

# Strontium afslører levesteder

Strontiumisotoper i skeletter, hår og tekstiler fra fortidens mennesker kan afsløre, hvor disse mennesker voksede op eller levede de sidste år af deres liv. Det skyldes, at geografiske områder bærer en karakteristisk "strontium-signatur", som indbygges i vores krop.



## Forfatteren

Karin Margarita Frei, ph.d., cand. scient. Nationalmuseet, Danmarks Grundforskningsfonds Center for Tekstilforskning (CTR). Karin.M.Frei@natmus.dk

Når arkæologer studerer efterladenskaber fra tidligere tiders mennesker, vil de meget gerne vide alt om dem: Hvor kom de fra? Hvordan levede de? Hvad spiste de? Hvilke miljøer foretrak de? Hvordan var deres indbyrdes relationer? Hvad troede de på? Ja, alt hvad det overhovedet er muligt at tvinge ud af fortidens genstande. Men de spørgsmål er ikke altid lette at svare på – slet ikke, hvis man kun har et skelet at studere.

Ved hjælp af et bio- og geokemisk redskab baseret på analyse af strontiumisotoper kan vi i dag hjælpe med at besvare det vigtige spørgsmål: Hvor kom de fra?

Metoden kan både bruges til at få oplysninger om,

hvor arkæologiske genstande kommer fra både når det gælder skeletter af dyr og mennesker og endda tekstiler.

## Strontiumisotoper fortæller om geologien

Der findes fire naturlige isotoper af strontium:  $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ , og  $^{84}\text{Sr}$ , hvor  $^{88}\text{Sr}$  er langt den mest almindelige. Tre af de fire naturlige strontiumisotoper er stabile, mens den fjerde,  $^{87}\text{Sr}$ , til dels er et produkt af et radioaktivt henfald af naturligt forekommende rubidium-87 (med en halveringstid på ca. 48,8 milliarder år).

Man har udnyttet dette til datering af geologiske materialer ud fra forholdet mellem mængderne af det radiogene  $^{87}\text{Sr}$  og den stabile  $^{86}\text{Sr}$  samt mængden af Rb i bjergarten.

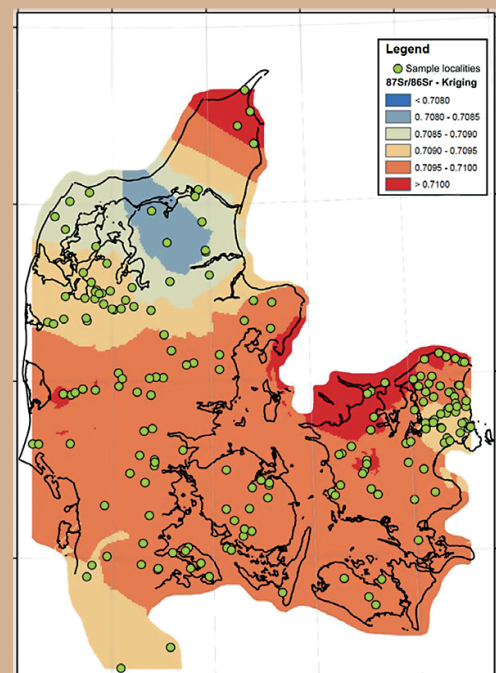
## Strontiumisotop-kortlægning

For at kunne bruge strontiumisotopmetoden, må man kende isotopværdierne af biotilgængeligt strontium i jordbunden i forskellige geografiske områder. Sådanne "strontiumisotopkort" laves ved at indsamle jord, planter og overfladevand fra søer og åer. Isotopværdierne afspejler de geologiske materialer i undergrunden, men der kan også være tilført strontium "udefra" fx med partikler transporteret af vinden.

For nylig har forfatteren sammen med Robert Frei kortlagt Danmark. I Danmark ligger  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -værdierne mellem 0,708 og 0,711 hvis man ser bort fra Bornholm. Værdierne for Bornholm er højere, da Bornholm er det eneste sted i Danmark, hvor grundfjeldet er blotlagt. Med en alder på over 1,4 mia. år er disse klipper således meget ældre end noget andet geologisk materiale i det danske landskab.

Kortet viser i grove træk fordelingen af  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -værdierne i Danmark (fraregnet Bornholm).

Modificeret efter K. M. Frei & R. Frei, Applied Geochemistry (2011)..





Egtvedpigens klæder. De er udstillet på Nationalmuseet, Danmarks Oldtids permanente udstilling. Foto: Karin Margarita Frei

Forholdet mellem de to isotoper  $^{87}\text{Sr}$  og  $^{86}\text{Sr}$ , som betegnes  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , bliver en form for signatur for det geologiske miljø, idet der ikke sker en fraktionering, når bjergarterne nedbrydes. Man kan derfor genfinde det samme  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold i sedimenter og i jorden i det geologiske område. Og derfra havner det i planter og dyr, som lever i området. Det er baggrunden for at bruge metoden indenfor arkæologien til at spore, hvor planter og dyr kommer fra. Et større geografisk område vil nemlig kunne inddeles i mindre områder med et karakteristisk strontiumisotopforhold, som altså afspejler geologien i området.

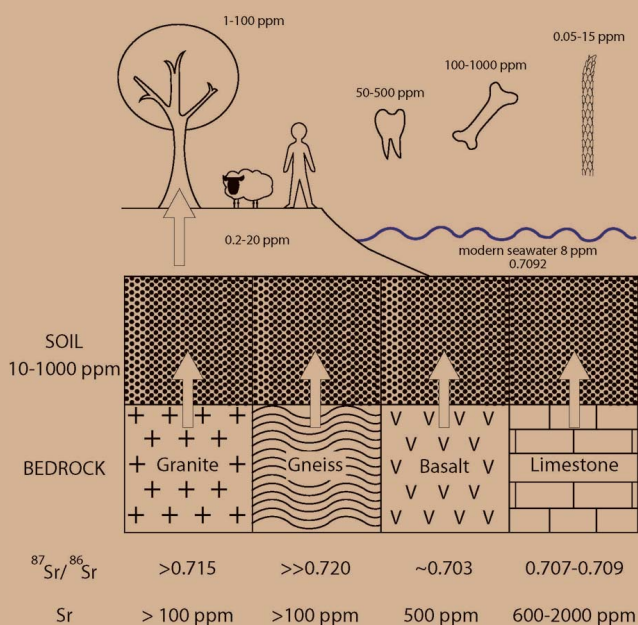
Hos menneskers optages strontium via den mad vi spiser og det vand vi drikker. I kroppen bygges strontium ind i knoglevævet da strontium kan ind-

tage samme plads i knoglestrukturen som calcium. Det er med til at styrke knoglerne ved at gøre deres massefylde større.

### Strontium i mennesket

Strontium optages ikke bare jævnt i kroppen over tid. Fx dannes tandemaljen kun i barndommen og ændres ikke derefter (dog dannes visdomstanden senere i livet). Derfor vil en strontiumisotopanalyse af tandemalje fortælle noget, om hvor personen er vokset op. Tandemaljen er det hårdeste materiale i vor krop og er derfor som oftest det sidste, der findes tilbage når alt andet er forsvundet.

Et godt eksempel på det er Egtvedpiggen. Egtvedpiggen døde som ganske ung (ca. 16-18 år) for mere end 3.300 år siden i bronzealderen. Hendes karak-



### Strontiumisotop cyklus

Forholdet mellem de to strontiumisotoper  $^{87}\text{Sr}$  og  $^{86}\text{Sr}$  varierer i geologiske materialer, hvor bjergartstypen og alderen er de vigtigste parametre. Figuren viser karakteristiske værdier for forskellige bjergarter og hvor stor koncentrationen af strontium typisk er i disse bjergarter. Når bjergarterne nedbrydes til jordbund vil signaturen i form af  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forholdet bevares i jordbunden. Derfra kommer det over i mennesker, dyr og planter, der lever i området.

Værdierne af  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  varierer omkring tallet 0,7 hvilket afspejler, at de to isotoper udgør hhv. ca. 7 % og 10 % af den samlede mængde strontium. Resten udgøres af  $^{88}\text{Sr}$  (ca. 82,5 %) og  $^{84}\text{Sr}$  (ca. 0,56 %).



↑ Karin Margarita Frei i gang med at udtage tandemaljeprøve fra et forhistorisk menneske i laboratoriet hos Dansk Center for Isotopgeologi ved Københavns Universitet.

teristiske klæder samt bronzebæltepladen, udsmykket med spiraler, har gjort hende til en velkendt figur fra Danmarks oldtid. Men der er faktisk ikke så meget tilbage af selve pigen. Kun hår, hjerne, negle, lidt hud og tandemaljen er tilbage. Men det er nok til, at man vil kunne udføre ret præcise strontiumisotopanalyser af hendes tænder, hår og negle, som vil kunne fortælle noget om hendes oprindelse samt hvor hun har været i de sidste måneder op til hendes død. Det er vi netop nu i gang med at undersøge som en del af et stort europæisk forskningsprojekt om bronzealderen i Nord-europa.

I modsætning til tandemaljen bliver knogler ved med at vokse og regenereres ca. hver 10. år. En strontiumisotopanalyse af menneskenes knogler vil derfor fortælle noget om hvor personen har opholdt sig i de seneste ti år af hendes/hans liv.

Strontium lagres også i håret dog i meget mindre mængder end i knogler og tænder. Det skyldes, at der ikke er så meget calcium i hår (knoglerne indeholder 99 % af kroppens calcium), og som tidligere nævnt bygges strontium ind i kroppens væv ved at substituere for calcium. Håret er dog potentielt en meget vigtig informationskilde, da det kan fortælle noget om, hvor personen har opholdt sig de sidste måneder af sit liv. Derfor er der for tiden forskningsprojekter, som går ud på at videreudvikle metoden på såvel menneskehår som dyrehår og dermed tekstiler.

### Inkaer og Ötzi

I dag bruges strontiumisotopanalyse i mange arkæologiske forskningsprojekter over hele verden. Og det har givet megen ny viden om migrationer, handelsruter og netværksforbindelser.

Eksempelvis fandt man i 2004 under udgravninger ved Choquepukio midt i hjertet af Inka-imperiet

i Cuzco-dalen i Peru syv skeletter. Det drejede sig om syv børn med en alder fra 3-7 år. Man formoder, at børnene blev ofret til Gudsolen ved, et ritual med navnet *Capacocha*. Baseret på skriftlige kilder formoder forskerne, at de smukkeste børn fra hele Inka-riket blev valgt til at indgå i dette Capacocharitual. Da man i 2004 fandt så mange børn ofret samme sted, gav det mulighed for at undersøge om nogle af børnene kom langsvejs fra eller om alle var lokale. Strontiumisotopanalyser af børnenes tandemalje viste, at to af dem kom langsvejs fra.

Et andet eksempel er stenaldermanden *Ötzi*, der blev fundet i 1991 ved en gletsjer i Alperne over 3.200 meters højde ved den italiensk-østrigske grænse. Strontiumisotopanalyser har afsløret, at han højt sandsynligt var opvokset nord for Bolzano i Italien. Disse analyser fik afgørende betydning for beslutningen om at han skulle udstilles i Italien og ikke i Østrig.

### Harald Blåtands lejesoldater

I Danmark er metoden fx blevet brugt på skeletter fra "Harald Blåtands hær". Under udgravningerne af den ca. 1.000 år gamle vikingeborg Trelleborg i slutningen af 1930'erne blev der udgravet 133 gravsteder. Nogle grave var fællesgrave, så der blev i alt fundet skeletdele af 157 individer. Man mener, at mange af disse individer begravet i Trelleborg udgør en del af Harald Blåtands hær.

For nylig har man undersøgt tandemaljen fra 48 af disse individer med strontiumisotopmetoden. Resultaterne viste, at ca. halvdelen af dem var opvokset udenfor Danmark (dog fraregnet Bornholm, som pga. sin geologi har strontiumisotopværdier væsentligt anderledes end resten af Danmark). Variationen i strontiumisotopforholdet viste desuden, at de "ikke-danske" individer måtte komme fra forskellige geografiske områder. Man mener derfor, at der må være tale om en slags lejesoldater.

På nuværende tidspunkt er det dog svært at sige præcist hvorfra de kom. Det skyldes, at man stadig mangler at lave strontiumisotopkort over en række europæiske områder. Der er på nuværende tidspunkt en del projekter rundt om i verden, som går ud på at kortlægge de bio-tilgængelige strontiumisotopværdier i forskellige områder. Først når disse er lavet, vil man kunne udpege de mest sandsynlige oprindelsessteder.

Der findes i dag ikke andre lige så veletablerede naturvidenskabelige metoder som strontiumisotopanalyse, der kan bringe os så tæt på, hvor et forhistorisk individ er opvokset.

De senere år er brugen af strontiumisotopanalyser blevet udviklet til også at kunne bruges til fx træ, tekstiler, plantefrø og andre organiske materialer.



## Tekstilfibre i moser

Forhistoriske tekstiler er fremstillet af to forskellige typer af organiske fibre nemlig dyre- og/eller plantefibre. Animalske fibre består af proteiner, som i nogen grad er modstandsdygtige overfor forrådnelse i våde og sure miljøer. Plantefibre består af cellulose, der i nogen grad er modstandsdygtige i tørre og basiske miljøer. Det betyder, at man sjældent finder både animalske fibre og plantefibre i den samme arkæologiske udgravning.

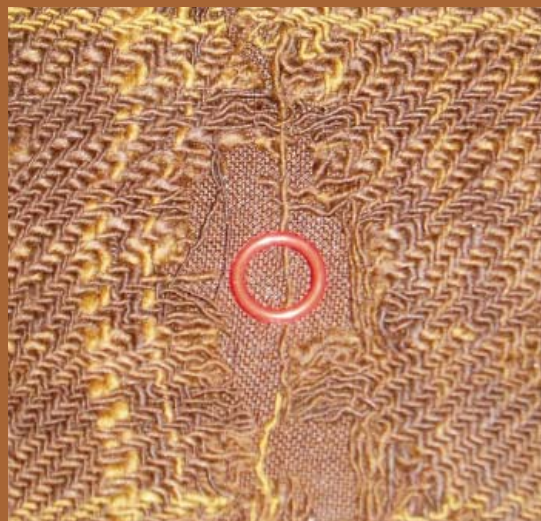
De hyppigst anvendte råmaterialer til tekstilproduktion i Skandinavien gennem forhistorien synes at have været uld og hør. I Danmark finder vi oftest uld, men det skyldes formentlig bevaringsforholdene, da mange arkæologiske fund er gjort i moser. Der findes i hovedtræk to typer af moser: *minerotrofiske* og *ombrotrofiske* moser, hvor den sidstnævnte kun er afhængige af vandtilførsel fra nedbør. Dermed udvikles der et surt og iltfrit miljø, og vegetationen er domineret af tørvemos (e.g. *Sphagnum*). I denne type miljø kan organiske materialer som uld, skind, plantefrø og træ bevares.

Et eksempel er Huldremosekvinden med en af de mest velbevarede dragter fra jernalderen. Huldremosekvinden er i dag udstillet i Danmarks Oldtids permanente udstilling på Nationalmuseet.

↑ På billedet er forfatteren i færd med at udtage prøver af Huldremosekvinden til strontiumisotopanlyser. Huldremosekvinden findes på Nationalmuseet, Danmarks Oldtids permanente udstilling.

↓ Nærbillede af Huldremosekvindens udtørklæde. Den røde ring viser det lille stykke tråd som blev udtaget til at strontiumisotopanlyser.

Fotos: Karin Margarita Frei



→ En af Kinas mest berømte mumier er Yingpan-manden fra det 4.-5. århundrede e.Kr. Kineserne er meget interesserede i at strontiumisotopmetoden udvikles så den også kan bruges til at analysere silkestoffer. Mumien findes på China National Silk Museum i Hangzhou.

Foto: Karin Margarita Frei



#### Videre læsning:

Frei, R. and Frei, K.M., (2013) The Geographic distribution of Sr isotopes from surface waters and soil extracts over the island of Bornholm (Denmark) - A base for provenance studies in archaeology and agriculture. *Applied Geochemistry*, V 38, 147-160.

Bergfjord, C. m.fl., Nettle as a distinct Bronze Age textile plant. *Scientific Reports*, open access jour., 2, 664; DOI:10.1038/srep00664

Frei, K.M. and Frei, R. (2011) The geographic distribution of strontium isotopes in Danish surface waters - a base for provenance studies in archaeology, hydrology and agriculture. *Applied Geochemistry*, V. 26, 326-340.

Frei K.M., Skals I., Gleba M., Lyngstrøm H; (2009) The Huldremose Iron Age textiles, Denmark: an attempt to define their provenance applying the strontium isotope system. *Jour. of Archaeological Science*, V 36, 1965-1971.

Frei, K.M., (2013) Den mobile viking - og sådan afslører vi ham, Vikingtid i Danmark, SAXO Institut, University of Copenhagen.

Frei, K.M., (2012) Exploring the potential of the strontium isotope tracing system in Denmark, *Danish Jour. of Archaeology*, V. 1, 2; 113-122.

### Huldremosekvindens klæder

Tekstiler er sjældne i de fleste arkæologiske udgravninger, da de som regel er rådnet op. Men i visse miljøer kan organisk materiale – og dermed tekstiler – bevares. I Danmark har vi en af verdens vigtigste tekstilsamlinger fra bronze- og jernalderen. Det er de berømte deponeringer i moser, mange af dem fra jernalderen, og egekister fra bronzealderhøje, som har bidraget med disse unikke fund. Det sure og iltfattige miljø, som udvikles i moserne og højene, gør, at organisk materiale som uld og skind kan bevares.

Det er i egekister fra bronzealderen (1.800 f.Kr. - 500 f.Kr.), at de første "beklædningsgenstande" begynder at dukke op i Danmark. Egtvedpiggen er et af de kendte eksempler. Egekisterne er nogle af de mest enestående fund, vi har fra oldtiden i Europa, og de lå begravet dyb under bronzealderhøje. Flere tusinde høje blev bygget af højfolket under en relativ kort periode i bronzealderen. Og selv 3.000 år efter de blev bygget, er disse monumentale grave stadig i dag karakteristiske elementer i vores landskab.

Moserne har igennem historien været et helligt sted for vore forfædre, hvor utallige genstande er blevet ofret. I starten af jernalderen blev mennesker også ofret i moser. Det mest berømte eksempel i verden er Tollund-manden. Men der findes en del andre. Et af dem er Huldremosekvinden, som er det mest velklædte moselig fra dansk forhistorie. Hun blev stedt til hvile i en tørvemose på Djursland omkring det andet århundrede før Kristi fødsel. Huldremosekvinden er det første komplette moselig, som er indgået i Nationalmuseets samling.

Hendes klæder bestod af to skindkapper båret oven på hinanden, et skørt og et tørklæde.

I forbindelse med strontiumisotopanalyserne af klæderne opdagede man yderligere rester af plantefib-

ertråde, som man mener stammer fra et klæde, som Huldremosekvinden bar under uldklæderne. Optiske analyser af plantefibre har vist, at der formentlig er tale om et brændenældeklæde. Strontiumisotopanalyser af Huldremosekvindens uldtørklæde og det nye plantefiberklæde har givet overraskende resultater. Ulden som uldtørklædet blev fremstillet af, har en dansk strontiumisotop-værdi. Derfor er det mest sandsynligt, at de får, som ulden er lavet af, har græsset i Danmark. Modsat har planterne, som plantefibertrådene er lavet af, vokset udenfor Danmark. De høje strontiumisotop-værdier fra plantefibre viser, at det må dreje sig om et geologisk gammelt terræn som bjergarter fra Norge eller den nordlige del af Sverige.

Moselig bliver ofte tolket som individer med lav status. De nye studier med den nyudviklede strontiumisotopmetode viser, at det næppe er tilfældet med Huldremosekvinden, da hun udover en del værdifulde tekstiler også ser ud til at have haft tekstiler, som har været handlet eller fremstillet i udlandet.

### Kurs mod Silkevejen

Som eksemplerne viser, kan strontiumisotopmetoden bringe os tæt på individer, som døde for flere tusinde år siden. Den kan fortælle noget om, hvor de voksede op, hvor de rejste hen og endda, om de havde handlet deres tøj i udlandet. Metodens store potentiale har betydet, at mange forskere nu undersøger nye muligheder for at udvikle metoden. Et af de seneste eksempler er silke. Silke er den mest luksuriøse af alle tekstiler, og den har været handlet flittigt i forhistorien. Men fordi råmaterialet var så værdifuldt, blev trådene tit genbrugt til at væve nye klæder i ny stil. Derfor er det ofte vanskeligt at afsløre, hvor råmaterialet kom fra.

Det vil strontiumisotopanalyser kunne bidrage med fakta om og dermed være med til at give viden om den berømte Silkevej. ■