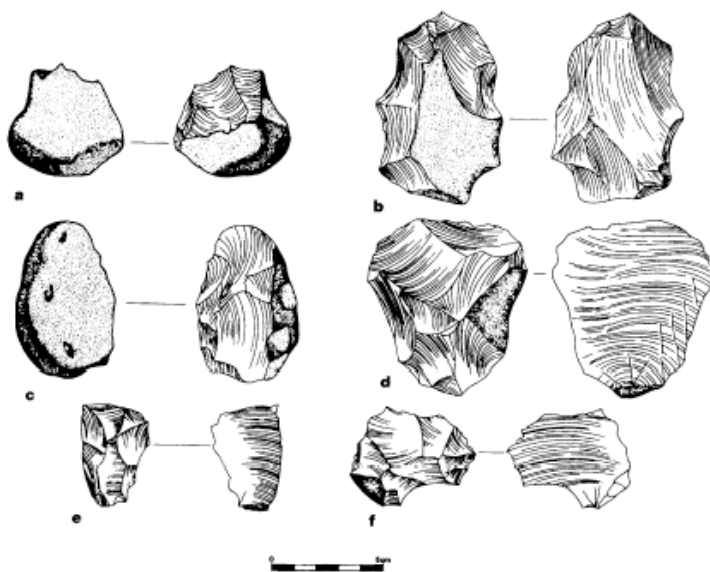
Der er udført 3 komplette gravninger, EG10, EG12 og EG13, med en fuldstændig lagserie (stratigrafi), og hvor der er fundet et eller flere lag med stenredskaber. EG12 og EG13 ligger kun ca. 50 m fra hinanden og har de klareste arkæologiske lag. Fra samme område er der en gravning 4/2 1993 (med visse stenredskaber) og 6/7 1993 (uden stenredskaber). Der er endvidere en gravning D, der understøtter stratigrafien før redskabslagene. Alle udgravninger i forbindelse med EG12 og EG 13 er vist på figur 3.

De 50 m stratigrafiske lag er dannet ved aflejringer af vinden, i strømmende vand (sand eller konglomerat) eller ved nedfald af vulkansk aske (tuff, tephra). Askelag kan stamme fra vulkaner, der kan være meget lang borte, helt op til flere tusinde kilometer, så vi kan ikke stedfæste selve vulkanudbruddet. Flere lag er simple biologiske aflejringer (de hvide), der er dannet, mens området har været skov eller savanne. Det ses, at de arkæologiske aflejringer (markeret med udfyldte trekanten) er i de lag, der svarer til, at området har været skov eller savanne. Senere, ~100.000 år før nu, har Kada Gona floden ædt sig de 50 m ned gennem alle de stratigrafiske lag, som man ser på

figur 2. På de lodrette skrænter i forgrunden forneden i billedet ses de stratigrafiske lag tydeligt, og profilerne kan let tegnes op som vist i figur 3. Højere oppe skråner landskabet stejlt ned mod floden, og det er nødvendigt at foretage flere afgravninger for at få en lodret profil (som f.eks. der hvor arkæologerne sidder). Det er også på disse niveauer, at de arkæologiske fund er gjort. De 5 profiler, der er optegnet i figur 3, giver et komplet billede af stratigrafien. ”Green marker” svarer til en periode, hvor der har været en sø i området.

2.3 Gonas stenredskaber.

De tidligste stenredskaber, der er fundet i en stratigrafisk kontekst, er fra Gona i Etiopien. I figur 4 er afbildet 10 stenredskaber fra denne udgravning. De viste redskaber er kerner, hvorfra der er slået 5-10 afslag med en anden, nok blødere sten. Redskabsstenen er valgt i flodsengen ca. 5 km borte og er lavsten af typen trachyte og af kvarts, der er karakteriseret ved en meget finkrystallinsk struktur, således at slagfladerne er jævne, og de kanter, der opstår, når afslag mødes, er skarpe. Redskaberne er 5-10 cm store.



Figur 4. 10 skærende stenredskaber fra Gona (det arkæologiske lag EG10). [Asaw 2005]

Med de 5-10 afslag, der er brugt på kernerne i figur 4, er der opnået gode håndredskaber, som kan være våben, skrabere til skind eller knive til træ eller ben. Skæftning er der ikke tale om på dette tidlige trin af udviklingen. Det har været diskuteret [Schick and Toth 2006], om de tidligste stenredskaber kun er hugget på en side, men redskaberne fra Gona, der er de tidligste man kender, er faktisk i mange tilfælde hugget fra flere sider. På figur 4 er kun vist de kerner, hvorfra der er slået afslag eller flækker. Det er imidlertid givet, at også flækkerne har været brugt til f.eks. knive; det kan man se på sliddet på æggen.

3. Datering af Gona

3.1 Hvordan dateres så gamle fund?

En absolut bestemmelse af en arkæologisk alder kræver 3 betingelser opfyldt: (1) Dateringsmetoden skal være styret af en universel fysisk kronologi, (2) den arkæologiske hændelse skal indgå som startbetingelse, og (3) resultatet af den fysiske kronologi skal kunne måles. Det er kun henfald af radioaktive isotoper, der i dag giver mulighed for en absolut kronologi uden kalibrering.

Af disse isotoper er det kun ^{40}K og $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$, der kan opfylde alle 3 betingelser. Disse radioaktive isotoper henfalder til henholdsvis ^{40}Ar og $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ med lange halveringstider på 1250 millioner år og 4470/704 millioner år; dette er betingelse (1) for en absolut datering. En opvarmning nulstiller henfaldsprodukterne (vulkansk aske på fundområdet), alias (2), og forholdet mellem den radioaktive isotop og den stabile henfaldsisotop giver dateringstiden, alias (3). ^{238}U henfalder også ved fission med en halveringstid på 8200000 millioner år. Hver fission skaber voldsomme ødelæggelser i den krystal, ^{238}U sidder i, og de er lette at tælle, alias (1). Når krystallen dannes ved et vulkanudbrud eller udglødes ved anden opvarmning heles alle skader og af ødelæggelserne starter, alias (2), og tællingen (3) er et mål for dateringstiden. Alle disse absolutte metoder vil blive omtalt i det følgende.

Alle andre dateringsmetoder kræver en uafhængig kalibrering, der ikke kan forudsiges, men skal måles. ^{14}C er anvendelig til dateringstider under 50.000 år, men er f.eks. ikke absolut, da den kræver kendskab til intensiteten af den kosmiske stråling gennem tiderne. Det er derfor, man ofte opgiver to aldersbestemmelser ved ^{14}C -dateringer: BP (BP: Before Present; det er et ubearbejdet måleresultat) og Cal.BC (hvor måling af den delvis ukendte kosmiske stråling indgår i en kalibrering).

Den eneste anden dateringsmetode, der kan siges at være absolut, er måling af årringe i træer og iskerner, hvor en simpel tælling giver alderen af en årring. Der er udført tællinger i begge medier op til 14000 år. Iskerner på Antarktisk kan benyttes til dateringer op til 700.000 år, men ikke absolut og ikke så praktisk for arkæologien. I Oldowanperioden anvendes ofte palæomagnetisme og fauna, men de skal i sagens natur kalibreres, f.eks. ved argon-argon metoden. Jeg vil vende tilbage til disse og andre metoder (i appendiks A).

3.2 ^{39}Ar - ^{40}Ar metoden (tidligere ^{40}K - ^{40}Ar metoden)

^{40}K henfalder til ^{40}Ar (argon) og ^{40}Ca (kalcium) med den lange halveringstid på 1250 millioner år (^{14}C har en halveringstid på 5730 år), og det er takket været denne lange halveringstid og argons flygtige natur, at dateringsmetoden har vist sig så afgørende for kronologien i de tidlige palæolitiske perioder [Aitken 1990, Pearsall 2008].

Kaliums radioaktive henfald.

Kalium (K) har to stabile isotoper, ^{37}K og ^{39}K , og flere radioaktive isotoper, hvor den længstlevende har en halveringstid på 1.25 milliarder år og henfalder ved 3 forskellige kerneprocesser:

$^{40}\text{K} + e^- \xrightarrow{(\lambda_e=0.581 \cdot 10^{-10} \text{ år}^{-1})} ^{40}\text{Ar} + \text{lysudsendelse} + e^-$ (elektronindfangning)

$^{40}\text{K} \xrightarrow{(\lambda_e=0.581 \cdot 10^{-10} \text{ år}^{-1})} ^{40}\text{Ar} + e^+ + \gamma\text{-stråling/neutrino}$ (positronudsendelse)

$^{40}\text{K} \xrightarrow{(\lambda_\beta=4.962 \cdot 10^{-10} \text{ år}^{-1})} ^{40}\text{Ca} + e^- + \gamma\text{-stråling/neutrino}$ (β -henfald)

λ_e og λ_β er henfaldssandsynligheder for ^{40}K til henholdsvis ^{40}Ar og ^{40}Ca .

Den samlede henfaldssandsynlighed for ^{40}K er summen af de to sandsynligheder.

Halveringstiden $t_{1/2}$, der er den tid, det tager at halvere antallet af ^{40}K atomer, er givet ved udtrykket

$$t_{1/2} = \ln 2 / (\lambda_\beta + \lambda_e) = 1.25 \cdot 10^9 \text{ år}$$

Det hyppigste henfald af ^{40}K er til ^{40}Ca , og det sker ved et β -henfald med en totalenergi af elektron og neutrino på 1.46 MeV. Med 10 gange mindre sandsynlighed omdannes ^{40}K til ^{40}Ar ved to typer af processer. Positronudsendelsen akkompagneres af et 1.26 MeV γ -kvant plus en neutrino.

Ved alle absolutte dateringsmetoder skal den arkæologiske begivenhed starte en tælleprocess, som vi kan registrere i dag. Da arkæologien indtil videre kun interesserer sig for datering 2.6 millioner år tilbage i tiden, kan vi med stor nøjagtighed regne med, at ^{40}K har en konstant hyppighed i forhold til de andre stabile kaliumisotoper, da halveringstiden er $1.25 \cdot 10^9$ år. I hele Jordens levetid er hyppigheden kun faldet en faktor 4. En datering med ^{40}K kræver et tidspunkt i historien, hvor henfaldsproduktet ^{40}Ar pludselig er fjernet og starter med at akkumulere sig på ny. Argon forbinder sig ikke kemisk med det materiale, det dannes i, og sidder i små lommer i materialet. Opvarmes materialet, flytter argonatomerne rundt i materialet og undslipper til sidst ved overfladen. En fuldstændig afgivelse af argon til det omgivende vakuum kræver en temperatur på ca. 800°C , men afgivelsen sker gradvist og starter allerede ved omkring 200°C . Opvarmningen af materialet kan i bedste tilfælde være menneskeskabt, men i oldowankulturen er der intet, der tyder på, at homininerne har behersket ilden. Vi må derfor forlade os på tilfældige opvarmninger. Vulkansk lava eller aske er oplagte mål for en datering. Finder vi derfor stenredskaber indlejret mellem to vulkanske lag, kan vi sætte både en nedre og en øvre grænse for deres alder.

De allerfleste vulkanske stenarter indeholder kalium og er derfor egnede til datering. Ved at måle det vulkanske materiales indhold af ^{40}Ar og ^{40}K kan man vise, at vulkanudbruddet skete for et antal år, t_D , siden, hvor

$$t_D = (\lambda_\beta + \lambda_\epsilon)^{-1} \ln[1 + (\lambda_\beta + \lambda_\epsilon) ^{40}\text{Ar} / \lambda_\epsilon ^{40}\text{K}]$$

$^{40}\text{Ar} / ^{40}\text{K}$ er forholdet mellem tæthederne af de to isotoper. De øvrige symbolers betydning fremgår af indsættet ovenfor.

Det er en forudsætning for en vellykket datering, at alt argon er drevet ud af den vulkanske lavasten ved vulkanudbruddet, samt at alt argon, der siden er opsamlet ved henfald fra ^{40}K , er blevet i materialet, og at ikke andre processer eller en forurening har genereret argon. Denne forudsætning er ofte opfyldt. Dateringen er absolut i den forstand, at der ikke er andre kalibreringer eller tilpasningsfaktorer, der indgår i aldersbestemmelsen. Den meget lange halveringstid for ^{40}K betyder, at metoden er mest anvendelig for meget gamle scenarier, da der ellers vil blive dannet meget lidt argon. På 1000 år f.eks. er antallet af ^{40}Ar atomer i forhold til antallet af ^{40}K atomer således kun $0.581 \cdot 10^{-10} \cdot 1000 = 0.0581 \cdot 10^{-6} \sim 0.06 \text{ ppm}$. ^{40}K udgør 0.01% af alle kaliumisotoper, og er tætheden af kalium i lavamaterialet, f.eks. 1%, er koncentrationen af ^{40}Ar i materialet efter 1000 år kun $0.6 \cdot 10^{-12}$. Det er naturligvis en eksperimentel udfordring at måle så lille en koncentration af argon, men med moderne massespektroskopi er det faktisk muligt, og metoden har f.eks. været brugt til vikingetidskeramik.

Den indtil nu skitserede metode (og den der oprindeligt blev udviklet) kræver en måling af koncentrationen af både ^{40}K og ^{40}Ar . Da kalium og argon er kemisk meget

forskellig måde. Den neutronaktivering af ^{39}K ved neutronaktivering i en atomkernereaktor sker efter processen

Neutronaktivering.

Omdannelsen af ^{39}K ved neutronaktivering i en atomkernereaktor sker efter processen



hvor ^1_0n er en neutron og ^1_1p er en proton. ^{39}Ar har en levetid på 269 år.

Mængden af ^{39}Ar kan omregnes til mængden af ^{39}K i materialet ved at måle effektiviteten af neutronaktiveringen i et særligt eksperiment. Forholdet mellem koncentrationen af de forskellige næsten stabile kaliumisotoper er bestemt ved forholdene ved Jordens skabelse:

^{39}K : 93.26 %

^{41}K : 6.73 %

$^{40}\text{K}(\text{p.t.})$: 0.0117 % (henfaldstiden er 0.27 af Jordens alder)

På basis af neutronaktiveringens måling af koncentrationen af ^{39}K i det vulkanske materiale kan man ved forholdsregning bestemme koncentrationen af ^{40}K . Formlen til bestemmelse af alderen af det vulkanske materiale bliver

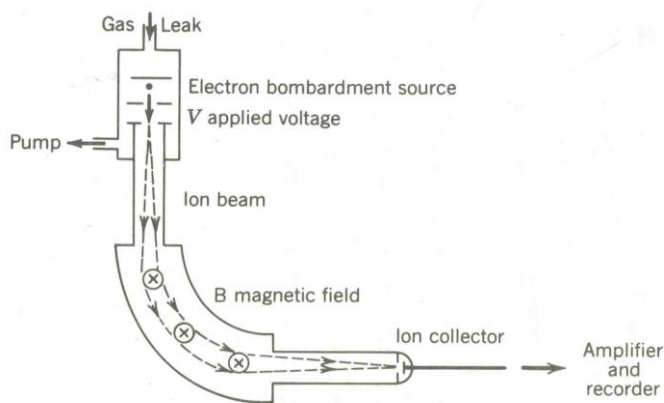
$$t_D = (\lambda_\beta + \lambda_\epsilon)^{-1} \ln[1 + (\text{Faktor}) ^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}],$$

hvor (Faktor) er en multiplikationskonstant, der er bestemt af de ovenfor skitserede kalibreringer.

Neutronaktiveringen foregår i en atomkernereaktor. Danmark har ikke længere en atomreaktor på Risø, men vi har f.eks. adgang til at bruge en i Zürich i Schweiz. Dateringsmålingen er derefter reduceret til at måle koncentrationsforholdet mellem to argonisotoper. Dette gøres ved hjælp af et massespektrometer.

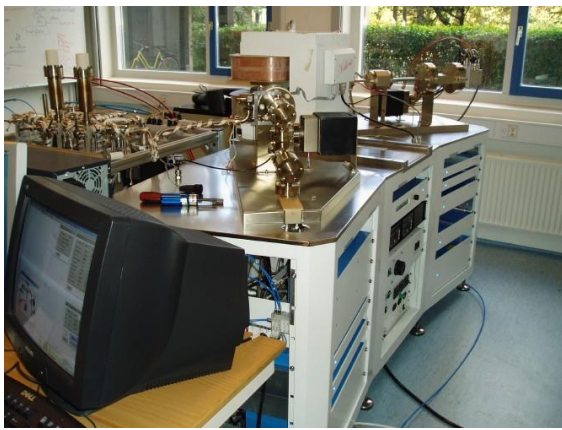
Massespektrometer.

Selve målingen af forholdet mellem koncentrationen af de to argonisotoper, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, bestemmes ved hjælp af et massespektrometer, som vist i principdiagrammet [figur 7](#). Metoden baserer sig på, at en ioniseret partikel (her en argonion) med en given hastighed v afbøjes i et magnetfelt B ved Lorentzkraften, $e \underline{v} \times \underline{B}$, hvor vektormultiplikationen $\times$ angiver, at afbøjningen af argonionen er vinkelret på hastighedsvektoren $\underline{v}$ og magnetfeltet $\underline{B}$. Da Lorentzkraften skal ækvivalere massen af argonionen ganget med dens acceleration (Newtons 2. lov), fås at argonionen afbøjes proportionalt med v og B . Afbøjningen er endvidere omvendt proportional med argonionens masse. Ved at måle afbøjningen af argonionens bane bestemmes altså masserne af ^{36}Ar , ^{37}Ar , ^{39}Ar , ^{40}Ar . Og endnu vigtigere, man adskiller isotoperne og måler, hvor mange der er af hver slags.



Figur 5. Massespektrometer.

Det komplette massespektrometer til argon-argon datering ses på fotoet [figur 8](#) fra Roskilde Universitet. Udstyret koster omkring 10 millioner kr. Det er kostbart, fordi det skal kunne detektere meget små mængder argon, og argonionerne skal flyve i et ultrahøjt vakuum for at undgå forurening.



Figur 6.

Ud over de fundamentale krav til det vulkanske materiale, som nævnt ovenfor, kan forurening ved opsamling og håndtering af de meget små mængder argon være væsentlige fejlkilder, der må elimineres. Fundamentalt set er der altid lidt argon i Jordens atmosfære fra en svag diffusion af argon fra jordoverfladen ved opvarmning (bl.a. vulkaner). Denne lille koncentration af argon (ca. 1%) fordeler sig på de stabile isotoper på kendt måde:

^{36}Ar : 0.337%

^{38}Ar : 0.063%

^{40}Ar : 99.600%

For at tage højde for en forurening af argon fra atmosfæren måler man ved massespektroskopien alle 4 argonisotoper: ^{36}Ar , ^{38}Ar , ^{39}Ar og ^{40}Ar . Man bruger ^{36}Ar (og eventuelt ^{38}Ar) til at bestemme, hvor meget ^{40}Ar der skyldes forurening fra atmosfæren, og trækker det fra den målte mængde ^{40}Ar og finder derved $^{40}\text{Ar}^*$, der er det dateringsmæssigt interessante.

Ved den praktiske massespektroskopiske måling frigøres argon ved opvarmning af materialet, hvorefter det ioniseres med en enkelt elektron per argonatom og accelereres i et højt elektrisk felt for at opnå hastigheden v , som omtalt i indsættet. Man benytter sig helst af en CO_2 -laser til at varme materialet op. CO_2 laseren har en bølgelængde, der ligger i det fjerninfrarøde svarende til en lav fotonenergi (~ 100 meV), og frembringer derfor ikke spektroskopiske excitationer i materialet. Da de massespektroskopiske målinger af ^{39}Ar og ^{40}Ar (og ^{36}Ar og ^{38}Ar) foregår samtidig, er det hensigtsmæssigt at øge temperaturen og dermed frigørelsen af argon i ryk. Hver ekstra lille temperaturforøgelse bestemmer et forhold mellem mængden af ^{39}Ar og ^{40}Ar , ud fra hvilket man kan bestemme en alder på lavamaterialet. Hvis denne alder for hver temperaturforøgelse varierer voldsomt, er der et problem med målingen. Årsagen kan f.eks. så være, at materialet på et senere tidspunkt end vulkanudbruddet har været opvarmet lidt (til nogle hundrede grader). Dette vil betyde, at de første opvarmninger i

eksperimentet vil give aldre, der er for små. Der er også den mulighed, at materialet er meget inhomogent, og at ^{39}Ar og ^{40}Ar har sat sig i forskellige mikrokrySTALLER eller korngrænser og derfor frigøres ved forskellige temperaturer. Det integrerede forhold $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ for hele opvarmningen bør dog så give den rigtige alder.

Et eksempel på en argon-argon datering [Semaw 2005].

I tabel 1 er vist to deltabeller over målinger af argon koncentrationer ved forskellige temperaturændringer op til 800°C. I nederste tabel er vist en måling, hvor hele prøvestykket er opvarmet i ryk, og alderen bestemt hver gang. Øverste deltabel viser resultatet af hele opvarmningen til 800oC for 19 udvalgte mikrokrySTALLER. Målingerne er på prøver fra Gona i Etiopien, og de vil blive omtalt igen i kapitel 4 i forbindelse med stratografi.

Lab no. (watts)	^{40}Ar (mol) ($\times 10^{-15}$)	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ($\times 10^{-1}$)	$^{40}\text{Ar}_{\text{ex}}/^{39}\text{Ar}$	$q_{\text{ex}}^{40}\text{Ar}_{\text{ex}}$	Age (Myr)	$\pm \sigma$ (Myr)
BKL-2L (Single crystal total fusion)								
7201-01	2.099	3.495	0.633	0.344	3.438	98.5	2.936	0.070
7201-02	3.564	3.515	0.230	0.303	3.438	97.9	2.936	0.037
7201-03	2.195	3.541	0.857	0.490	3.458	97.7	2.953	0.057
7201-04	4.744	3.447	0.224	0.072	3.439	98.9	2.936	0.027
7201-05	2.825	3.507	0.231	0.163	3.472	99.1	2.965	0.054
7201-06	4.568	3.469	0.233	0.196	3.424	98.8	2.924	0.033
7201-07	5.078	3.492	0.250	0.216	3.443	98.7	2.940	0.028
7201-08	4.639	3.462	0.228	0.017	3.470	100.4	2.953	0.025
7201-09	2.098	3.699	0.218	0.762	3.495	94.4	2.976	0.059
7201-10	3.603	3.481	0.224	0.125	3.457	99.4	2.952	0.035
7201-14	5.612	3.654	0.227	0.579	3.496	95.8	2.985	0.021
7201-15	5.201	3.552	0.233	0.385	3.451	97.3	2.947	0.020
7201-16	3.695	3.494	0.229	0.377	3.395	97.3	2.899	0.025
7201-17	2.412	3.511	0.227	0.336	3.424	97.7	2.924	0.039
7201-18	6.018	3.488	0.246	0.154	3.457	99.2	2.952	0.017
7201-19	4.206	3.472	0.230	0.106	3.453	99.6	2.949	0.024
7201-20	5.572	3.488	0.231	0.067	3.481	99.9	2.972	0.017
7201-21	2.002	3.574	0.734	0.510	3.475	97.3	2.968	0.045
7201-22	3.935	3.491	0.224	0.310	3.412	97.9	2.914	0.023
7201-24	0.513	3.800	0.205	1.104	3.484	91.8	2.976	0.175
7201-25	7.476	3.561	0.234	0.604	3.395	95.5	2.900	0.013
Weighted mean								2.940 $\pm$ 0.006
BKL-2L (Bulk-step heating)								
(2.1)	0.306	7.275	1.158	19.628	1.559	21.4	1.332	0.619
(2.5)	0.342	4.939	0.880	11.467	1.611	32.6	1.376	0.337
(2.8)	0.700	5.477	0.617	9.346	2.758	50.4	2.356	0.213
(3.0)	0.428	3.810	0.559	9.937	3.572	93.8	3.050	0.362
(3.3)	0.432	3.563	0.526	0.516	3.446	96.8	2.943	0.315
(3.6)	0.441	3.495	0.516	0.902	3.263	93.5	2.787	0.289
(3.9)	0.606	4.047	0.527	2.159	3.445	85.2	2.942	0.173
(4.4)	1.502	3.607	0.396	0.804	3.395	94.2	2.900	0.057
(4.7)	0.361	3.509	0.498	0.485	3.399	97.0	2.902	0.314
(6.1)	0.670	3.627	0.636	1.148	3.332	92.0	2.846	0.127
(5.6)	0.648	3.865	0.597	1.668	3.413	88.4	2.915	0.136
(6.0)	0.665	3.581	0.618	1.085	3.303	92.3	2.821	0.130
(6.5)	0.608	3.432	0.603	0.142	3.432	100.1	2.931	0.219
(7.0)	0.782	3.467	0.604	0.640	3.320	95.9	2.835	0.150
(7.5)	2.301	4.457	0.866	3.643	77.3	2.941	0.053	
(8.0)	3.219	3.422	0.818	0.283	3.403	99.5	2.906	0.026
(8.5)	0.124	2.951	0.342	-1.199	3.327	112.9	2.841	0.804
(8.5)	0.201	3.491	0.359	0.383	3.401	97.5	2.904	0.565
(8.5)	5.930	3.461	0.458	0.152	3.447	99.7	2.943	0.010
Plateau age								2.936 $\pm$ 0.010

Tabel I

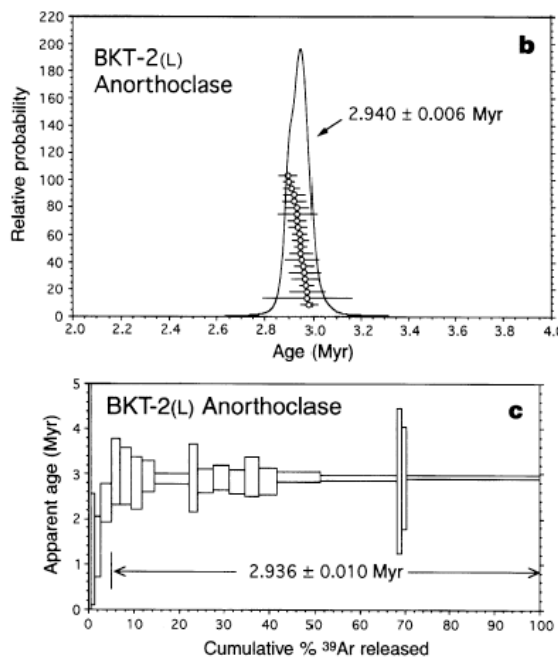
I begge deltabeller i tabel 1er vist en række søjler, der illustrerer analysemetoden. I første søjle er vist den samlede mængde ^{40}Ar , der er detekteret ved den komplette opvarmning af hver af 19 mikrokrySTALLER (øverste deltabel) og ved hver af 18 delopvarmninger af et bulk materiale (nederste deltabel). Næste søjle viser det målte forhold mellem mængden af ^{39}Ar og ^{40}Ar . De næste 2 søjler viser den målte forurening baseret på ^{36}Ar og ^{38}Ar , der sidder bundet i lavamaterialets krystaloverflade og eventuelt andre steder. Disse værdier er i næste søjle ($^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$) brugt til at korrigere for denne forurening. Endelig er den i indsættet ovenfor viste formel for t_D brugt til at bestemme prøvens alder, og den usikkerhed, der knytter sig hertil, er vist i de sidste 2 søjler.

Ved datering af prøver med en alder på 1.5-2.6 millioner år betyder argon-argon-metoden, at det er tilstrækkeligt med en materialeprøve med en vægt på kun 1 mg (størrelse ~ 0.1 mm). Det er derfor ofte en fordel at knuse materialet og derefter udvælge krystaller, der er egnede til analyse. For et homogent lavamateriale, som det der er anvendt til målingerne i tabel 1, er en sum af de undersøgte småkrystaller og en

undersøgelse af en større klump ikke signifikant forskellige. De to måleserier i tabel 1 giver en bestemmelse af et Tuff-lavalag ved en udgravning i Gona, Etiopien, som jeg vil komme tilbage til. Aldersbestemmelsen er 2.940 mill. år $\pm$ 0.006 mill.år og 2.936 $\pm$ 0.010 mill. år ved de to metoder. Det viser den store præcision, der kan opnås med argon-argon metoden.

2.4 Brug af Ar-Ar i Gona

AST (Artifact Site Tuff) og BKT (BourouKie Tuff) betegnelserne svarer til nedfald af vulkansk materiale og er de områder, der lader sig datere med argon-argon metoden. På grund af opblanding med andre materialer er mange af disse lag imidlertid vanskelige at datere. Kun to vulkanske lag har vist sig lette at datere, nemlig BKT-2L og AST-2.75. Figur 20(a) viser de massespektroskopiske data for enkeltpartikelserien i tabel 1(a), der er fra Gona [Toth and Schick 2006]. Dateringen af partiklerne varierer ca. 100.000 år, men en middelværdi giver naturligvis en langt mindre usikkerhed. På figur 20(b) ses opvarmningsserien fra tabel 1(b). Hver opvarmning giver en ^{39}Ar og ^{40}Ar udgasning der bestemmer en alder. Det ses, at jo mere argon der slipper ud ved en opvarmning, desto bedre er alderen bestemt. De to bestemmelse af alderen i figur 20(a) og 20(b) af det vulkanske materiale er i excellent overensstemmelse.



Figur 7.

Dateringen af det vulkanske lag AST-2.75 er bestemt ved enkeltpartikelopvarmning. Tabel 2 viser resultatet opnået ved samme metode som i tabel 1(a) for BKT-2L. AST-2.75 får herved en alder på 2.52 $\pm$ 0.075 millioner år. Denne alder er indført på

profiltegningen figur 19. Det ses, at dette lag ligger flere meter over det arkæologiske lag. Oldowan redskaberne i lag EG12,13 er altså ældre.

Lab no. (watts)	^{40}Ar (mol) ($\times 10^{-15}$)	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ($\times 10^{-3}$)	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$\%^{40}\text{Ar}^*$	Age (Myr)	$\pm \sigma$ (Myr)
AST-2.75 (Single crystal total fusion)								
8302-01	1.165	4.856	3.084	5.101	3.604	74.0	2.557	0.311
8302-02	2.014	7.017	2.485	12.385	3.562	50.7	2.527	0.260
8302-03	3.106	6.054	3.030	9.675	3.445	56.8	2.444	0.163
8302-04	1.062	21.970	13.955	63.094	4.489	20.2	3.184	1.710
8302-05	0.651	5.269	2.812	8.941	2.858	54.1	2.028	0.597
8302-06	1.783	7.673	2.472	17.699	2.787	35.3	1.977	0.432
8302-07	0.533	6.698	2.934	12.699	3.187	47.5	2.261	0.857
8302-08	0.504	27.587	0.046	72.863	6.059	22.0	4.237	4.210
8302-09	0.577	4.694	3.120	7.706	2.672	56.8	1.896	0.480
8302-10	0.553	5.456	2.730	6.544	3.748	68.6	2.659	0.503
8302-11	0.341	5.942	3.197	9.146	3.503	58.8	2.485	0.926
8302-12	0.678	6.195	3.497	10.013	3.525	56.7	2.501	0.547
8302-13	2.049	5.610	0.004	6.637	3.649	65.0	2.589	0.181
8302-14	1.188	7.851	2.582	15.958	3.348	42.6	2.376	0.483
8302-15	0.754	19.284	1.172	56.896	2.567	13.3	1.821	1.971
8302-16	0.275	4.465	3.489	1.797	4.224	94.4	2.996	1.176
8302-20	82.311	33.003	0.033	70.249	12.247	37.1	8.674	0.083
8302-21	0.237	15.566	38.207	21.730	12.566	78.4	8.899	1.505
8302-22	0.282	4.903	3.050	4.711	3.763	76.6	2.670	0.474
8302-23	4.541	42.883	1.816	2.477	42.355	98.6	29.823	0.296
8302-24	6.624	35.672	0.816	8.843	33.144	92.9	23.379	0.162
8302-25	0.467	10.666	3.110	23.173	4.077	38.1	2.892	0.483
8302-26	0.704	10.816	4.077	24.397	3.945	36.4	2.799	0.318
8302-27	24.226	40.627	0.010	19.737	34.796	85.6	24.536	0.087
8302-28	0.785	6.732	4.952	12.390	3.480	51.5	2.469	0.198
8302-29	16.982	35.005	0.143	0.447	34.888	99.7	24.601	0.075
8302-30	0.454	5.000	3.201	4.392	3.967	79.2	2.814	0.303
8302-31	6.865	57.853	4.131	176.057	6.178	10.6	4.381	0.454
8302-32	0.258	5.389	3.075	6.967	3.585	66.4	2.543	0.629
Weighted mean								2.517 $\pm$ 0.075

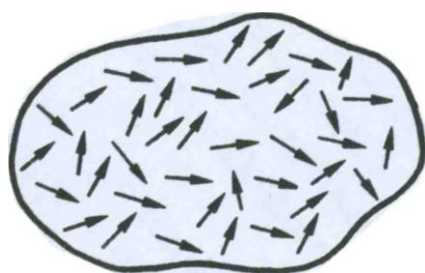
Tabel 2.

3.4 Palæomagnetisme

Jordens magnetfelt ændrer kontinuerligt retning og styrke. Som vi ved fra H.C. Ørstedes opdagelse af elektromagnetismen, skaber en elektrisk strøm et magnetfelt, der kan påvirke en kompasnål. Jordens magnetfelt skabes af strømme af elektrisk ladet flydende lava i Jordens indre. Disse strømme ændrer hele tiden styrke og retning, hvilket over en tidsskala på 100 år giver en målbar ændring af Jordens magnetfelt, som f.eks. skibe styret af kompas har måttet tage i betragtning. Men med mellemrum på 10.000-1 million år er der over Jordens historie sket dramatiske ændringer, hvor der er byttet om på den magnetiske nord- og sydpol. Disse ændringer er sket relativt pludseligt over kun 100-1000 år. Disse polvendinger giver markeringer i jordlagenes stratigrafi, der kan benyttes til datering.

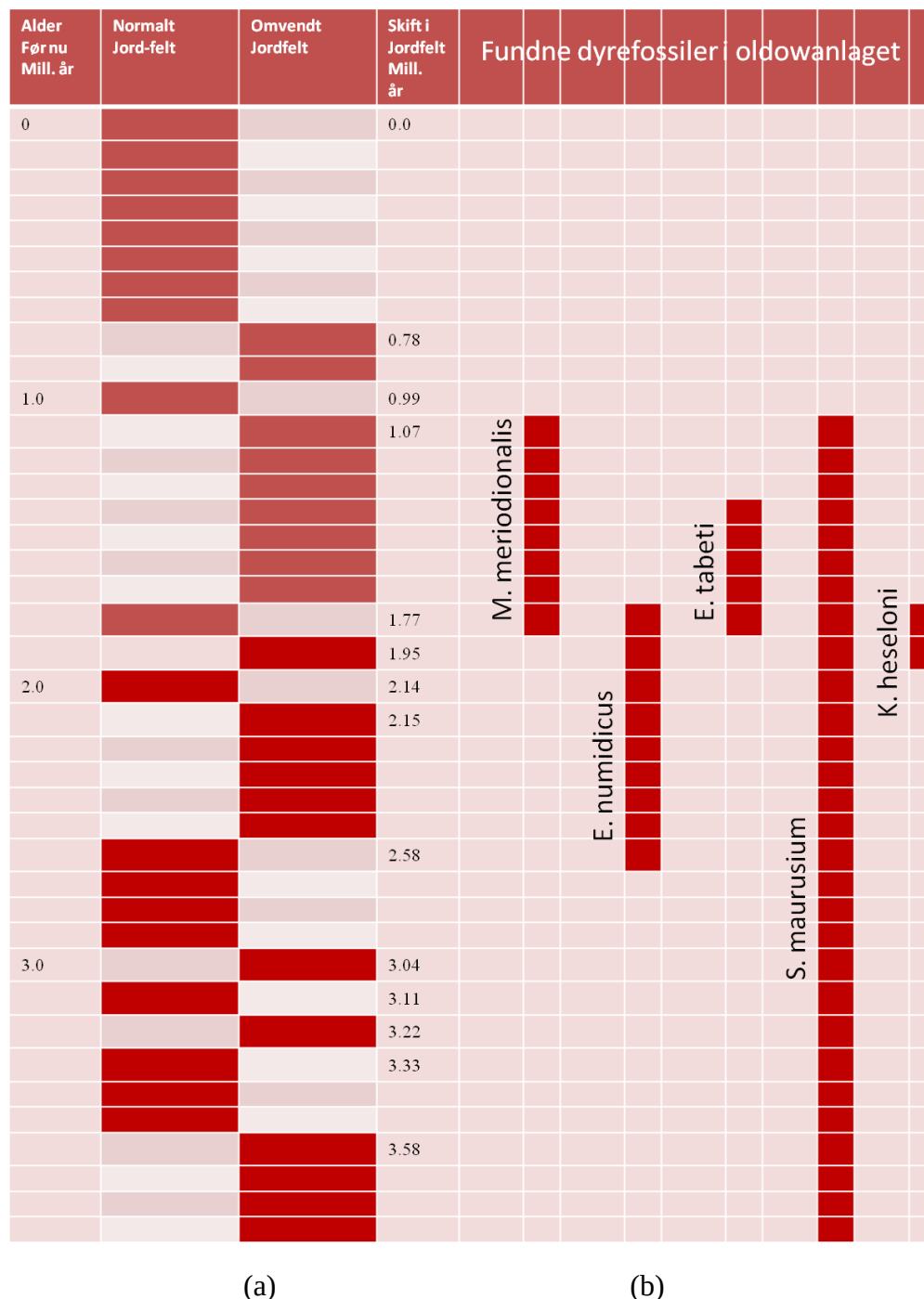
Palæomagnetisme.

Når et jordlag dannes af vulkansk lava, nedfald af vulkansk aske eller ved aflejring af materiale ved vind- eller vandstrømme, vil små magnetiske krystaller rette sig ind efter det magnetfelt, der findes på dannelsesetidspunktet. På figur 10 er skematisk vist en klump jord, der er dannet i et magnetfelt. De små magnetiske krystaller, der næsten altid er til stede, er tegnet som pile. Deres orientering ser tilfældig ud, men ser man lidt nærmere på pilenes retninger ser man, at de er tegnet således, at de i overvejende grad har fået en orientering i det ydre magnetfelt på en måde, der svarer til magnetiseringen af en jordlump i Jordens magnetfelt. Selv om Jordens magnetfelt på et senere tidspunkt ændrer retning, vil småmagneterne ikke ændre retning. De er låst af materialet og hinanden. Ved at måle retningen af magnetiseringen i et bestemt jordlag, kan man altså se, hvilken retning Jordens magnetfelt havde på dannelsesetidspunktet. Denne geologiske videnskabsgren kaldes palæomagnetisme.



Figur 8 [Aitken 1989]

Da retningen af Jordens magnetfelt overalt er fra sydpol til nordpol (eller tidligere måske modsat), og med en større eller mindre komponent vinkelret på Jordens overflade, ser man de samme pludselige skift i retningen af magnetiseringen af jordlag overalt på Jordkloden. Ved på udvalgte steder på et jordlag at måle argon-argon alderen og magnetiseringen af laget kan man kalibrere magnetiseringsskiftene. Denne kalibrering kan så bruges overalt på Jordkloden og gør måling af den lokale magnetisering til en dateringsmetode. Figur 11(a) viser alle de globale magnetiske polvendinger, der er fundet sted i de seneste 4 millioner år.



Figur 9. (a, til venstre) , (b, til højre) *Mammuthus meridionalis* (fortidig Elefant), *Eguus tabeti* (fortidig hest), *Equus numidicus* (fortidig arabisk hest), *Vivathenium maurusium* (fortidig giraf & elg), *Kolpochoerus heseloni* (fortidig vildsvin).

De universelle tidspunkter for vendingerne af Jordens magnetfelt er først i 1995 blevet præcist registreret, og det er derfor vigtigt at være opmærksom på, at tabeller i mange lærebøger kan være forkerte. Værdierne, der er angivet i 4. Kolonne i figur 11 [Cande & Kent 1995] skulle nu være korrekte. Opvarmes en jordprøve til omkring 800 °C, forsvinder den remanente magnetisering. Når ler f.eks. brændes til keramik, forsvinder den oprindelige magnetisering, og den brændte keramik får en magnetisering, der svarer til retningen af Jordens magnetfelt ved afkølingen. Det er jo dog langt fra sikkert, at

man ved, hvordan keramikken har været vendt ved afkølingen! Men ved gamle ildsteder kan man få en datering ved hjælp af magnetiseringen af opvarmet jord eller sten. Dette er dog ikke relevant for oldewankulturen, da de ikke beherskede ilden.

Palæomagnetiske målinger giver også mulighed for at måle mindre ændringer i Jordens magnetfelt og relatere det til en kronologi. Dette er ikke etableret så langt tilbage som til oldowantiden.

Ved palæomagnetiske dateringer anvendes typisk nogle få cm^3 af jord i et lag. Dette kræver meget følsomt magnetisk måleudstyr som f.eks. et fluksgate magnetometer eller gensidig induktionsbro. Det mest følsomme udstyr er baseret på superledning, en såkaldt SQUID (superconducting quantum interference device). Dette kræver imidlertid måleudstyr, der befinder sig ved flydende kvælstofs (eller heliums) temperatur, og anvendes uhyre sjældent i arkæologien.

I oldowankulturens tidsperiode har Jordens magnetfelt skiftet retning 5 gange, og man kan derfor relatere mange palæolitiske redskabsfund til, om de er før eller efter en af disse magnetiske polvendinger. Dette har for mange fund ført til en afgørende tidsfæstelse af arkæologiske fund. Dette er f.eks. tilfældet ved Gona.

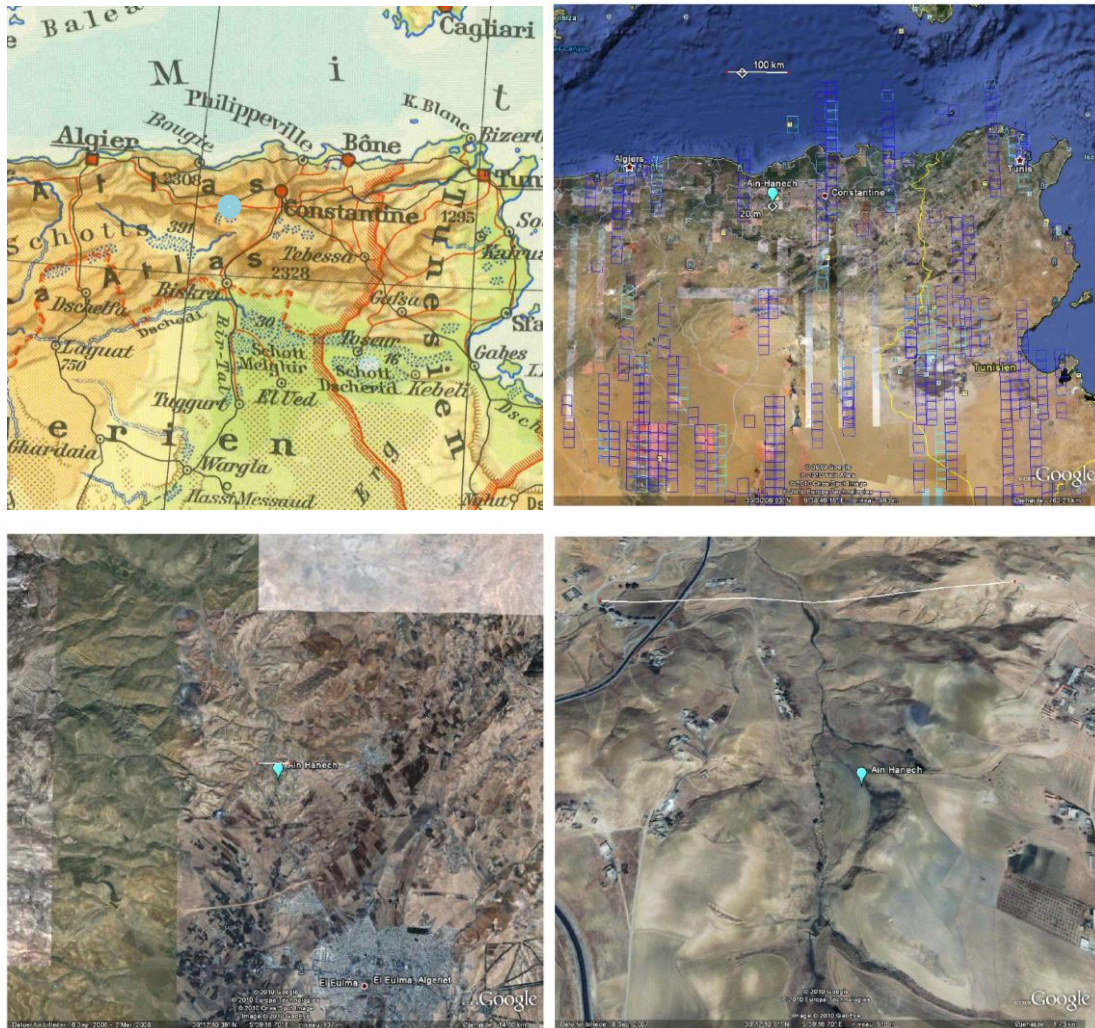
Både sand, grus og vulkansk aske indeholder jernoxid og har en remanent palæomagnetisering. I hver af de 3 profiler EG-12, EG-13 og D er retningen af magnetiseringen vist ved de små cirkler til venstre (reverse, åbne, -90°) eller til højre (normal, udfyldte, $+90^\circ$). Der sker et skift i retningen af den remanente magnetisering mellem de to absolutte argon-argon målinger (2.52 og 2.94 millioner år før nu), og da Jordens magnetiske polvendinger kendes, kan vi slutte, at den vending, vi ser på figur 19, er Gauss-Matuyama vendingen, der skete for 2.58 millioner år siden. De arkæologiske lag ligger tæt på det stratigrafiske lag, hvor polvendingen skete, og dateringen af de arkæologiske lag med stenredskaber, EG12, 13, er derfor kun lidt yngre end 2.58 millioner år før nu.

4. Ain Hanech, Algier.

4.1 Slutningen af Oldown

Oldowankulturens afslutning sættes normalt til 1.5 millioner år før nu. Tidspunktet er bestemt af fremkomsten af en ny stenteknologi repræsenteret ved den karakteristiske håndkile (i engelsksproget litteratur "handaxe"). Denne nye kultur kaldes Acheuleankulturen. De mere primitive oldowanstenredskaber fortsætter dog på mange lokaliteter i flere hundrede tusinde år efter 1.5 millioner års skillelinien mellem de to

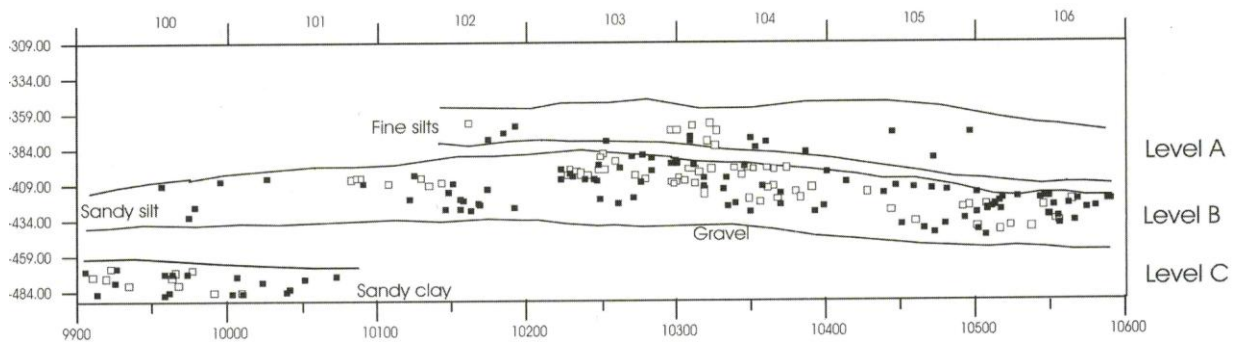
kulturer. Langt væk fra Olduvaikløften findes den primitive stenteknologi helt frem til 200.000 år før nu, og så længe taler man om en Acheuleankultur.



Figur 10.

Hvor lokaliseret er Oldowankulturen op til 1.5 millioner år før nu? Hvis man havde sat skillelinien mellem de to kulturer ved stenredskabsfund dateret før og efter 1.8 millioner år før nu, ville de alle være lokaliseret i et smalt område langs Østafrika, der strækker sig fra Awashfloden (hvor f.eks. Gona i forrige afsnit ligger) over Østtanzania og Olduvaikløften til Sydafrika. I perioden 1.8-1.5 millioner år før nu spreder den primitive oldowan flintteknologi sig til Algier (Ain Hanech), Georgien (Dmanisi) og Indonesien (Java). Efter at Acheuleankulturen dukker op i Østafrika, fortsætter den gamle oldowan redskabskultur med at brede sig til Europa og Asien. Vi ved ikke, om udbredelsen af oldowankulturen skyldes en folkevandring, eller om nye arter af homininer opstår med den samme primitive kultur. Det er derfor interessant at undersøge fundstederne langt fra Olduvaikløften for at se, om der er klare forskelle i oldowan redskabskulturen, eller om man eventuelt kan knytte de nye fundsteder til nye arter af homininer. Spørgsmålet opfattes af de fleste arkæologer som uafklaret. For mig

er Ain Hanech fundet i Algier primært interessant, idet det belyser en anden dateringsmetode end Gona-fundet.

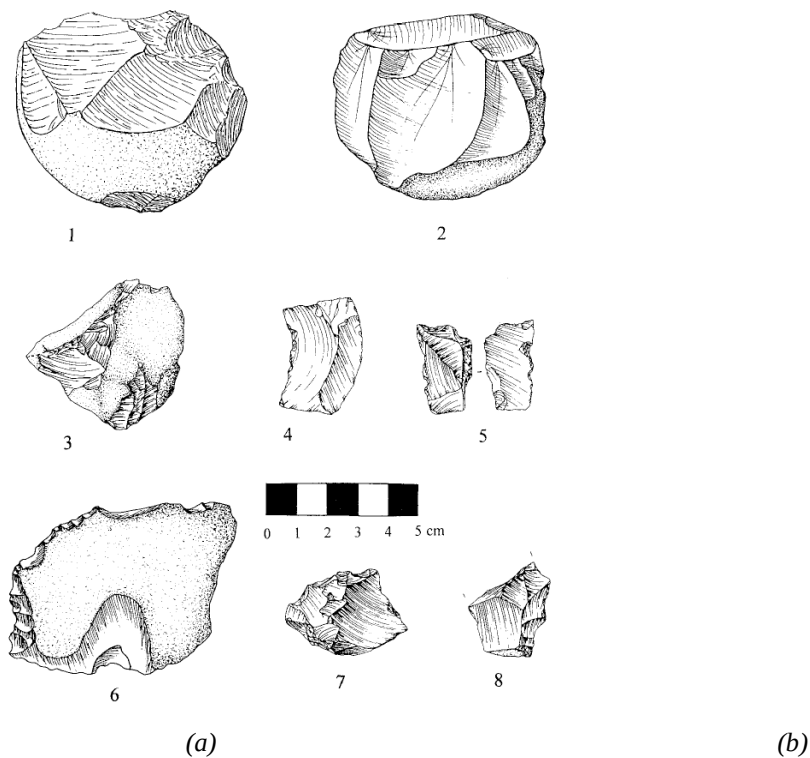


Figur 11. Profiltegning af stratigrafien ved Ain Hanech.

- Stenredskaber, se figur 16(a)
- Dyreknogeter, se figur 16(b)

4.2 Geografi

Ain Hanech er fundet ved en flodsænkning på højsletten mellem Tellusbjergene op mod middelhavet og Saharabjergene parallelt med ____ længere mod syd. Området er vist på det topografiske kort figur 10(a), hvor de to bjergkæder er markeret som Atlas. Figur 10 (b), (c) og (d) er Google-kort over fundstedet med forskellig målestok. Den grønne plet markerer findestedet Ain Hanech, der ligger nogle få km nord for byen El Eulma, der har ca. 3000 indbyggere. Figur 10(b) har samme målestok som (a). Den hvide målestreg har længden 100 km på (b). I figur 10 (c) og (d) har den hvide streg længden 1 km. Når den krummer lidt i (d), er det, fordi Google tillader en delvis horisontal afbildning, hvor slugten med fundstedet (den grønne ballon) ses 3-dimensionalt. Fundstedet er som de fleste steder ved en flod, der har gravet sig ned og efterladt nogle skrænter, hvor stratigrafien umiddelbart har kunnet observeres. Et 1.8m højt og 16 m langt udsnit af skrænten ses som en profiltegning i figur 23. De righoldige kulturlag (A, B og C) er vist med angivelse af, hvor der i 1m's dybde er fundet knogler af forskellige dyr og stenredskaber. Jorden er tilstrækkelig kalkholdig til, at knoglerne har kunnet fossiliseres og bevares den lange tid. Der er desværre ikke fundet hominine knoglerester.



Figur 12. (a) , (b)

4.3 Stenredskaber

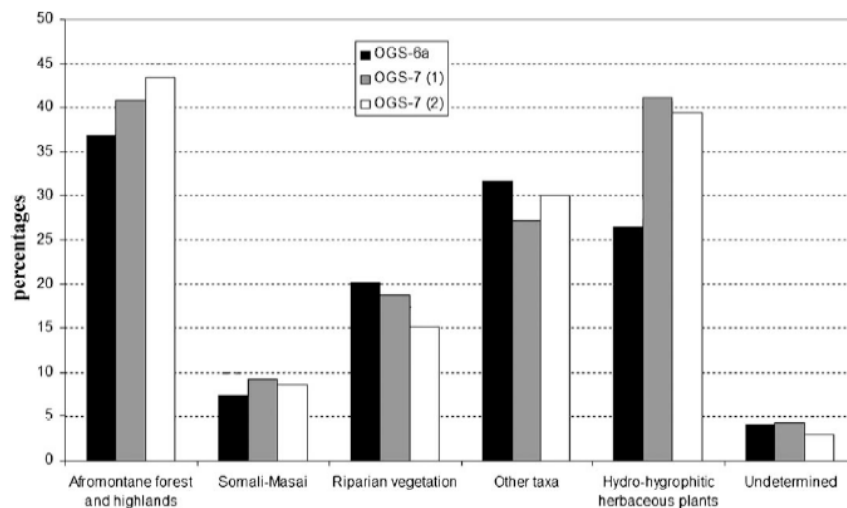
Nogle karakteristiske Stenredskaber er vist på figure 16(b). Man ser ved sammenligning med stenredskaberne figur 4, at der ikke kan spores nogen indlysende forskel i deres type og teknologi i forhold til fundet ved Gona, til trods for en forskel i alder på 0.8 millioner år. Man kan derfor stille sig det spørgsmål, om en kultur (Oldowankulturen) kan være så statisk? Hvornår starter slægten Homo sin dynamiske udvikling og kulturelle sejrsang?

4.4 Flora og fauna

Bevaringsforholdene for organisk materiale kan til tider være så gode, at det findes i jordlag der er over 1.5 millioner år gamle. Disse fossile fund består af planterester, pollen og dyreknogler. Fundene er i større eller mindre grad omdannet, således at der i små hulrum er dannet uorganiske aflejringer. Man siger så, et fundene er fossile. De fossile planterester og pollen eller blot aftryk af dem kan give et detaljeret billede af klimaet og er dermed en indirekte datering af stratigrafiske lag. Træer, buske og urter er genetisk meget stabile, og det er derfor sjældent, at deres eksistens er knyttet til en bestemt periode på arkæologisk tidsskala. De forsvinder ganske vist på grund af klimaet et sted, men opstår nye steder. Dyr er anderledes genetisk ustabile, og dyrearter opstår og forsvinder over tidshorisonter, der kan være meget kortere end den samlede

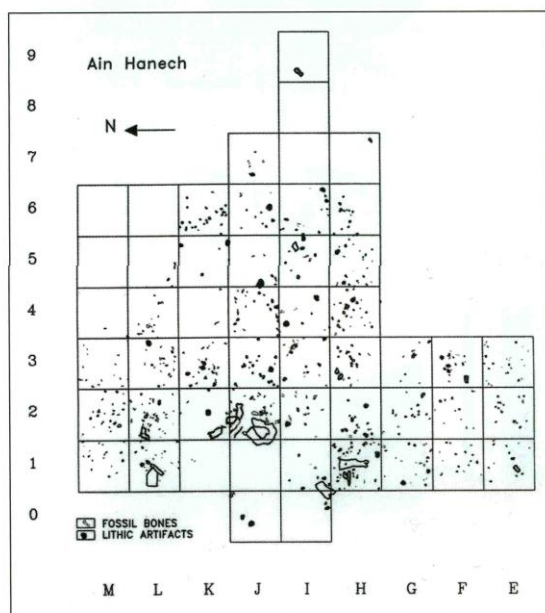
arkæologiske tid på 2.6 millioner år. Deres blotte eksistens kan derfor være en vigtig tidsmarkør.

De pollen, som planter spreder i blomstringstiden, er den vigtigste information, vi har om deres fordums tilstedeværelse. Pollen er typisk 1-100 µm store, og deres form og størrelse giver et tydeligt fingeraftryk af den enkelte planteart. Også fossile pollen kan let identificeres. Pollen udkastes og spredes på meget forskellig måde fra de forskellige planter, men da det netop er karakteristisk og kendt for den enkelte plante, kan man korrigere for dette og finde, hvor almindelig den enkelte planteart har været i et givet naturmiljø aflejret i et stratigrafisk lag.



Figur 13.

Figur 14 viser et søjlediagram over hyppigheden af plantetyper i stratigrafiske lag ved Kada Gona floden, hvor man også finder de allerførste stenredskaber på Jorden. Søjlediagrammet er baseret på hyppigheden af en snes forskellige pollentyper fundet ca. 1 km syd for de berømte redskabsfund EG10, EG12 og EG13 (de vil blive omtalt i afsnit 4.1). 3 profiler er undersøgt, og lagene ligger identisk med redskabslagene. Hyppigheden af de enkelte planter giver et billede af et savannelignende landskab med spredt skov og svarer til de landskaber i Øst- og Sydafrika, hvor der er gjort så mange fund både af redskaber og af homofossiler fra oldowantiden. Faunaen ved Kada Gona for 2.6 millioner år siden bekræfter derfor den udbredte idé, at homininerne med den oprejste tobenede gangart blev udviklet netop i et sådant landskab.



Figur 14.

Når det drejer sig om fossile knoglefund, får vi en anderledes tydelig tidsmarkering givet ved den begrænsede periode, i hvilken den specifikke dyreart levede. Ved oldowan fundstedet Ain Hanech i Algier er der bevaret usædvanligt mange dyrekno­gler på grund af jordens store kalkholdighed. Fundene er gjort i de selvsamme lag, hvor der er fundet stenredskaber. Dette er illustreret i [figur 15](#), hvor man ser et lag med både stenredskaber og fossile dyrekno­gler. 5 af de større pattedyr, hvis knogler man har fundet, er nu uddøde arter, og ved hjælp af dateringer fra andre lokaliteter kan man derfor sætte en præcis tidsperiode for de fundne stenredskaber. Start og sluttidspunktet for eksistensen af dyreearterne er vist i [figur 11](#) til højre. Det drejer sig om 2 hestearter, et giraflignende elgsdyr, et vildsvin og en mammut-lignende elefant. På basis af disse dyr har man kunne tidsfæste Ain Hanech fundet til 1.8 millioner år før nu.

Dateringen af lagene A, B og C i [figur 15](#) er baseret på fundene af de mange dyrekno­gler. Flere af dyrene er for længst uddøde og man kender fra andre fund, hvornår de har levet. Dette er vist på [figur 11](#) (til højre). De 5 forhistoriske dyr har kun levet samtidig i Afrika i en relativ kort periode (ca. 100.000 år) og dette giver en datering af stenredskaberne til 1.8 millioner år før nu. Ydermere har man kunnet måle en reversed magnetisering i lagene, der i sig selv giver en datering på 1.77 millioner år før nu. Kombinationen af palæomagnetiske skift i Jordens magnetfelt og den registrerede fauna giver således en meget præcis aldersbestemmelse af fundet. [Figur 16\(a\)](#) viser den forhistoriske arabiske vildhests tænder som et eksempel på den detaljerigdom, knoglerne kan give. Specielt mønsteret på oversiden af disse tænder

giver en meget præcis artsbestemmelse, der fastlægger, hvilken tidsalder de 3 stratigrafiske lag må tilhøre.



Figur 15.

5. Datering af 18 redskabsfund fra Oldowankulturen

OVERSIGT OVER REDSKABSFUND FRA OLDOWAN

Der er i løbet af de seneste 30 år gjort store nye opdagelser der gør det muligt at datere fund der er millioner af år gamle med lige så stor relativ præcision som kulstof-14 giver over de seneste 40.000 år. Dette giver håb om at den intense jagt på redskabsfund og antropologiske fund fra ældre palæolitikum de foregår i disse år vil give et meget mere komplet billede af menneskets udvikling over de seneste 7 millioner år.

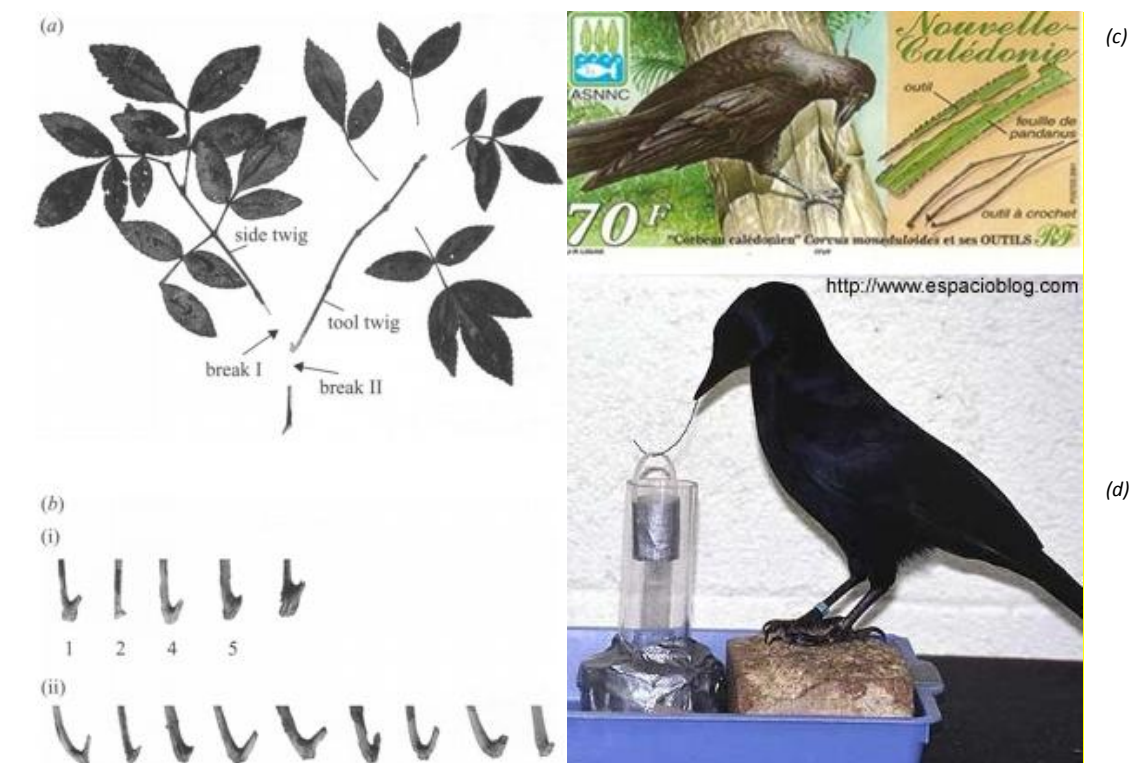
Fundsted	Alder (mill. år)	Datering 1	Datering 2	reference
Gona, Etiopien	2.58	Argon-argon	Palæomagnetisme	J.Arch.Science 27, 1197 (2000)
Middle Awash, Etiopien	2.5	Palæomagnetisme		Science 284, 625 (1999)
West Turkana (Nachukui Formation), Kenya	2.34	Argon-argon	Fauna	J.Human Evolution 48, 435 (2005)
Omo Valley, Etiopien	2.3	Palæomagnetisme	Fauna	J.Human Evolution 16, 665 (1987)
Hadar. Etiopien	2.3	Argon-argon	Fission track	J.Human Evolution 31,549 (1996)
Kanjera, Kenya	2.2	Palæomagnetisme	Fauna	J.Human Evolution 36, 123 (1999)
Kromdraai, Sydafrika*	2.0	Fauna		J.Human Evolution 27, 471 (1994)
Sterkfontein, Sydafrika	2	Fauna	ESR	Am.J.Phys.Anthropology 111, 579 (2000)
Fejej, Etiopien	1.96	Argon-argon		Les Sites Prehistoriques de la Region Fejej (2004)
East Turkana (Koobi Fora), Kenya	1.9	Argon-argon	Palæomagnetisme	Koobi Fora Research Project Vol. 5 (1997)
Olduvai Gorge, Tanzania	1.85	Argon-argon	Fauna	J.Human Evolution 34, 565 (1998)
Ain Hanech, Alger	1.8	Fauna	Palæomagnetisme	J.Human Evolution 43, 925 (2002)
Swartkrans, Sydafrika*	1.8	Fauna		La Prehistoire ancienne de l'Afrique meridionale p. 53-82 (2005)
Dmanisi, Georgien	1.75	Argon-Argon	Fauna	Olaf Jöris, Foredrag på KUA (2009)
Konso Gardula, Etiopien	1.7	Palæomagnetisme		Nature 389, 489 (1997)
Melka Kunture, Etiopien	1.7	Palæomagnetisme		Quaternaria 21, 87 (1979)
Peninj, Tanzania	1.6	Argon-argon	Palæomagnetisme	J.Human Evolution 44, 203 (2003)
Nyabusi, Uganda*	1.5	Fauna		Comptes Rendus de l'Academie des Sciences 320, 647 (1995)

Tabel 3. Større stratigrafiske fund af stenredskaber der er dateret til perioden 2.6-1.5 millioner år før nu [Harrod 2007; Toth and Schick 2008]. På grund af usikkerheder med datering er fund i Marokko og i Indonesien ikke medtaget. Dmanisi er det eneste fund udenfor Afrika. For nogle fund er der ikke i de internationale artikler (men måske i tekniske rapporter) gjort rede for dateringsmetoderne. For disse er der gjort et kvalificeret gæt og de er markeret med *.

5. Oldowan, hvor skal det placeres i kulturhistorien?

5.1 Den kaledonske krage.

Ved fremstilling af et redskab er der en række mentale og praktiske håndværksoperationer. Man skal først danne sig en idé om, hvad man vil opnå (1), og man skal med dette for øje finde det mest velegnede materiale for det, man vil opnå (2).



Figur 16. Den kaledonske krage tildanner et fangstredskab. Kragen bruger en krog til at samle orm ud af revner i et træ. (a) Af planten pandalus hugger krager et stykke stængel af (her i naturen) og bøjer det nederste af den afhuggede stængel til en krog. (b) (i) og (ii) viser en række kroge, som kragen har smidt på jorden under træet [Hunt 1996] Der ligger på billedet (c) nogle redskaber, der er fremstillet af planten pandalus blade og grene (fra et fransk frimærke 1980). (d) En tam kaledonsk krage er oplært til at tildanne og fintune en metalkrog og dernæst fiske en lille spand op af et bæger.

Derefter skal man groft udskille og tilhugge materialet til det, man vil anvende det til (3). Til sidst skal man så tune redskabet til den optimale brug (4). Endelig kan man fintune tildannelsen, efter man har anvendt det i praksis (feedback) (5).

Der er udført mange forsøg med primater (specielt chimpanser) for at lære dem at bruge og fremstille redskaber [Toth and Schick 2009; Toth et al. 2005]. Chimpansen er den af de nulevende primater, der står mennesket nærmest. I naturen ser man chimpanser jage termitter ud af deres termitbo ved at afbrække tynde grene, der kan jages dybt ind i termitboet. Med god vilje kan man sige, at chimpansen udfører de 3 første punkter i redskabsfremstillingen ovenfor, men ikke punkt (4) og (5). Der er mange andre eksempler i naturen på kreative dyr, og det ser ud til, at menneskets entré som den specielt kreative redskabsmager består i udviklingen af punkt (4) og (5) ovenfor.

I 1996 blev der rapporteret [Hunt 1996; Hunt 2000] observationer af en krageart i Kaledonien i Frankrig. Den anvendte en krog fremstillet af planten pandalus' stængel og blad til at fiske orm ud af huller i barken af et træ. Senere rapporterede Hunt og Gray

[2004] detaljerede videooptagelser af kragens fremstilling og brug af krogen.

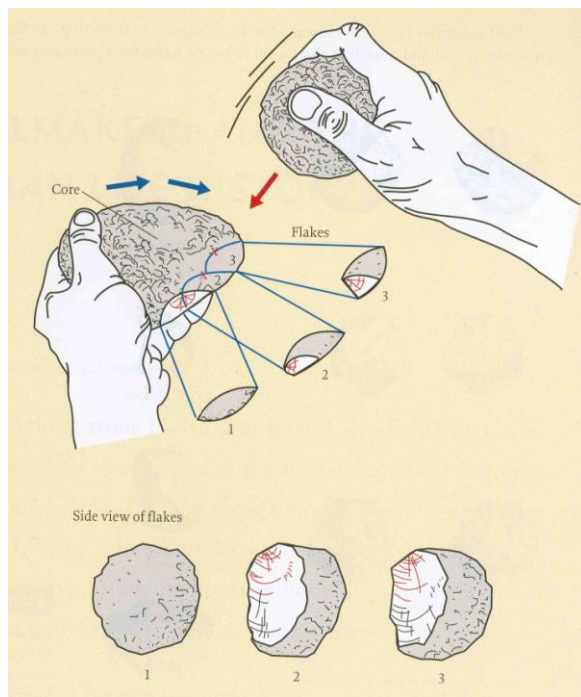
Observationerne udfordrede vores hidtidige skillelinie mellem dyrenes og menneskenes formåen og selve starten af den menneskelige kultur, oldowankulturen. Figur 3(c) viser den kaledoniske krage, der fisker efter orm. Billedet er kopieret efter et fransk frimærke. Nedenunder, i figur 3(b), ses et billede af kragen i laboratoriet i færd med at fiske en lille spand op af et glas. Figur 3 (a) viser pandalusurten og skitserer, hvorledes kragen fjerner alle blade fra stilken og napper en sidegren af, således at der bliver dannet en lille krog. Krogen modificeres yderligere, indtil den har en facon, der er egnet til at fiske ormen op af hullet i barken. Figur 3 (b) viser en række kroge, som kragen smed på jorden før eller efter brug. Efter forsøg på at fange ormen modificerede kragen ofte krogen og forsøgte at fiske igen. De unge krager forsøgte også teknikken, men med mindre held. Således undrede den unge krage sig over, at den ikke fangede noget, når den stak den ende af grenen ned i hullet, der ingen krog havde. Så kragens teknik krævede oplæring!

Der er også udført forsøg i laboratoriet med en tam krage. Den er oplært til at bøje en metalwire så den kan fiske en lille spand op af et rør, om man ser i figur 3(d). Der ligger en video på nettet [www.], hvor man ser, hvorledes den retter på krogen, indtil den kan få fat i spanden.

Den katalonske krage sætter et interessant spørgsmålstegn ved starttidspunktet for kultur. Der må jo ses bort fra, at kragen ikke har hænder og derfor har udviklet en anden redskabstype end mennesker. Tildannelsen af oldowankulturens stenredskaber skal vel kunne vises at være planmæssigt og teknisk mere avanceret end det, den kaledoniske krage formår, hvis der skal være tale om en kultur.

I palæolitikums senere perioder (Acheulean) er kanterne retoucherede, men dette forekommer kun i den allersidste del af oldowan- perioden. Redskaberne er forholdsvis store, ca. 5-10 cm, og de ligger godt i hånden.

Der er så godt som ingen yderligere fund, der kan dokumentere oldowans materielle kultur. Der er fundet nogle få fossile dyreknogeter med ridser, der er tilskrevet brug af oldowankulturens stenredskaber, og Mary leakey [1971] rapporterede en stenkreds i Olduvai Gorge der tilskrives oldowankulturen. Men det er stenredskaberne, der alene karakteriserer oldowankulturen. Fossiler af homoniner fra Oldowanperioden er blevet fundet; men af mere komplette skeletter, der kan tegne et helt hominin individ, er der kun 2. Alle fund, både homininfossiler og stenredskaber, er, bortset fra et fund i Georgien, fra Afrika, og i min konklusion kapitel 5 viser jeg en tabel over alle redskabsfund fra oldowankulturens.



Figur 17. Oldowan teknik. [Schick and Toth 2006]

Udvælgelsen af den optimale finkrystallinske stenart til oldowankulturens stenredskaber og forskellige typer af bløde sten til at slå spåner af stenene markerer et detaljeret materialekendskab hos de homininer, der har frembragt redskaberne figur 4. Den klare plan, de har haft med redskaberne, afhugningsstrategien såvel som slagretning og slagstyrke kan sammenlignes med det, som den kaledonske krage mentalt kan udrette. Med 5-10 afslag har redskabsmagerne i oldowankulturen været i stand til at fremstille ensformede serier af målrettede redskaber. At sætte de menneskelige kulturer til en start 2.6 millioner år før nu er derfor oplagt. Det forekommer rimeligt, men i sagens natur ikke dokumenteret, at oldowankulturens redskabsmagere har forbedret deres stenredskaber efter brug; kort sagt, at der var feedback på fremstillingsprocessen svarende til punkt (5) ovenfor. Den nutidige kaledonske krage har et dokumenteret feedback ved videooptagelser. Vi står således med et uafklaret spørgsmål om hvordan vi adskiller kragens evner og resultater fra oldowan-hominidernes, eller sagt på en provokerende måde, om oldowankulturen blot er et eksempel på et dyrs brug af redskaber. Hvorom alting er, så er oldowankulturen blevet et begreb i arkæologien.

2.2 Forskel på menneske og dyr

Der findes mange måder at afgrænse og definere en kultur på. Nogle kulturer fremstår med meget klare menneskelige frembringelser og udviklinger, hvorimod andre fremstår mere uklare eller med ganske få kendetegn. Afgrænsningen afgøres ved den definition, man anlægger på ordet kultur. Hartvig Frisch anlagde i sin Kulturhistorie [Frisch 1960]

det synspunkt, at kultur er synonymt med vaner. Arkæologien har mange kulturperioder, der passer på denne synsvinkel. F.eks. er fremstillingen af flintredskaber i det sydlige Skandinavien præget af en modebestemt tilgang, hvor vi på grund af en hurtig, irrationel udvikling kan anvende flintredskabers form, størrelse og tilhugningsteknik til at tidsfæste oldsagerne. Det er som om, at man allerede i den tidligste sydiskandinaviske stenalder har ligget under for vane og mode mere end for den funktionelle anvendelse af redskaberne.

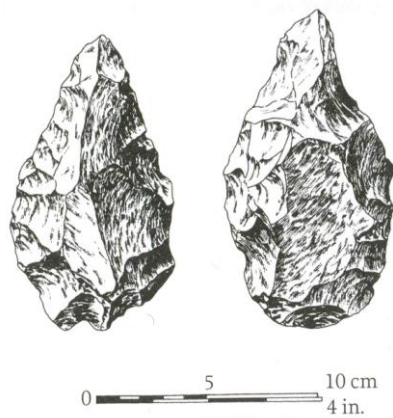
Går vi tilbage til den tidligste palæolitiske tid i Afrika, er der små forskelle på stenredskabernes udseende og teknologi ved de forskellige fund, og det er svært at finde udviklingstendenser. Oldowankulturen varer 1.1 million år, netop fordi man ikke er i stand til at indskyde flere kulturperioder. Plan og teknik med stenene er i mange arkæologers optik uændret i hele perioden. Et forsøg på at indføre en kulturperiode med navnet "Developed Oldowan" [Leakey 1971] er ikke rigtig slået igennem. Ved at kigge på oldsagerne synes jeg personlig at kunne se en ændring i teknikken fra omkring 1.8 millioner år før nu, men der er jo også en forventet effekt fra de antropologiske fund der nok spiller ind. Redskabsrevolutionen lod således vente på sig i mindst 800.000 år! Louis Leaky udgravede Oluvaikløften fra 1931 [Leaky 1936], og siden er der udgravet mindst 16 fundlokaliteter i Østafrika. Det er slående, at der i de 800.000 millioner år fundene repræsenterer intet sker med stenredskabsteknikken. Enten var homininerne udprægede vanedyr, eller også var en mere avanceret plan og teknik for stenforarbejdning mere krævende, end de kunne honorere. I det følgende vil jeg fastholde oldowankulturens periode til at være 2.6-1.5 millioner år før nu, i overensstemmelse med flertallet af forskere.

Vi ved at aber og sågar fugle tildanner pinde for at rode i termitboer eller jage velsmagende orme ud af deres ormehuller. Men det er vel ikke noget vi vil kalde en kultur? For at sætte vanen op mod nyskabelse vil jeg nu indskyde 3 små afsnit, der forsøger at afgrænse det der var før (kragen), og det der kom efter (acheuleankulturen) fra oldowankulturen.

Fremkomsten af store regelmæssige håndkiler (også kaldet håndøkser) markerer en meget klar afslutning på oldowankulturen og er starten på acheuleankulturen, der ofte sættes til at vare fra 1.5 millioner år før nu til 200.000 år før nu. Der er en svag udvikling i teknologien over denne lange periode. To karakteristiske håndkiler er vist på figur 6. Håndkilerne er typisk 10-20 cm lange, smalle, symmetriske og dråbeformede. De største fundne Acheulean håndkiler er 60 cm lange.

Acheuleankulturens redskaber er både i design og teknik oldowankulturens resultater overlegne. Der medgår mere en 100 afslag for at fremstille håndkiler som dem i figur 6.

Det er et mere udpræget jagtvåben, der kan bruges til at dræbe større dyr som f.eks. antiloper, hvilket har været fortolket som en markør for en ændret føde. På det rige fundsted, Olduvai Gorge, som Louis og Mary Leakey fandt og udgravede over en hel menneskealder [Leakey 1936; Leakey 1971], er der gjort fund, der klart belyser den skarpe overgang mellem oldowankulturen og acheuleankulturen for omkring 1.5 millioner år siden. Store depoter af acheuleanhåndkiler blev fundet i arkæologiske lag. Acheuleankulturen blev spredt til Europa og Asien og er blevet knyttet sammen med de fossiler af homininer, man har fundet de steder. Det er et tilfældigt første fund, der gjorde, at byen Saint Acheul i Frankrig lagde navn til denne kultur.



Figur 18. To Acheulean håndkiler (handaxes). Dråbe formede håndkiler er karakteristiske stenredskaber i en periode på over 1 million år (ca. 1.5-0.2 millioner år før nu) [Boyd & Silk 2005].

6. Konklusion

Oldowankulturen er den ældste palæolitiske redskabskultur. På basis af typologien af stenredskaberne sættes den normalt til perioden 2.6-1.5 millioner år før nu. De antropologiske fossilfund der er dateret til samme periode er ikke medtaget i min opgave, da de jo ikke bidrager til definitionen af Oldowankulturen.

Mit emne er dateringsgrundlaget, - ikke blot de specifikke dateringsmetoder, der retter sig mod Oldowankulturen. Jeg har derfor udvalgt 2 (af 18) fundsteder med stenredskaber der er blevet dateret til Oldowanperioden. Dette har gjort det naturligt for mig at beskrive fundsted, Stratigrafi og stenredskabernes kontekst. Disse emner danner et vigtigt grundlag, for den naturvidenskabelige datering. På denne måde håber jeg, at jeg har været i stand til at give lidt af baggrunden for hvorfor hominiderne slog sig ned på netop de udvalgte steder.

I opgaven omtales kun de vigtigste naturvidenskabelige dateringsmetoder. På baggrund af min viden om fysik har jeg i et appendiks tilladt mig at omtale flere dateringsmetoder, der kan blive vigtige efterhånden som de udvikles. I selve opgaven

og i appendiks har jeg, for at lette forståelsen, indføjet nogle indrammede indsæt der forklare nogle fysiske principper, der er essentielle for de omtalte dateringsmetoder.

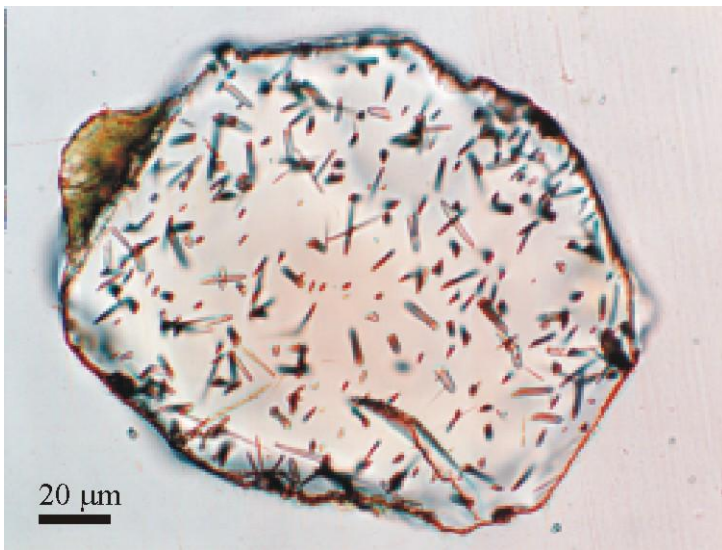
Til min overraskelse har jeg fundet, at der i de 18 fundlokaliteter i Tabel 3 kun er brugt 4 forskellige dateringsmetoder. Det drejer sig om: argon-argon (8 gange), Palæomagnetisme (9 gange), fauna (uddøde dyrearter) (10 gange) og ESR (1 gang). Flyttes fokus til den næste store periode, Acheulienkulturen, er der brugt næsten alle de dateringsmetoder jeg omtaler i opgaven.

Der er en meget omfattende litteratur om Oldowankulturen. Det er givet at jeg har overset vigtige artikler. Til gengæld har jeg forsøgt at undgå forskningshistoriske artikler og mest holdt mig til nye artikler efter 1990.

APPENDIKS

A.1 Fissionssporsanalyse

For oldowanperioden er fissionssporsanalyse en vigtig dateringsmetode, baseret på radioaktivt henfald af uran med 238 nukleoner, ^{238}U . ^{238}U henfalder med halveringstiden $t_{1/2}=4.47 \cdot 10^9$ år til andre isotoper på 2 måder. Dels henfalder uran ved en lang kæde af relativt kortlivede isotoper til stabilt bly. Et af disse henfaldsprodukter er ^{230}Th (thorium) med en halveringstid på $75.6 \cdot 10^3$ år og dette henfald udgør en dateringsmetode, idet man udnytter den store forskel i opløselighed af uransalte (letopløselige) og thoriumsalte (tungtopløselige). $75.6 \cdot 10^3$ år er desværre for kort en halveringstid til at metoden kan anvendes i oldowanperioden. En lille del af ^{238}U isotopen henfalder ved fission, hvor ^{238}U deler sig i 2 næsten lige store isoper, med den ekstrem lange halveringstid på $8.2 \cdot 10^{15}$ år, altså 10^7 gange længere en ved det simple henfald via thorium. Fissionshenfaldet kan opfylde alle de 3 nævnte kriterier for oldowanfund.



Figur A1. Fission spor i Zirkon (Vulkansk krystal). http://ftlab.ginras.ru/labhistory_en.htm (foto by Prof. J.I. Garver).

Ved fission af ^{238}U udsendes de to delisotoper med store hastigheder, der skaber en stor skade i den krystal uranet sad i. Denne skade kan efterfølgende registreres. Skaden kan fjernes ved opvarmning og dannes krystallen ved et vulkansk udbrud som lava eller aske, der kan spredes over områder på flere tusinde km, er der a priori ingen fissionsskader. Således kan fission opfylde alle 3 kriterier ovenfor. Endeligt er det naturligvis vigtigt at ^{238}U findes i næsten alle naturens mineraler med en koncentration på typisk 1-1000 dele per million (ppm). For at anvende fissionssporsdatering kan der opstilles en håndregel, der siger, at alderen i år af det, der ønskes dateret ganget med

koncentrationen af ^{238}U i procent skal være meget større end 10. Har materialet 1ppm ^{238}U kan det således kun anvendes for tidsbestemmelser væsentlig over 100.000 år, altså ideelt for oldowanfund.

Der findes mange (specielt vulkanske) materialer der er egnede til fissionssporsanalyser, men det er en forudsætning at materialets småkrystaller ikke har for mange andre defekter allerede. Fissionssporene er typisk 5-20 μm lange og går i alle retninger. For at se sporene poleres materialet med en finhed på ca. 0.25 μm , hvorefter det ætzes. Ioniseringsskaderne kan ikke umiddelbart ses, men efter ætsningen fremtræder de tydeligt i et optisk mikroskop. Dette er vist for en vulkansk turfkrystal (yagagat) på figur 9. Som det ses kan sporene både ligge i overfladens plan eller vinkelret derpå. Man tæller, hvor mange spor per cm^2 der ligger i den polerede overflade og dette bestemmer hvad tætheden, ρ_s , af fissionsspor er og dermed alderen af materialet.

Sample number (no. of grains)	Lat. (°S) Long. (°E)	Unit name	Standard track density* $\times 10^5 \text{ cm}^{-2}$	Fossil track density* $\times 10^5 \text{ cm}^{-2}$	Induced track density* $\times 10^5 \text{ cm}^{-2}$	Chi-squared probability (%)	Uranium (p.p.m.)	Fission-track age (Myr $\pm$ s.d.)
Primary zircon: Mata Menge								
MM1 (44)	8° 41' 31" 121° 5' 43"	Ola Bula	4.060	1.139	3.311	33.1	318.0	0.88 $\pm$ 0.07
MM2 (53)	8° 41' 31" 121° 5' 43"	Ola Bula	4.087	1.040	3.340	15.1	318.7	0.80 $\pm$ 0.07

Tabel A1.

For at bestemme alderen ved fissionssporsanalyse kræves en måling af hvor stor koncentrationen af ^{238}U er. Dette gøres indirekte ved at måle koncentrationen af ^{235}U og benytte at vi kender forholdet mellem antal ^{235}U og ^{238}U , I. Man udnytter at absorption af en neutron i ^{235}U prompte fører til en fission og skaber et fissionsspor der så måles. For at få en tilpas stor neutronfluks til at en stor del af ^{235}U -atomerne spaltes, anbringes materialet i en atomkernereaktor. Kender man reaktorens neutronfluence, Φ , tværsnittet for absorption af en neutron i ^{235}U , σ , er koncentrationen af ^{238}U det antal nye fissionsspor ^{235}U skaber i materialet, ρ_i , divideret med $\Phi\sigma I$. Sandsynligheden for en fission af ^{238}U er $\lambda_f = 8.46 \cdot 10^{-17}$ per år og alderen af materialet er derfor $t_D = (\rho_s \Phi\sigma I) / (\rho_i \lambda_f)$.

Tabel 2 viser 2 fissionssporsmålinger af alderen af lavamaterialet zirkon fra et ca. 1 million år gammelt fossilfund gjort i på øen Flores, Indonesien af den interessante lille mennesketype Homo floresiensis (med tilnavnet "Hobitten"). Målingen [Morwood et al. 1998] repræsenterer ikke oldowanperioden, men er medtaget her for at illustrere de enkelte led i en fissionssporsanalyse, som beskrevet ovenfor. Som man ser er der foretaget optællinger på henholdsvis 44 og 53 krystaller i de 2 undersøgelser (MM1 og

MM2). Det totale antal fissionsspor er 4060 og 4087 per cm^2 . Ved at fortage den nævnte neutronaktivering får man en tæthed af fissionsspor fra ^{235}U ("induced track") i de to undersøgte materialer, som skal fratrækkes for at få antallet af fossile spor ("Fossil track density"). Den statistiske usikkerhed er også angivet (ca. 10%) og den ønskede alder kan beregnes ved hjælp af formelen ovenfor til $0,88 \pm 0,07$ Mill. år og $0,80 \pm 0,07$ Mill. år [Morwood et al. 1998]. Til sammenligning er der på samme stratigrafiske lag for nylig udført 3 argon-argon dateringer ved Roskilde Universitet med resultaterne $1,02 \pm 0,02$, $1,07 \pm 0,05$ og $1,08 \pm 0,06$ Mill. år [Brumm et al. 2010].

A.2 ^{238}U - ^{207}Pb og ^{235}U - ^{206}Pb datering

Der er tre betingelser for at anvende radioaktive henfaldstider til aldersbestemmelser for arkæologiske undersøgelser: (1) Halveringstiden $t_{1/2}$ skal være længere end ca. $1/8$ af den alder man vil bestemme, gerne meget længere, (2) Alle henfald af de radioaktive atomer skal kunne registreres, og (3) Tællingen af henfald skal starte med en begivenhed der er samtidig med den arkæologiske. Kulstof-14 har en halveringstid på 5730 år og starter med dødstidspunktet for et organisk liv; det er det klassiske eksempel. For arkæologi med en alder på over 1.5 million år er argon-argon metoden den vigtigste og mest præcise metode. Halveringstiden er $8,6 \cdot 10^9$ år, registreringen af henfaldene er givet ved antallet af argon atomer, men starttidspunktet er en opvarmning af materialet, der typisk vil være knyttet til et vulkanudbrud.

Uran er det eneste grundstof ved siden af kalium der har isotoper med tilstrækkelig lange halveringstider til at matche oldowanperioden. ^{238}U har en halveringstid på $4,47 \cdot 10^9$ år og ^{235}U har en halveringstid på $704 \cdot 10^6$ år. Betingelse (2) kræver, at registreringen skal være ved hjælp af henfaldsprodukter (isotoper) med en halveringstid der er længere end ca. $1/5$ af den alder vi ønsker at bestemme i lighed med betingelse (1). De eneste henfaldsprodukt der opfylder dette er grundstof bly (Pb). ^{238}U henfalder til ^{206}Pb og ^{235}U henfalder til ^{207}Pb , der begge er stabile. Når mineralkornene fra et vulkanudbrud køler ned vil det ikke indeholde det flygtige grundstof bly, der har et smeltepunkt på kun 327°C (uran har smeltepunktet 1132°C). Måler man ved hjælp af massespektroskopi forholdet mellem koncentrationen af ^{206}Pb og ^{238}U eller mellem ^{207}Pb og ^{235}U kan man beregne tidspunktet for vulkanudbruddet. Et problem ved anvendelse af uran til datering er at uransalte har en stor opløselighed i vand, og at der derfor let udkrystalliserer sig uransalte i små revner eller hulrum i de mineralkorn man bruger til dateringen. Måler man imidlertid begge isotopforhold får man et nyttigt konsistenscheck på dateringen og kan afsløre denne senere forurening. Dateringsmetoden er ofte anvendt ved fund i Østafrika, hvor der er mange vulkaner.

F.eks. har den været afgørende ved det nye fossilfund, *Australopithecus sediba* [Berger 2010; Dirks 2010] der blev bestemt til 2.026+/-0.021 millioner år før nu. Datering ved palæomagnetisme gav på de samme jordlag 1.78-1.95 Millioner år før nu (se afsnit 3.4 og figur 11 for detaljer om denne metode).

A.3 Thermo- og optisk stimuleret luminescens

Alle materialer har et lille indhold af de radioaktive isotoper ^{238}U , ^{232}Th og ^{40}K og deres stråling vil derfor hele tiden danne bundne tilstande (traps) i krystallen. Jo længere tid der går, jo flere dannes der. Ved at måle tætheden af traps kan man udregne hvornår i fortiden materialet var fri for traps; vi har altså en dateringsmetode. Hvis materialet er vulkansk af oprindelse vil der ikke være traps i det øjeblik hvor lavaen størkner til en krystal, så i dette tilfælde måler antallet af traps hvor lang tid der er gået siden vulkanen var i udbrud. Brænding af ler til keramik eller flint der har ligget på et bål nulstiller også antallet af traps.

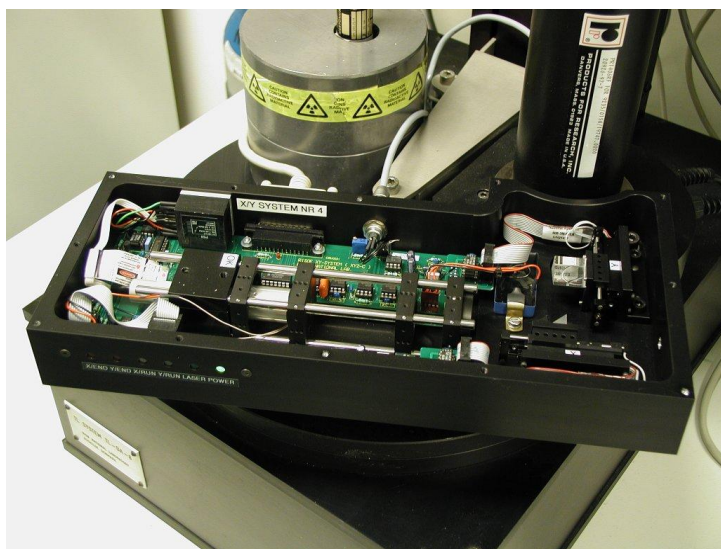
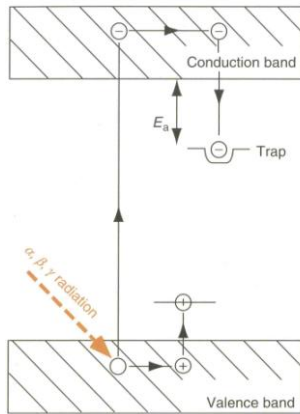


FigurA2. Enkelt-korn termoluminescens dateringsudstyr. Fotografiet er fra hjemmesiden for Nordisk Center for luminescensforskning, Risø: <http://www.nclr.risoe.dk/>

Antallet af traps måles ved at varme det isolerende materiale op og detektere hvor meget lys der derved udsendes (termoluminescens, TL). En anden mulighed er at sende et intensivt laserlys ind på materialet der skal dateres, hvorved elektronerne frigøres fra deres traps og falder ned i valensbåndet under udsendelse af lys (Optisk Stimuleret Luminescens, OSL). Dette lys der udsendes fra materialet måles og man kan derved bestemme hvor mange traps der var og dermed alderen. TL og OSL dateringsmetoderne anvendes til aldre på omkring 200.000 år. Der er to grunde til at dateringsmetoden ikke kan anvendes længere tilbage i tiden: For det første sker der på et tidspunkt en mætning i antallet af traps. For det andet har elektronerne i de skabte traps en endelig levetid; det er dog ikke klart hvor lang den er. TL og OSL dateringsmetoderne udvikler sig hele tiden.

Bundne tilstande i isolatorer (traps).

Isolatorer er krystaller, hvor elektronerne der hører til atomerne er ubevægelige og ikke kan lede strøm. Men de atomare elektrontilstande er alligevel forstyrrede af at sidde i en krystal tæt på andre atomer. De udbreder sig derfor til bånd af elektrontilstande, hvor det nederste bånd er fyldt op af elektroner og de øverste bånd er tomme. Det nederste fyldte bånd og det øverste tomme bånd kaldes henholdsvis ledningsevnebåndet og valensbåndet. Disse bånd er illustreret i figur 14.



Figur A3.

Lys kan have tilstrækkelig meget energi til at flytte elektroner fra det fyldte valensbånd til det tomme ledningsevnebånd. Men stopper man belysningen falder elektronerne straks på plads igen og for hver elektron der falder på plads udsendes et lyskvant. Men udsættes isolatoren for α , β eller γ stråling med høj energi eksiteres elektronerne fra valensbåndet og ikke bare op i ledningsevnebåndet, men op i nye bundne tilstande (traps) som illustreret i figur 14. Fra disse traps kan elektronerne ikke bare falde ned i valensbåndet, men bliver hængende.

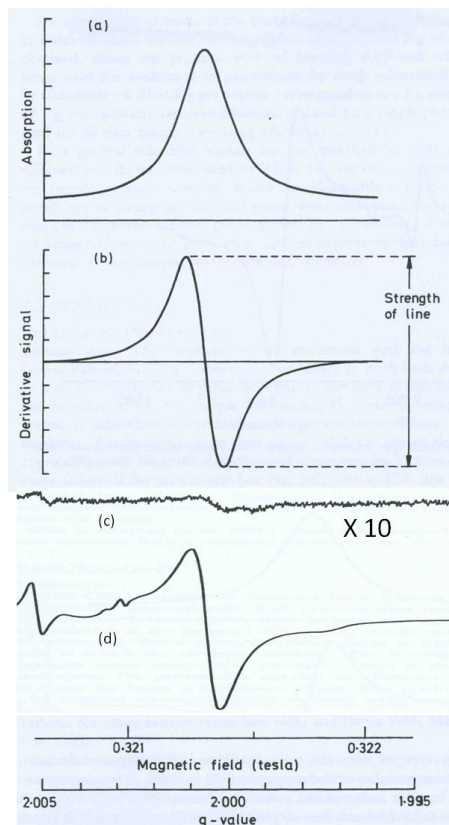
A.4 Elektron Spin Resonans (ESR)

Nogle af de traps, der som omtalt ovenfor og som dannes af α -, β - eller γ -stråling og af den kosmiske stråling, kan også direkte måles ved den såkaldte elektron spin resonans (ESR) metode. Man måler egenskaberne af elektronen, dens spin, mens den er fanget i tilstanden og ikke dens forsvinden som ved TL og OSL.

Fordelen ved at anvende ESR frem for TL eller OSL er at man kun måler på en type traps og at målingen kan gentages. F.eks. er problemet med mætning af antallet af traps væsentlig mindre og lettere at konstatere, fordi vi kun måler på en enkel type af traps. ESR kan anvendes til at datere ældre prøver end TL og OSL. Strålingen der flytter elektroner fra ledningsevnebåndet op i traps kommer fra de radioaktive isotoper af uran og kalium samt fra den kosmiske stråling. Elektronernes levetid kan variere fra materiale til materiale. Emalje på fossile tænder giver traps med levetider på flere millioner år og spinrosonanserne er meget veldefinerede og skarpe. Dette er heldigt, idet netop tænder fra dyr eller mennesker i de interessante stratigrafiske lag har et dannelses tidspunkt der

præcis svarer til det, der er arkæologisk interessant. For yderligere af gøre ESR liniebredden mindre udføre ESR målingen ofte ved lave temperaturer ($\sim 196^\circ\text{C}$).

Elektron Spin Resonans (ESR)



Figur A4.

Det magnetiske moment (spinnet) af en enkelt fri elektron er $eh/2m$, hvor e er elektronens ladning, h er Plancks konstant og m er elektronens masse. $\mu_B = eh/2m$ kaldes for Bohr Magnetonen. I et ydre magnetfelt, B , får elektronen 2 energitilstande med en energifastand på $g\mu_B B$ og det er denne energifastand der måles ved ESR. g er den såkaldte g -faktor der afhænger af hvordan elektrontilstanden opstår. For en fri elektron er værdien en naturkonstant $g_0 = 2.0023$, men for en elektron i en trap (se figur 14) kan g afvige fra denne værdi. Energiforskellen mellem de to tilstande der er skabt af et magnetfelt bestemmes ved at måle absorptionen af en højfrekvent mikrobølgestråling. I figur 15(a) ses absorptionen af mikrobølger med frekvensen 4.5 GHz, når man ændrer magnetfeltet lidt. Der er et maksimum der svarer til at mikrobølgerne har en fotonenergi der svarer til elektronens energiopsplitning; dette er elektron spin resonansen. Resonansen er forskellig afhængig af hvilken type traps man måler og man angiver normalt g -faktoren som det karakteristiske for resonansen; dette er angivet på x-skalaen forneden på figur 15. I praksis måler man hvor meget absorption af mikrobølgerne ændrer sig med magnetfeltet (den afledede) og det giver en kurve som ses på figur 15(b). Figur 15(c) og (d) viser den afledede af absorptionskurven for det vulkanske mineral zorbin meget få traps (c) og efter lang bestråling med højenergetiske partikler i et arkæologisk jordlag. Som det ses er g -faktoren $g = 2.001$ forskellig fra den frie elektrons værdi. Som det ses på figur 15 (d) er der også resonanser med andre g -faktorer der skyldes andre traps i materialet. Absorptionsresonansen for disse andre traps er svagere fordi der er færre traps af denne type. Amplituden af den største resonans, figur 15(d), er et direkte mål for alderen af prøven, siden den var varm (lavaen var smeltet) og resonanskurven så ud som på figur 15(c) [Brehm 1989; Pearsall 2008].

Som ved uran-bly- , argon-argon- og fissionssporsdatering er det vigtigt at de radioaktive isotoper ikke har ændret koncentration i løbet af fundets alder. Den kosmiske stråling fra Verdensrummet antages normalt for at være konstant, men det ved vi i realiteten ikke. P.t. er de ældste dateringer med ESR omkring 2 millioner år [Rink 1998; Schwarcz 2005] , men det er vigtigt at have sideløbende datering på grund af de nævnte fejlmuligheder.

3.8 Andre dateringsmetoder.

Hver periode i arkæologien har sine mest velegnede dateringsmetoder. I dette afsnit gennemgås en række dateringsmetoder, og deres relevans til oldowantiden pointeres. De fleste har ikke været eller kan p.t. ikke anvendes på oldowantiden.

Det stratigrafiske princip er oplagt for alle uforstyrrede fund. Sidste istid i Nordeuropa er et eksempel på en forstyrrelse af jordlagene, der gør denne metode vanskelig. I oldowanperioden i Afrika er metoden altid brugbar og vi skal for at belyse dette omtale to vigtige fund i kapitel 4.

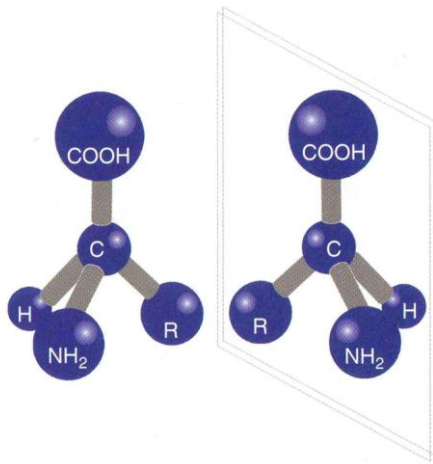
En vigtig og generel metode er den såkaldte serielle metode, hvor fund der er gjort på samme sted kædes tidsligt sammen og samme oldsag der er fundet flere steder også kædes tidsligt sammen. Man opstiller derefter en matriks, hvor elementerne i matriksen er karakteriseret af korrelationer af 0'te, 1ste og 2nden orden. Ved at bytte rundt på søjler og rækker kan man opnå at elementerne i matriksen ligger på en sammenhængende kurve (ofte en parabel) der er karakteriseret ved en tidslinie. Det er en relativ datering af oldsagerne. Metoden har specielt været anvendt på bronze- og jernalderen, men der er intet der forhindrer at den bliver brugt på stenalderen. For oldowantiden er forskellen mellem stenalderredskaber efter min mening for lille til at metoden kan bruges.

Blandt de naturvidenskabelige dateringsmetoder er der nogle som er principielt uanvendelige så langt tilbage i tiden som oldowan. Det gælder f.eks. den vigtige kulstof-14 metode der baserer sig på en halveringstid på 5730 år og derfor ikke er anvendelig mere end højst 50.000 år tilbage. En anden metode der heller ikke kan anvendes så langt tilbage i tiden er ^{238}U - ^{230}Th -metoden der er nævnt ovenfor.

Jeg vil nu omtale nogle metoder der har potentiale til at blive anvendt til dateringer i oldowantiden, men som endnu ikke er udviklet tilstrækkeligt. Beskrivelserne vil være korte med hovedvægt på, hvorfor de endnu ikke er taget i anvendelse til oldowankulturens tidsalder, 1.5-2.6 millioner år før nu.

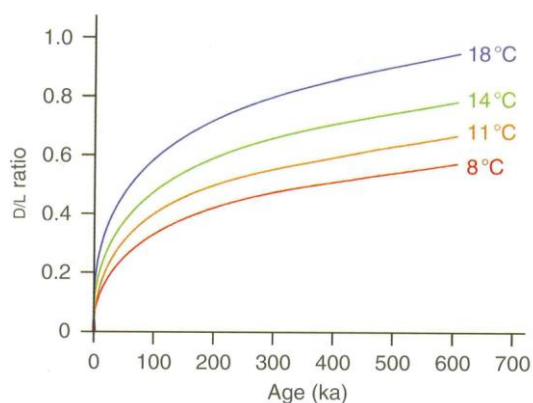
Biologiske dateringsmetoder.

Vi har ovenfor set på atomkerner med en levetid på omkring 10^9 år, der er egnet til datering i oldowanperioden. Antallet af henfaldne kerner måles enten direkte (f.eks. argon-argon) eller indirekte (fission). Atomere og molekyler kan også være ustabile, men kun nogle få organiske molekyler kan anvendes til dateringer 1.5-2.6 millioner år tilbage [Pearsall 2008].



Figur A5. To spejlvendte aminosyremolekyler. Levende organismer producerer kun den til venstre. De to molekyler er kemisk helt identiske [Pearsall 2008].

De mest interessante er de såkaldte aminosyremolekyler. Figur 16 viser opbygningen af et aminosyremolekyle; der findes i alt 20 forskellige typer. Hvert molekyle findes i 2 spejlsymmetriske former som vist på figur 16. De to spejlvendte molekyler er venstre- eller højredrejede i lighed med en skrue, der kan have venstre- eller højregevind. Kemisk set er der ingen forskel på de to typer. Man kan måle de relative antal af de to typer ved hjælp af cirkulært polariseret lys. Aminosyrer er byggestenen for proteiner, der er fundamentale for alt levende, specielt for DNA. Det er interessant, men ikke velforstået, at venstredrejede aminosyremolekyler næsten udelukkende skabes ved processer i levende organismer. Efter organismen er død, henfalder molekylerne til lige mange venstre- og højredrejede molekyler. Det tager 0.5-5 millioner år at skabe en ligelig fordeling af de to spejlvendte molekyler. Ved gamle organiske levninger (fossiler) kan der stadig være aminosyremolekyler til stede. Ved at måle forholdet mellem antallet af højredrejede (dekstrorotation) og venstredrejede (lævorotation) molekyler, D/L, har man derfor et mål for det arkæologiske fossils alder. Desværre er halveringstiden for udligningen i antallet af de to aminosyremolekyler stærkt afhængig af temperaturen som vist i figur 17. En ændring fra 9°C til 18°C fordobler raten. Selv ved de allerlaveste temperaturer er der en konstant kvantemekanisk tunnelsandsynlighed for henfald.



Figur A6. Forholdet mellem venstre og højredrejede aminosyrer (typen i figur 16) versus tid i år. Henfaldstiden er stærkt temperaturoafhængig [Pearsall 2008].

DNA

Selv om bestemmelse af DNA profilen for tidligere levende organismer ikke i sig selv er en dateringsmetode, bør det nævnes at ændringer i DNA profilen for de forskellige forhistoriske dyr kan afdække en udvikling der er tidsmæssigt signifikant. De ældste DNA profiler (baseret på mitokondrian DNA) fra Afrika er ca. 100.000 år gamle og de ældste DNA profiler opnået på fossiler fra arktiske egne (Grønland) er 500.000 år gamle. Men man finder hele tiden ældre og ældre DNA molekyler og man kan endvidere trække arvemæssig information ud af mindre og mindre dele af et DNA molekyle. Det er derfor sandsynligt at man i en overskuelig fremtid kan bestemme DNA profiler der er op til 2.6 millioner år gamle.

Åringsdatering

Datering ved at sammenligne og tælle årringe i træ (Dendrologi) spiller en afgørende rolle for hele den postglaciale periode (efter 14.000 BC). Tysk arkæologi har en år for år kalibrering tilbage til 14.000 BC. Nationalmuseet i København har kalibreringer tilbage til 2000 BC (Nationalmuseets hjemmeside). Der findes også andre typer af årringe i naturen. F.eks. kan man ved iskerneboringer på Grønland tælle antallet af år tilbage til omkring 14.000 BC og meget nøjagtigt datere begivenheder (vulkanudbrud f.eks.) 130.000 år tilbage. Isboringer på Antarktisk giver dateringer 700.000 år tilbage. Undersøgelser af sedimenter i verdenshavene giver dateringer flere millioner år tilbage, men det er ikke dateringer, der direkte kan anvendes på oldowankulturen. Der er de senere år fundet meget regelmæssige årringe i drypsten i huler i Kina [Lhong et al. 2009], der går lige så langt tilbage som iskernerne og det forekommer mig ikke usandsynligt at sådanne årringsundersøgelser i fremtiden med lidt held kan bidrage til datering af oldowanlag i Afrika.

Referencer og benyttet litteratur

- Aitken, M.J. [1990]. *Science-based Dating in Archaeology* (Addison Wesley Longman Ltd., New York).
- Barham, L. and P. Mitchell [2008]. *The First Africans: African archaeology from the earliest toolmakers to most recent foragers* (Cambridge University Press, Cambridge).
- Berger, L.R. et al. [2010]. Australopithecus sediba: A New Species of Homo-Like Australopithecus from South Africa, *Science* 328, 195-204.
- Binford
- Bonnichsen, R. [1973]. Millies Camp: An Experiment in Archaeology, *World Archaeology* 4, 277-291.
- Boyd, R. and J.B. Silk [2005]. *How Humans Evolved* (Norton Ltd., New York)
- Braun, D.R. et al. [2009]. Oldowan raw material procurement and use: Evidence from the Koobi Fora Formation, *Archaeometry* 51, 26-42.
- Brehm, J.J. and W.J. Mullin [1989]. *Introduction to the Structure of Matter* (John Wiley & Sons, New York).
- Brumm, A. et al. [2010]. Hominins on Flores, Indonesia, by one million years ago, *Nature* 464, 748-752.
- Cande, S.C. and D.V. Kent [1995]. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the late Cretaceous and Cenozoic, *Journal of Geophysical Research* 100, 6093-6095.
- Chazan, M. et al. [2008]. Radiometric dating of the earlier stone age sequence in excavation I at Wonderwerk Cave, South Africa: preliminary results, *Journal of Human Evolution* 55, 1-11.
- Dart, R.A. [1925]. *Nature* 115, 195-200.
- Diercke, C. and R. Dehmel [1957]. *Diercke Weltatlas* (Georg Westermann Verlag, Braunschweig), p. 112-113.
- Dirks, H.G.M. et al. [2010]. Geological Setting and Age of Australopithecus sediba from Southern Africa, *Science* 328, 205-208.
- Dugger, C.W. and J.N. Wilford [2010]. Fossil history jumps ahead, *International Herald Tribune*, Friday, April 9, 2010, p. 2.
- Fisch, H. [1960]. *Europas Kulturhistorie I-IV* (Politikens Forlag, København).
- Gregory, J.W. [1896]. *The Great Rift Valley* (Frank Cass and Co. Ltd, London).
- Harrod, J.B. [2007]. Synopsis of the Paleolithic Africa. Oversigt der ligger på nettet:

- Hunt, G.R. [1996]. The manufacture and use of hook tools by New Caledonian crows, *Nature* 379, 249-251.
- Hunt, G.R. [2000]. Human-like, population-level specialization in the manufacture of pandanus tools by New Caledonian crows *Corvus monedulvides*, *Proc.R.Soc.Lond. B* 267, 403-413.
- Hunt, G.R. and R.D. Gray [2004]. The crafting of hook tools by wild New Caledonian crows, *Proc.R.Soc.Lond. B* (suppl.) 271, S88-S90.
- Jensen, P.K.A. [2007]. *Da mennesket blev menneske* (Gyldendal, København).
- Johanson, D.C. and T.D. White [1979]. *Science* 203, 321-322.
- Jöris, O. [2009]. Gæsteforelæsning 26/5 2009 på KUA ved Dr. Olaf Jöris, Römersche-Germanisches Zentralmuseum, Forschungsbereich Altsteinzeit, Schloss Manrepos, D-56567 Neuwied, Germany. Titel: "Dmanisis, Georgia – Early Humans Pioneering Eurasia 1.75 Mill. Years ago.
- Leakey, L. [1936].
- Leakey, M.D. [1971].
- Lopez-Saez, J.-A. and M. Dominguez-Rodrigo [2009]. Palynology of OGS-6a and OGS-7, two new 2.6 Ma archaeological sites from Gona Afar, Ethiopia: Insights on aspects of late Pliocene habitats and the beginnings of stone-tool use, *Geobios* 42, 503-511.
- Morwood, M.J. et al. [1998]. Fission-track ages of stone tools and fossils on the east Indonesian island of Flores, *Nature* 392, 173-176.
- Pearsall, D.M. (ed.) [2008]. *Encyclopedia of Archaeology Volume 1-3* (Academic Press, Oxford)
- Rink, W.J. [2000]. Beyond 14C dating: A user's guide to long range dating methods in archaeology, in Goldberg et al. (eds.), *Earth Sciences and Archaeology* (Kluwer Academic/Plenum Press, 2000), pp. 385-417.
- Sagan, C. [1979]. *Paradisets drager – Om udviklingen af menneskets intelligens* (Gyldendal, København). Oversat fra "The Dragons of Eden. Speculations on the Evolution of Human Intelligence" (1977).
- Sahnouni, M. [2005]. The North African Early Stone Age and the Sites at Ain Hanech, Algeria, in Toth and Schick [2005] pp. 77-111.
- Sahnouni, M. and J. de Heinzelin [1998]. The Site of Ain Hanech Revisited: New Investigations at this Lower Pleistocene Site in Northern Algeria, *Journal of Archaeological Science* 25, 1083-1101.

- Sahnouni, M. et al. [2002]. Further research at the Oldowan site of Ain Hanech, North-eastern Algeria, *Journal of Human Evolution* 43, 925-937.
- Scarry, C. (ed.) [2005]. *The Human Past* (Thames and Hudson Ltd, London).
- Schick K and N. Toth [2005]. An Overview of the Oldowan Industrial Complex: The Sites and the Nature of Their Evidence, in Toth and Schick [2005] pp. 3-42.
- Szwarcz, H.P. and P.V. Tobias [1993]. ESR dating studies of the australopithecine site of Sterkfontein, South Africa, *Journal of Human Evolution* 26, 175-181.
- Semaw, S. [2000]. The World's Oldest Stone Artefacts from Gona, Ethiopia: Their Implications for Understanding Stone Technology and Patterns of Human Evolution Between 2.6-1.5 Million Years Ago, *Journal of Archaeological Science* 27, 1197-1214.
- Semaw S. [2005]. The Oldest Stone Artifacts From Gona (2.6-2.5 Ma), Afar, Ethiopia: Implications for Understanding the Earliest Stages of Stone Knapping, in Toth and Schick [2005] pp. 43-75.
- Semaw, S. et al. [1997]. 2.5-million-year-old stone tools from Gona, Ethiopia, *Nature* 385, 333-336.
- Semaw, S. et al. [2005]. Early Pliocene hominids from Gona, Ethiopia, *Nature* 433, 301-305.
- Steele J. [1999]. Stone legacy of skilled hands, *Nature* 399, 24-25.
- Toth, N. and K.D. Schick (eds.) [2006]. *The Oldowan: Case studies into the earliest stone age* (Stone Age Institute Press, London).
- Toth, N. and K. Schick [2009]. The Oldowan: The Tool Making of Early Hominins and Chimpanzees Compared, *Annual Review of Anthropology* 38, 289-305.
- Toth, N. et al. [2005]. A Comparative Study of the Stone Tool-Making Skills of Pan, Australopithecus, and Homo Sapiens, in Toth and Schick [2005] pp. 155-222.
- Zhong, S. et al. [2009]. Kjljlj, *Boreas* 1, 122-123.
- Zimmer, C. [2006]. *Hvor stammer vi fra* (Gad, København). Oversat fra "Where did we come from?" (2005).

Abstract

Dating Foundation of the Oldowan Culture.

*P.E. Lindelof, Department of Prehistoric Archaeology, Saxo Institute,
University of Copenhagen, Denmark.*

The