



Stevns Klint er et storslået mål for en udflugt, og samtidig et nøgleområde i dansk geologi, for her kan vi i den lange klint se grænsen mellem lag fra Kridt- og lag fra Tertiærtid. Billedet viser udhulningen af det bløde skrivekridt, mens den mere modstandsdygtige bryozokalk fra ældste Tertiær (Danien) rager ud over stranden. Ved selve grænsen fortæller de komplicerede strukturer, og specielle aflejringer som det gråbrune fiskeler (se foto), om vekslende havdybder i disse tidsrum.

De nyeste tolkninger af geologien i Stevns Klint - samt i Faxe og Møns Klint - fra Kridttid til nutid - er kommet i den nye rigt illustrerede VARV-ekskursionsfører "GEOLOGI PÅ ØERNE" 1, som foreligger færdig til efterårets ture. Ekskursionsføreren er vokset en del i omfang, siden vi skrev om den i Varv 2 - netop for at kunne bringe de nyeste resultater - som ikke er tilgængelige andre steder. Det medfører desværre, at føreren er kommet til at koste 20 kr (frit tilsendt).

De kan få "GEOLOGI PÅ ØERNE" 1, ved at indsende beløbet på giro 68880 - mærk venligst talonen Fører 2.

VARV

NR. 3 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1971

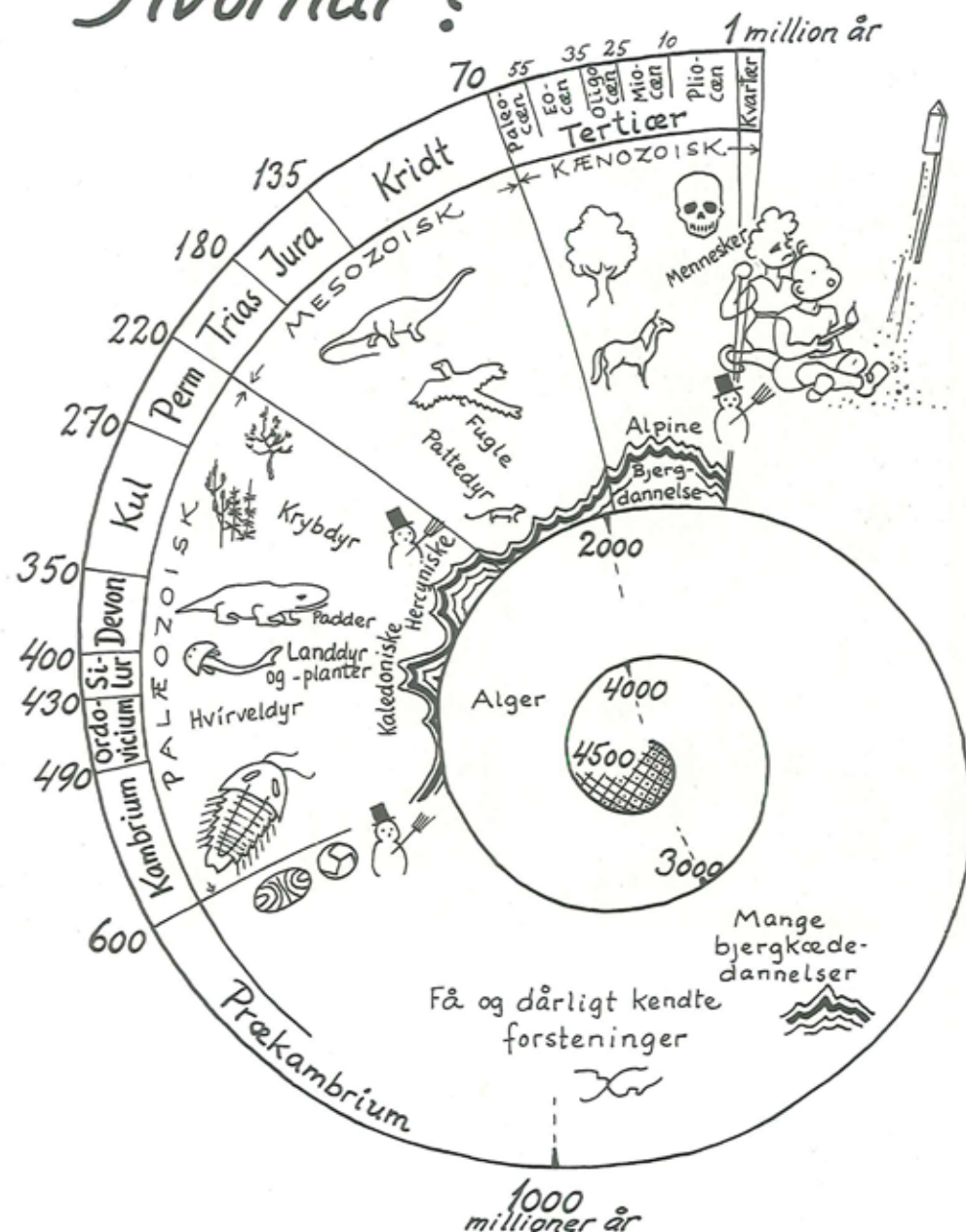


EN SANDSTRAND, EN LILLE SPADE, OG EN STRIBE FORURENING. GEOLOGEN HAR MED FORTSÆT SPRØJTELAKERET SANDET FOR PÅ EN SMART MÅDE, SOM BESKRIVES INDE I BLADET, AT FÅ ET PROFIL MED HJEM AF VASKEBRÆT-STRUKTUREN. VASKEBRÆT-RILLER KAN LAVES AF VIND ELLER VAND OG ER KENDT I TALRIGE AFLEJRINGER FRA ALLE GEOLOGISKE PERIODER.

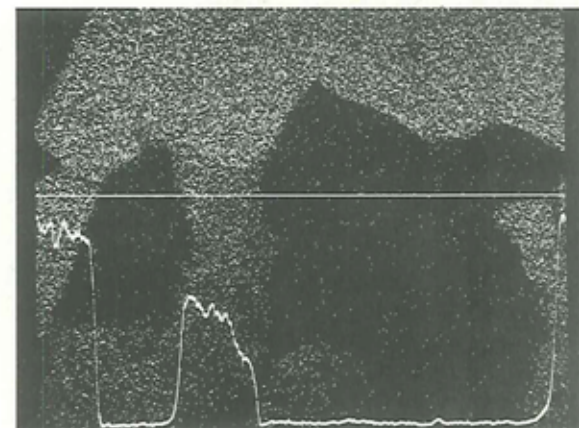
UDSEENDET AF RILLERNES FINE DETALJER, "BØLGELÆNGDE", FORDELING AF SANDSKORNSTØRRELSER MED MERE KAN FORTÆLLE OM, HVORLEDES DE PÅGÆLDENDE LAG ER BLEVET TIL, OM VINDRETNINGER I FORTIDEN, OM STRØMRETNINGER FOR ISTIDENS SMELTEVANDSFLODER OG SÅ VIDERE - ET EKSEMPEL PÅ AT SMÅ TING KAN BIDRAGE TIL AT GØRE FORTIDEN LEVENDE.

I ØVRIGT INDEHOLDER BLADET DENNE GANG ARTIKLER OM PALÆONTOLOGI OG BEFOLKNINGSTÆTHED, TOLKNING AF MÅNENS OVERFLADELANDSKAB, OG KEMISKE ANALYSER PÅ UHYRE SMÅ OVERFLADER AF BJERGARTER.

Hvornår?



roxenkorn og ønsker at undersøge jern's fordeling, indstiller man først analysekrystallerne på den rette bølgelængde og lader derefter mikrosondens elektronstråle skanne hen over kornet, på samme måde som elektronstrålen i et fjernsyn skanner hen over fjernsynsskærmen. I hvert punkt hvor elektronstrålen rammer, vil man nu få oplysninger om den kemiske sammensætning. Lader man disse informationer gå via tællerrørene og deres elektronik ind på en billedskærm, af samme type som anvendes i et fjernsyn, vil man få et billede, der består af små lysende punkter, et for hver gang elektronstrålen rammer et sted i prøven, hvor der er jern. (figur 3).



Figur 3. Koncentrationsbillede af jern i et pyroxenkorn. Det hvidprikkede område viser, hvor der er stor jernkoncentration. I det sorte område findes et plagioklaskorn med ringe jernkoncentration.

Den vandrette hvide linie i billedets midte angiver, hvor der er foretaget en "lineanalyse", det vil sige her har elektronstrålen kørt over en enkelt gang. Resultatet af lineanalysen ses på den bugtede kurve nederst i billedet. Jo højere kurven ligger over grundlinjen, desto højere calciumkoncentration er der på det pågældende sted.

Mikrosondens store fordel ligger i, at den giver mulighed for at foretage analyser som ikke kunne være udført med klassiske metoder. På grund af elektronstrålens ringe tykkelse (1/1000 mm i diameter) kan man foretage analyser på ganske små områder. For eksempel er det ikke særlig vanskeligt at gå helt ud i korngrænsen mellem to mineraler, og se hvorledes den kemiske sammensætning varierer her.

Mikrosonden har også en anden fordel frem for de tidligere beskrevne analysemetoder. Ved en mikrosondeanalyse destrueres prøverne ikke af elektronstrålen. Dette har jo særlig betydning ved sjældne prøver, som for eksempel månemateriale, der foruden til kemisk analyse også skal bruges til andre undersøgelser.

Ole Jørgensen

Hvert grundstof har sit karakteristiske røntgenspektrum, ligesom der var et karakteristisk lysspektrum til hvert grundstof.

For at få grundstofferne til at udsende røntgenstråling beskyder man prøven med en elektronstråle i mikrosonden. På grund af den korte bølglængde kan man imidlertid ikke bruge et glasprisme til at bryde røntgenstrålerne i. For at få et røntgenspektrum må man anvende en passende krystal af for eksempel ammonium-dihydrogenphosphat, lithiumfluorid eller blystearat. Disse krystaller er anbragt inden i mikrosonden, hvor de rammes af røntgenstrålerne fra prøven. Røntgenspektret fremkommer nu ved, at dreje analyse-krystallen om sin vandrette akse, således at vinklen mellem den indfaldende stråle og krystaloverfladen ændres. Ved hver indstilling opnår man, at kun stråling med en bestemt bølglængde reflekteres. Jo større vinklen er mellem krystallen og den indfaldende stråle, jo længere bølglængde har den reflekterede røntgenstråling i den samme krystal (figur 2).

Til at registrere røntgenspektret er lys-spektrografens fotografiske plade erstattet med et elektrisk tællerrør, der er følsomt overfor røntgenstråling. Ved hjælp af et sindrigt mekanisk system, indstilles tællerrøret hele tiden således, at det opfanger den reflekterede stråling, der kommer fra krystallen, når denne drejes. Tællerrøret er af den type, der teknisk betegnes som en proportionaltæller, det vil sige, at den strøm der går gennem røret er proportional med strålingens styrke. For at apparatet kan fungere, må tællerrørets strøm først gå gennem en række elektriske apparater, hvor den forstærkes og omdannes til elektriske impulser, der kan registreres på en skriver eller i et tælleværk. Et røntgenspektrum kommer til at se ud som en meget bugtet kurve, hvor de stejle toppe svarer til spektrallinierne på en fotografisk plade fra en lysspektrograf.

Målinger på mikrosonden foretages i princippet på samme måde som med en lysspektrograf.

Ønsker man for eksempel af måle kalciumindholdet i en plagioklas, anbringer man først en kalciumstandard i mikrosonden, tænder for elektronstrålen og finder en af kalciums karakteristiske røntgenlinier, ved at indstille instrumentets analysekrystaller på den rette bølglængde. Derefter erstatter man standarden med sin plagioklasprøve. Af skriverudslaget kan man nu bestemme forholdet mellem røntgenintensiteten i prøve og standard og da man kender kalcium-koncentrationen i standarden, kan prøvens kalcium-koncentration bestemmes ved simpel proportionalitet. Når mikrosonden først er indstillet på de rette arbejdsbetingelser, kan målinger af denne type udføres meget hurtigt. Med lidt øvelse kan man godt lave 100 plagioklas målinger på en time, et arbejde der i bedste fald ville tage en lille uges tid, hvis de skulle udføres med traditionelle metoder.

Dette er dog kun en af de måder en mikrosonde kan bruges på. En anden teknik tillader, at man laver billeder af sit præparat, som direkte viser, hvorledes grundstofferne fordeler sig. Har man for eksempel et py-

SLÆGTENS SPOR

af Tommy Jørgart

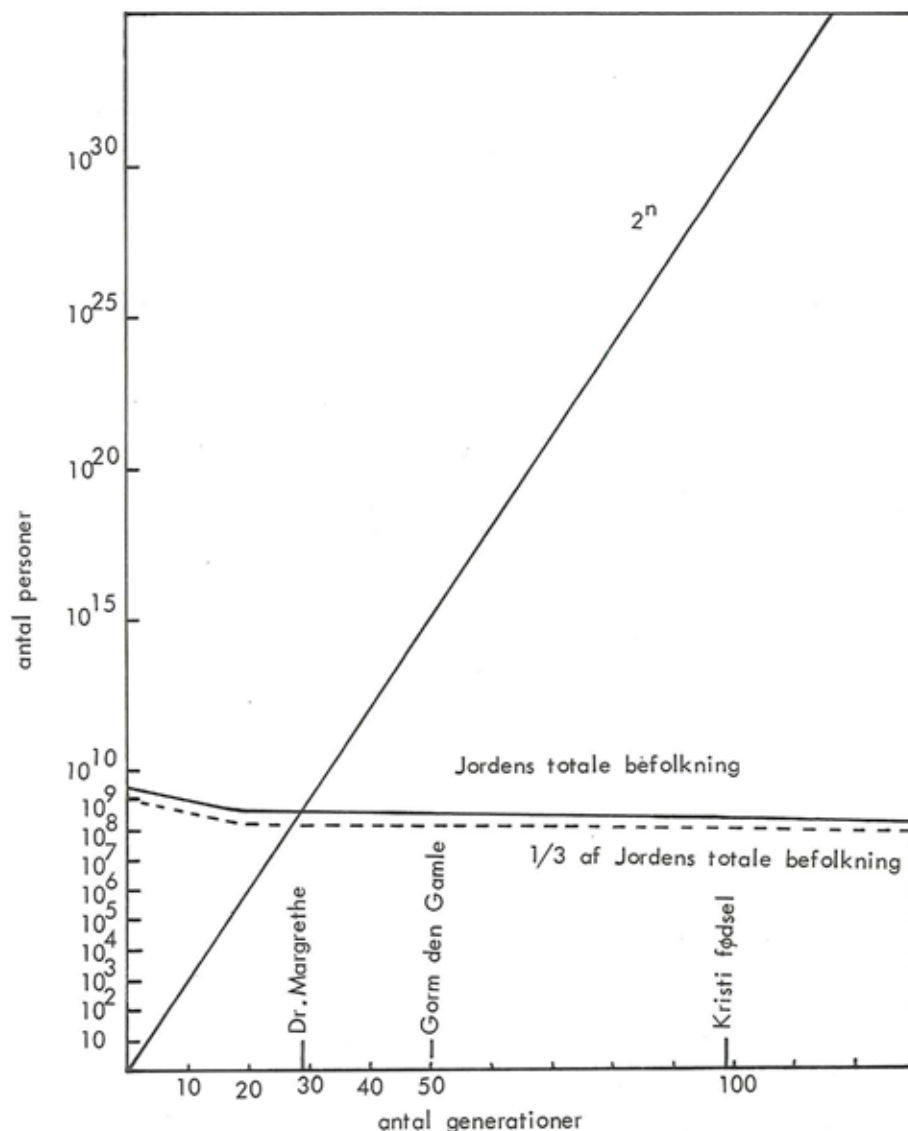
I en spørgeleg jeg en gang var med til blev der spurgt: Hvor mange oldeforældre havde Holger Drachman? Et svar, der var bred enighed om lød noget i retning af: Hvor i alverden skulle vi vide det fra. Ved læseren det?

Det hele er let nok, for omtalte digter havde samme antal oldeforældre som det altovervejende flertal af os, nemlig otte. Spørgsmålet kan illustrere, hvor uvante vi er med at tænke bare nogle få generationer tilbage. I denne artikel vil vi prøve at regne adskilligt flere generationer baglæns og se, hvad vi får ud af det.

Vi starter med en nulevende person og tæller hans forfædre, generation for generation:

generation nr	generationsbetegnelse	antal forfædre
- 1	forældre	2
- 1	bedsteforældre	4
- 2	oldeforældre	8
- 4	tip-oldeforældre	16
- 5	tip-tip-oldeforældre	32
- n		$2^n = (2 \ 2 \ 2 \dots 2)$ n gange

Figur 1 viser antallet af forfædre i hver generation sammenlignet med Jordens totale befolkning. Hvis en generation sættes til 20 år fremgår det, at antallet af forfædre på dronning Margrethes tid (cirka 1400) var lig med det totale antal personer i Verden, inklusive negre og kinesere. Før den tid var det større! Der kan ikke herske tvivl om, at det for store antal forfædre er fremkommet, fordi nogle er talt flere gange. Nogle principielle eksempler på, hvordan dette kan ske er vist figur 2. Den praktiske udførelse af disse eksempler er i konflikt med straffelovene, men den ptolemaiske konge-æt i oldtidens Ægypten, giftede bror med søster igen 800 år (eksempel figur 2a), iverigt uden sygelige tegn på denne indavl. Ptolemaiernes 2^n forfædre forsvinder derved ind til 2. Selv for almindelige mennesker svinder forfædrenes egentlige antal drastisk ind i forhold til 2^n .



Figur 1. Kurven mærket 2^n viser antallet af forfædre i fortiden. Til sammenligning er vist Jordens totale befolkning. Den punkterede kurve viser antallet af personer i een generation, hvis vi regner med, at tre generationer lever samtidig. Denne kurve er umiddelbart sammenlignelig med 2^n .

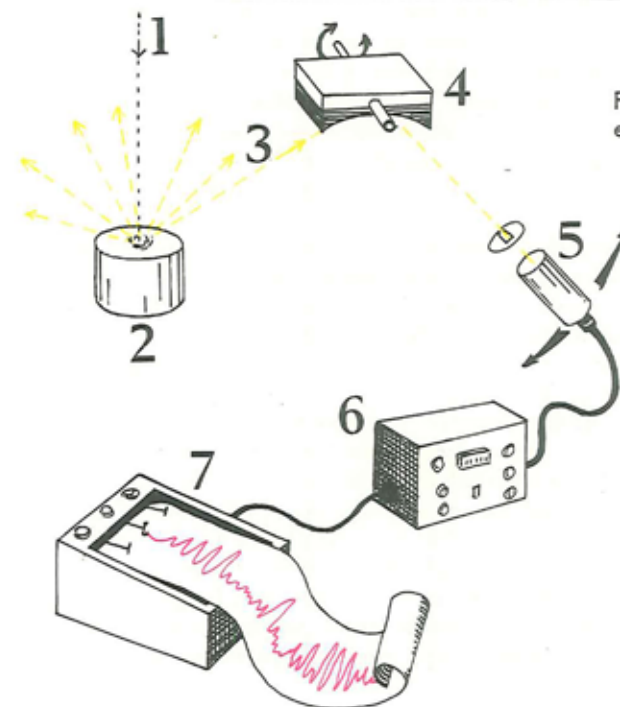
Trods alle fordele ved de beskrevne metoder lider de dog alle af to mangler. For det første tager de lang tid at udføre og for det andet går prøven altid til grunde ved analysen.

Siden anden verdenskrig er der dog udviklet et apparat, som synes at være en ønskedrøm for enhver, der arbejder med grundstofanalyser. Dette apparat kaldes en elektron-mikrosonde.

Takket være en bevilling på 1,1 millioner kroner fra Statens Videnskabsfond har det været muligt at indkøbe og opstille et sådant instrument i institut for mineralogi ved Københavns Universitet.

Elektron-mikrosonden minder både i princip og arbejdsmåde meget om det lige omtalte spektrometer. Forskellen er, at medens spektrometret arbejder med synligt lys, er mikrosonden indrettet til røntgenstråler.

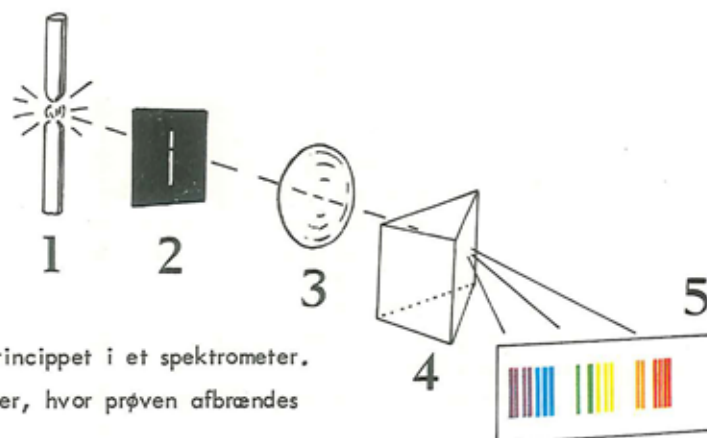
Røntgenstråler og synligt lys er begge elektromagnetiske bølger, der dannes, når atomernes elektroner skifter bane omkring atomkernen. Forskellen mellem de to slags stråling er bølgelængden og det sted i atomets elektronsystem, hvor de dannes. Medens synligt lys dannes ved elektronspring i atomernes ydre elektronsystemer, opstår røntgenstråler i de inderste. Dette har til følge, at røntgenstråler har en meget kortere bølgelængde end synligt lys.



Figur 2. Princippet i en elektron-mikrosonde.

1. Elektronstråle
2. Præparat
3. Røntgenstråler
4. Analysekrystal
5. Proportional tæller
6. Forstærker
7. Skriver

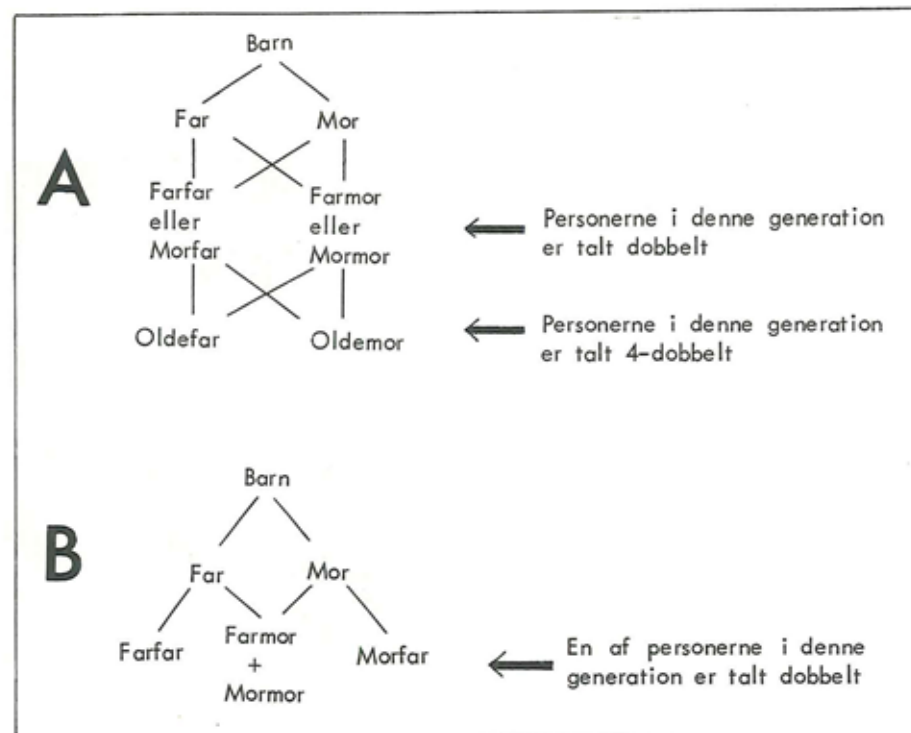
lem to kulstænger, imellem hvilken man kan tænde en elektrisk lysbue (buelys). Når buen tændes fordampes prøven i den stærke varme (3000°C) og de tilstedeværende grundstoffer udsender lys med hver sin karakteristiske farve. Disse farver kan det menneskelige øje ikke nå at opfange, men de kan registreres af et spektrometer. Dette instrument består i princippet af et linsesystem, der kan koncentrere lyset i et prisme, hvor det brydes og opløses i sine enkelte farver, så der fremkommer et spektrum (figur 1). Et sådant spektrum består af et større eller mindre antal linier af forskellig farve. Farvernes orden er den samme, som man kender fra en regnbue rød, gul, grøn, blå og violet. Hvert grundstof i det periodiske system har sit karakteristiske spektrum af linier, som kan bruges til identifikation af stoffet.



Figur 1. Princippet i et spektrometer.

1. Kulstænger, hvor prøven afbrændes
2. Blænde
3. Linse, som samler lyset i prismet
4. Prisme, som bryder lyset
5. Fotografisk plade med spektrum

Selve spektralanalysen foregår nu på den måde, at man først fotograferer prøvens spektrum og ser, hvilke spektrallinier, den indeholder, og dermed hvilke grundstoffer, der er til stede. Derefter laver man sig nogle standarder, der indeholder kendte mængder af de grundstoffer, man ønsker at bestemme kvantitativt. Standarderne afbrændes og spektrene fotograferes ligesom det skete med prøven. Ved nu at sammenligne sværtningen af de fotografiske plader, kan man få et mål for grundstoffernes koncentration i prøven, idet spektralliniernes lysstyrke - og dermed sværtningen af den fotografiske plade - stiger med stofkoncentrationen.



Figur 2. Nogle eksempler på, hvordan forfædrene kan optræde som "doblede forfædre".

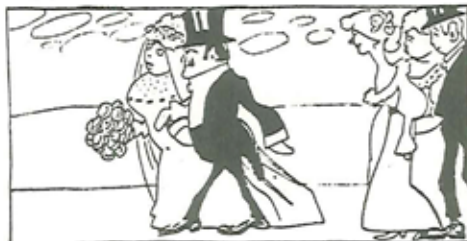
Dette er lettest at vise ved at gå den modsatte vej, det vil sige, starte med en given, men tilfældig person i verdenshistorien, lad os kalde ham Jensen, og generation for generation udregne, hvor stor sandsynlighed der er for, at to af Jensens efterkommere får børn sammen. Disse børn vil nemlig have Jensen som dobbelt forfader. For overhovedet at kunne udføre beregningerne må vi forenkle situationen. Vi vil bruge følgende forudsætninger:

1) Jordens befolkning antages at være på 3×10^9 personer (det vil sige 3 milliarder), hvilket antages at forblive konstant ved, at alle par får 2 børn.

2) Tre lige store generationer, en ung, en midaldrende og en gammel, antages at leve side om side. En ny generation fødes samtidig med, at den gamle dør. Afløsningen sker med regelmæssige mellemrum. Hvis den totale levetid eksempelvis sættes til tres år, sker afløsningen hvert tyvende år. Ved denne drastiske forenkling slipper vi for forviklinger som i figur 3.



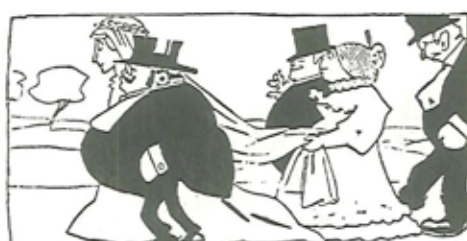
1) En smuk Dag, da jeg var hos Landingen, gjorde jeg Befendtskab med en meget indlagende og interressant Gæst.



2) Siga fontes em brinde — suas fontes em via, ou seja, a partir de 1971.



3) Hun hadde sin forrige Wgtsfals en met voljen Dattier; heude san min Gader
en hien indooert i heude.



4) Hans hentes allisaa godt om hende, og da hun ogsaa hentes ganske godt om ham, hvad var saa naturligt, end at de gikte sig. Min Fader var nemlig Entomolog. „I sine bedste Aar," som man siger.



5) Et var senere hendes min Gustru mig en lille søn. Min søn var alligevel min Robert Grover og i smalle band Carl, da han jo var min Gfærmødres Broder.



6) Min unge Stegmøder havde et Hælses min Fader en lille Son. Han var alt-
saa min Broder, men somtiden var Barnløst, da han var min Fæters Son.



7) Hos denne Mand blev altsaa min Hustru Bedstemoder, og jeg var den samme Tid hendes Mand og hendes Barnsbarn — — det var til at se fra Forældrenes øie — —



8) Eller vildest du jeg jo egentlig, da „Bedstemoderens“ Mand jo var død
„Bedstemoderen“ — — jamen ja er jeg jo — det lyder utroligt, men det er dog
ja — ja er min egen Bedstemoder!

Mange grundstoffer danner imidlertid ikke farvede "glasser". Vil man påvise disse, må man bruge en anden teknik og her er den simpleste, flammefarvning. Ideen bag denne prøve er, at alle grundstoffer udsender lys med en karakteristisk farve, når de bringes til at gløde i gasform (luftform). Sagt mere teknisk, hvert grundstof har sit eget karakteristiske lys-spektrum.

Alle disse metoder lider dog af en mangel. De fortæller ikke noget om, hvor meget der er af de enkelte grundstoffer. For at kunne skrive et minerals kemiske formel eller bruge en bjergartsanalyse til beregninger må man have en kvantitativ analyse. Man skal både vide hvilke grundstoffer, der er til stede og i hvor store mængder, de forekommer.

At lave en god kvantitativ analyse er en hel videnskab for sig, og det er normalt noget geologen overlader til en kemiker, der har specialiseret sig i den slags arbejde.

Uden at komme ind på detaljer skal princippet for en sådan analyse lige skitseres. For at kunne arbejde med materialet, må kemikeren først opløse bjergarten eller mineralet. Dette sker enten i syre eller hvis dette ikke er muligt ved en smeltning i soda og natriumhydroxid. Bagefter kan smeltmassen så opløses i vand eller syre.

Derefter begynder så et ofte langvarigt arbejde med kvantitativ adskillelse og udfældning af de enkelte grundstoffer, så deres mængder kan blive bestemt hver for sig. Af de 92 naturligt forekommende grundstoffer søger og bestemmer man normalt kun en lille snes stykker. Resten forekommer enten ikke i mineralerne eller findes kun i ringe mængde som "sporstoffer", der kun vanskeligt lader sig bestemme ved en almindelig "vådanalyse".

Vil man imidlertid have sporstofferne med, må man foretage en spektralanalyse.

I princippet adskiller denne metode sig ikke fra den lige omtalte flammefarvning. Ved spektralanalysen anbringer man lidt af sin prøve mel-

Figur 3.

fra Blæserør til Mikrosonde

af Ole Jørgensen

Blandt de mange undersøgelser der foretages af geologisk materiale hører også en bestemmelse af prøvernes kemiske sammensætning. Afhængig af materialets natur og den ønskede analyses nøjagtighed, kan sådanne bestemmelser foretages på vidt forskellig måde.

Den simpleste form for kemisk analyse man kan foretage er, at se på prøvens mineraler og derigennem få et indtryk af hvilke grundstoffer, der er til stede. Står man for eksempel med en kalksten, kan man med det samme sige, at den må indeholde omkring 40 % kalciumoxid og en lignende mængde kuldioxid plus mindre mængder af magnesium-, silicium- og jernoxider. Er bjergarten enten for finkornet for direkte iagttagelse eller har den af andre grunde et udseende, så den ikke lader sig genkende umiddelbart, kan den underkastes en nærmere undersøgelse med lup eller mikroskop.

Man kan også underkaste sin bjergart en første kemisk analyse med ganske primitive midler. Drejer det sig således om en formodet kalkbjergart, kan man dryppe lidt fortyndet saltsyre på prøven. Begynder syren nu at bruse, er det tegn på, at der udvikles kuldioxid. Kalksten er jo kemisk set kalciumkarbonat (CaCO_3), og når denne reagerer med saltsyre (HCl), dannes der kalciumklorid (CaCl_2), vand (H_2O) og kuldioxid (CO_2).

Naturligvis er det langt fra alle bjergarter og mineraler, der kan bestemmes med så simple midler. Op gennem det sekstende og syttende århundrede blev det imidlertid blandt bjergværksfolk en hel kunst at bestemme mineraler med, hvad vi i dag vil kalde primitive midler. Denne kunst var naturligvis ikke baseret på nogen særlig stor teoretisk viden om grundstoffernes kemi. Til gengæld havde man erhvervet sig en omfattende praktisk erfaring i at vurdere malmenes sammensætning, ved at se på farverne af slagterne fra smelteovnene.

Den metode de gamle bjergværksfolk mestrede, bruges endnu ved den såkaldte blæserørsanalyse. Ved hjælp af et tyndt metalrør kan man blæse på en sprit- eller gasflamme, så man får en tynd stikflamme, hvis temperatur ligger mellem 1000° og 1500°C . Ved den høje temperatur kan man smelte borax eller soda, der holdes ind i flammen på en lille platintråd. I boraxen eller sodaen har man i forvejen blandet lidt pulver af det mineral, man ønsker at undersøge. Ved smeltningen opløses mineralet i flusmidlet (her borax eller soda), og efter en hurtig afkøling vil man få en

3) Der sker en grundig opblanding af alle mennesker over hele jordkloden.

4) Jensens efterkommere kender ikke hinanden på nogen måde. Lovene for sandsynlighedsregning kan derfor benyttes.

Det er lettest at koncentrere sig om de personer, der ikke er efterkommere af Jensen. Af dem er der 999 999 998 i første generation efter Jensen, det vil sige sandsynligheden for, at en person i 2. generation ikke er efterkommer af Jensen er

$$S_2 = \frac{999999998}{10^9} \times \frac{999999997}{999999999}$$

Udtrykket kan uden at ændre sig særlig meget simplificeres til

$$S_2 = (0.999999998)^2$$

På samme måde kan vi simplificere fortsættelsen, det vil sige

$$\begin{aligned} S_3 &= S_2^2 \\ S_4 &= S_3^2 = S_2^4 \\ \text{etc.} \\ S_n &= S_2^{2^{n-2}} \end{aligned}$$

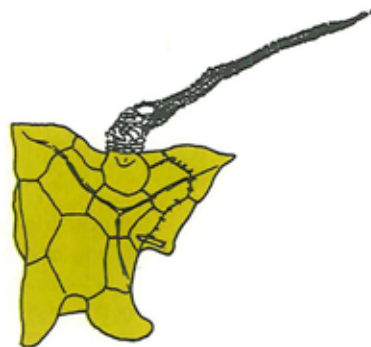
Forskellige værdier af S_n er opgivet i den følgende tabel

n	S_n
2	0.999 999 996
4	0.999 999 984
10	0.999 998 976
20	0.998 951 973
25	0.967 002 273
26	0.935 093 396
27	0.874 399 660
28	0.764 574 766
29	0.584 574 573
30	0.341 727 431
31	0.116 777 637
32	0.013 637 016
33	0.000 185 968
34	0.000 000 034 584
35	0.000 000 000 000 001

Det er en forbløffende lære man kan drage af disse tal. Efter 25 generationer er så stor en andel som 96,7 % af verdens befolkning stadig ikke Jensens efterkommere, men derefter går det stærkt. Allerede efter 30 generationer er Jensen stamfader til 2/3 af verdens befolkning. Efter 35 generationer er det ikke muligt at opdrive en person, som ikke stammer ned fra Jensen.

Det overlades til læseren at filosofere over, hvor realistiske de opgivne tal er, hvis de fire forudsætninger ikke holder. Det bliver dog næppe muligt at anfægte følgende konklusion: Hvis vi fører vort stamtræ et vist antal generationer tilbage i tiden kan vi være sikre på, at det er fælles for os alle.

Eller sagt på en anden måde. Hvis vi i forhistorien møder et dyr, som er menneskeslægtens direkte forfader, så er det faktisk også læserens. Fra dette dyr til denne læser løber udviklingen. Hvis De tror, at mennesket stammer ned fra Ceratocystis fra Kambrium betyder det, at hver enkelt forstenet Ceratocystis er Deres tip-tip-tip-o.s.v.... oldefar eller -mor, undtagen naturligvis, hvis man er så uheldig at stå ved det sidste hvilested for et eksemplar, som levede stærkt og døde inden der blev lejlighed til at forplante sig. Hils på Deres tip-tip-tip-o.s.v. -oldefar på figur 4.



Figur 4. Ceratocystis, et dyr beslægtet med søpindsvin, fra Kambrium. Er det Deres direkte stamfader?

T. jørgensen

Imbrium-krateret er meget gammelt ses ved, at det er helt fyldt med mørke materialer. Aldersbestemmelse af hjembragt månemateriale af denne type viser, at dette materiale oversvømmede krateret og andre dele af Månens forside for 3-4 milliarder år siden. De oversvømmede kraterer må derfor være endnu ældre, nogle af dem måske så gamle som Månen, 4,6 milliarder år.

Det forhold, at de gamle kraterer er Månens største, skal måske tages som et fingerpeg om, at meget var anderledes i solsystemets tidligste dage. Er Imbrium-krateret vidne om selve opbygningen af Månen? Hvis Månen er opstået og vokset ved indstørtning af planetoider, det vil sige, småplaneter, som kredsede om et fælles tyngdepunkt, kan det regnes ud, at de yderste af disse er faldet med så godt som laveste hastighed, cirka 1,7 km per sekund. Denne situation, der er beregnet i øverste linie af tabellen, fører til den størst mulige masse af planetoiden, som er cirka 1/26000 af Månens masse. Diameteren af Imbrium-planetoiden kan beregnes ved at antage, at den var kuglerund og havde massefylde som Månen, 3,3 g per kubikcentimeter. Den har været større end Sjælland, som det fremgår af tabellens sidste kolonne (de andre tal i tabellen er til sammenligning).

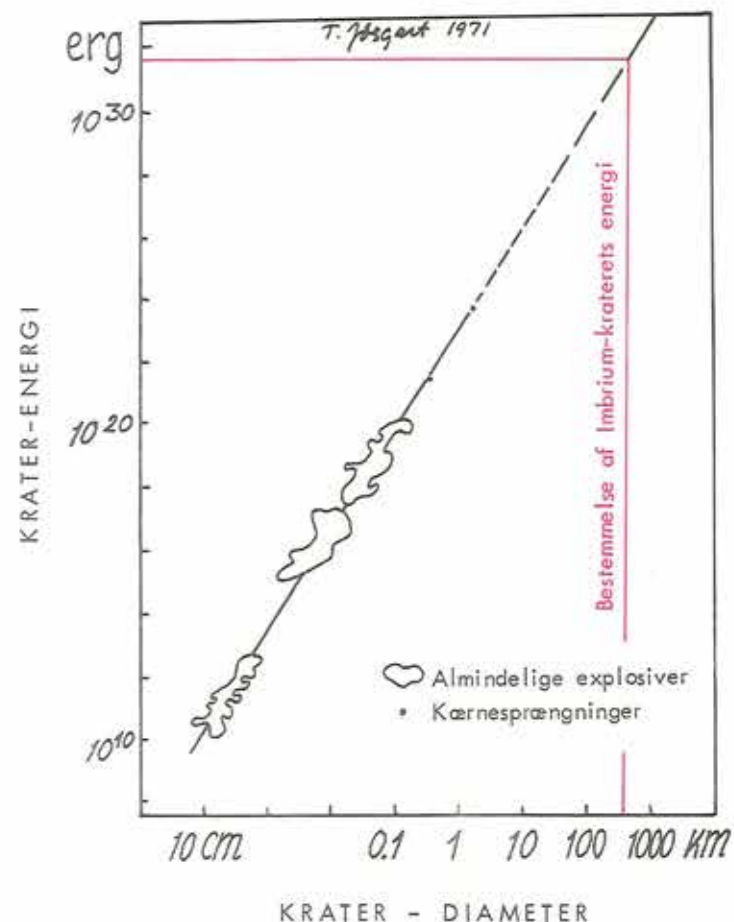
T. jørgensen

VARV

Postadresse: Tidsskriftet VARV, Mineralogisk Museum, Østervoldgade 5-7, 1350 København K. (Tlf. Mi 5001).
Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Mona Hansen, Søren Floris, Erling Bondesen.

VARV udkommer fire gange om året. Prisen er 15.00 kr i abonnement. Abonnement tegnes ved indsendelse af beløbet til VARV, postgiro 68880. (Moms inkluderet).
Alle henvendelser vedrørende adresseforandring, fejl ved bladets levering, og lignende bedes rettet til postvæsenet.

Eftertryk af tekst og billeder er kun tilladt med kildeangivelse.



Figur 2. Sammenhængen mellem krater-diameter og krater-energi. Data samlet fra forskellige kilder. Bemærk at begge skalaer er logaritmiske, det vil sige, at trinene er 1, 10, 100, 1000 og så videre i stedet for 1, 2, 3, 4 og så videre.

Den størst mulige masse som Imbrium-meteorstenen kan have haft ses at være cirka 2000 gange større end den mindst mulige. Men den midterste værdi skulle vel være mere typisk? Ja, dette ville nok ikke være meget galt, såfremt Imbrium-meteoriten tilhørte asteroiderne. Om dette er tilfældet er imidlertid langt fra sikkert. Imbrium-krateret tilhører nemlig en type kratere, som er meget store og meget gamle, fra Månens ældste tid. At

Bølgegang

Af Jens Bruun-Petersen

Når man på de varme sommerdage går i vandet for at blive lidt afkølet, ser man tit, at sandbunden er bølget som et vaskebræt. Ved lavvande kan man se, at sandoverfladen er delt op i et stort antal flade rygge, "kamme" med mellemliggende fordybninger, "trug". Afstanden mellem kammene er som regel omkring 1 - 10 cm, sjældnere mere. Ofte vil man se, at ryggene deler sig og eventuelt igen løber sammen. I sjældnere tilfælde danner de mere komplicerede mønstre, men som regel er de parallelle over større afstande (figur 1). Ryggene er mere eller mindre symmetriske, det vil sige, hver ryg er nogenlunde ens til begge sider i tværsnit, og de fineste sandskorn ligger på toppene (øverst på ryggen).



Figur 1. Bølgeribber, Koresand.

Når strømmende vand passerer et sandet område, dannes tilsvarende strukturer med retning omtrent vinkelret på strømmen. I modsætning til før er de altid asymmetriske med den flade side mod strømmen. De groveste korn ligger på toppen og den stejle læside. Strukturerne er parallelle, eller kan vise alle overgange til uregelmæssige, buede former, der kan minde om tunger (figur 2).



Figur 2. Tungeformede strømribber, Oxby

I det tørre sand på stranden ser man en tredje udgave. Ryggene er igen asymmetriske med den flade side mod vinden, men er fladere end de ovennævnte. De groveste korn er også her i læsiden.



Figur 3. Vindribber, Skallingen.

Udover E, som kendes fra diagrammet figur 2, skal også kendes v, meteorstenens hastighed i nedslagsøjeblikket. Det gør man naturligvis ikke, men man er ikke fuldstændig hjælpeløs, når der skal gættes. Ikke alle hastigheder er nemlig lige sandsynlige, og nogle er umulige.

1) Hastigheder under 1,7 km per sekund kan ikke forekomme på grund af Månens egen tiltrækning.

2) Materiale fra solsystemet kan på den anden side ikke overstige 73 km per sekund i forhold til Månen. Et legeme, der kommer fra det uendelige og som er påvirket alene af Solens tyngdekraft vil i et frontalt sammenstød ramme Månen med netop denne hastighed.

3) I øjeblikket rammes Månen næsten udelukkende af meteorsten, hvis hastigheder i forhold til Månen er cirka 10-30 km per sekund. Dette kan man slutte ud fra observerede meteorstensfald på Jorden. I de få tilfælde, hvor man har kunnet bestemme meteorstenenes bane før de faldt, har det vist sig at være langstrakte ellipser, der når ud i nærheden af Jupiters bane. Der er god grund til at tro, at næsten alle meteorsten kommer fra denne distance, idet der i zonen mellem Mars og Jupiter kan observeres et stort antal små planeter, asteroiderne, af hvilke meteorstenene kan være større eller mindre brudstykker. Asteroiderne har sandsynligvis været den eneste meteorstenskilde i lange tider og det er givet, at et stort antal kratere på Månen stammer fra eksploderede asteroider. Det er muligt at beregne, at asteroiderne vil ramme Månen med en typisk hastighed på 20 km per sekund.

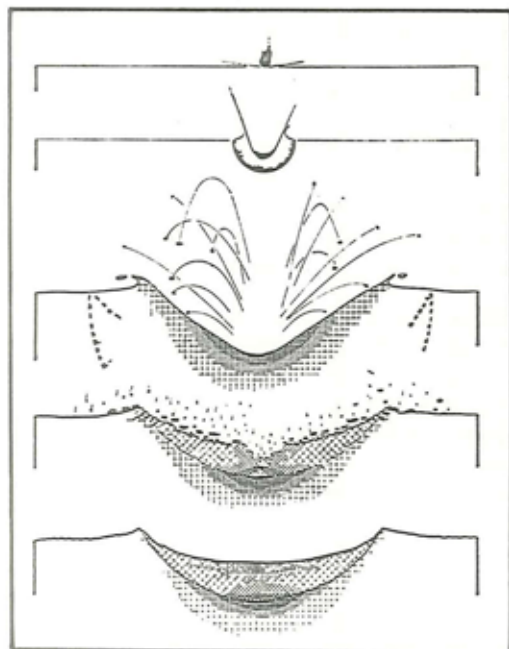
Som eksempel vil massen m af det legeme, som dannede Imbrium-krateret blive beregnet, idet udgangspunktet tages i de foregående oplysninger om hastigheden af himmellegemer, der slår ned på Månen samt Imbrium-meteorstenens energi som bestemt ved figur 2. Vi har

$$\frac{1}{2} m v^2 = 4 \times 10^{31} \text{ erg.}$$

I nedenstående tabel er opført nogle samhörrende værdier af masse og hastighed, som passer ind i denne ligning.

Situation	hastighed (km/s)	masse ^{*)} (g)	$\frac{1}{2} m v^2$ erg	diameter (km)
v mindst mulig	1,7	$2,8 \times 10^{21}$	4×10^{31}	117
v typisk	20	$2,0 \times 10^{19}$		23
v størst mulig	73	$1,5 \times 10^{18}$		9,6

^{*)}Til sammenligning er Månens masse $7,344 \times 10^{25}$ g



Figur 1. Dannelse af et meteornedslagskrater i fem trin. Efter Dence (1968).

1. Måneoverfladen rammes.
2. Meteorstenen exploderer, hvorved den selv og overfladematerialet fordampes, smeltes, smadres og udslynges.
3. Det udslyngede materiale vender delvis tilbage i ballistiske kurver.
4. Krateret er nu næsten komplet.
5. Opbygningen af det færdige krater. De centrale dele er stærkest påvirket af eksplosionen.

med sprængstoffer med kendt energiindhold på jordoverfladen eller i ringe dybde under denne. Som sprængmidler har man brugt atombomber, trotyl og beskydning med projektiler. Eksperimenterne har frembragt kraterer op til over 1 km i diameter. I diagrammet figur 2 er afsat et stort antal af kendte samhoørende værdier af kraterdiameter og sprængstofenergi. De ligger tilnærmelsesvis på en ret linie uanset sprængstoffets karakter. Nu kan man håbe på, at den rette linie stadig er rigtig, hvis vi betragter større kraterer og energier (den punkterede linie). I så fald kan man benytte diagrammet til udfra de store månekraters diameter at bestemme energien E af de eksploderede meteorsten (meteoriter). Det største månekrater, Mare Imbrium med en diameter på 600 km, er dannet ved en eksplosion på 4×10^{31} erg ifølge figur 2. Dette svarer til en milliard megatonbomber.

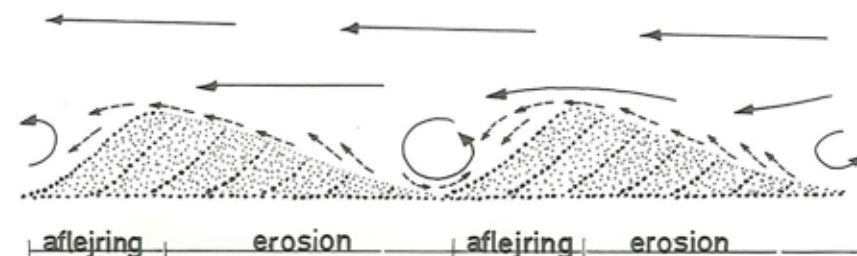
METEORSTENENES STØRRELSE

Det kunne være interessant at få noget at vide om, hvor store meteorstenene er, det vil sige deres masse m . Hertil kan formlen $E = \frac{1}{2} m v^2$ igen bruges, idet den skrives om til

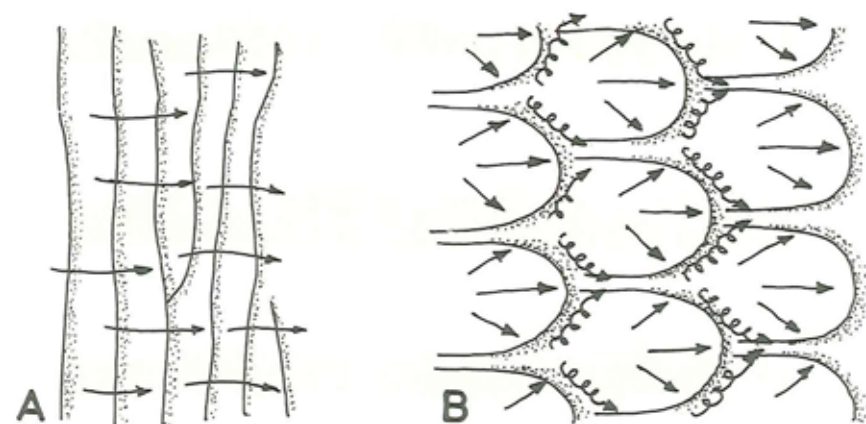
$$m = \frac{2 E}{v^2}$$

De tre ovennævnte strukturer kaldes "bølgeribber", "strømrubber" og "vindribber". Betegnelsen "bølgeslagsmærker" har også været anvendt. På engelsk bruges udtrykket "ripplemarks", på tysk "Wellenfurchen".

Når man laver et snit gennem et sæt strømrubber, ser det ud som på figur 4. Med fuldt optrukne pile er strømrubningen angivet, og med stiplede pile er angivet materialetransporten. Den flade skråning kaldes luvside, den stejle kaldes læside. Tegningen kunne være et snit gennem en klit, og materialetransporten sker også på samme måde. Strømmen fører sandkorn op ad luvside til toppen, herfra ruller de ned ad læside og gribes af hvirvlerne i trugene og begynder en ny vandring op ad den næste luvside. Nogle af sandkornene har strømmen samlet op på luvside, og nogle af dem efterlader den på læside. Således bevæger ribben sig langsomt i strømmens retning.



Figur 4. Tværsnit i strømrubber. Fuldt optrukne pile viser vandets strømning (bemærk hvirvlerne i trugene), stiplede pile viser materialetransporten.

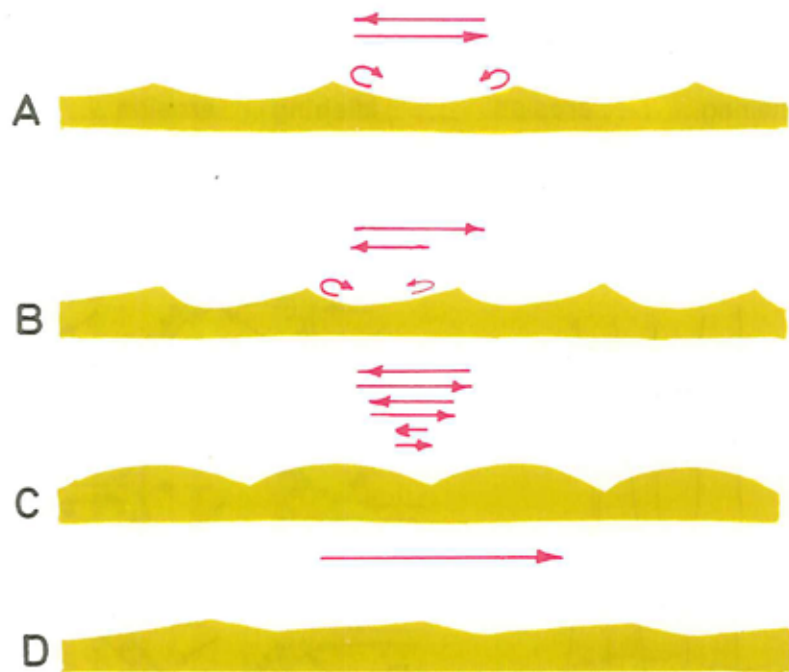


Figur 5. A Parallelle strømrubber, B tungeformede strømrubber. Prikket signatur viser beliggenheden af de stejle læsider.

Strømribber set ovenfra kan se ud på to måder. Figur 5 A viser parallelle strømribber, der dannes i en vandstrøm over en vis dybde. Strømlinierne løber omtrent parallelt, og der er hvirvler i ryggenes læside. Figur 5 B viser de tungeformede strømribber, der dannes af hurtigt strømmende vand på lav dybde (ofte kun få centimeter). Strømlinierne løber ikke parallelt, og der er hvirvler mellem "tungerne".

Vindribber består som regel af parallelle rygge, men de er meget fladere end de ovennævnte og kan være endnu mere asymmetriske (figur 6 D). Vinden transporterer større korn ved "krybning" langs overfladen, mindre korn transporteres ved "hopning", og de mindste svæver i luften - har vi ikke alle prøvet at få støv i øjnene, når det blæser? Ved bestemte vindhastigheder bliver resultatet som vist.

De først omtalte bølgemærker på sandbunden er dannet på dybder, hvor overfladebølgenes bevægelse af vandpartiklerne når ned til bunden. I vandoverfladen beskriver vandpartiklerne en cirkelformet bane, men ved bunden er den blevet til en frem- og tilbagegående bevægelse. Bølgeribberne får på denne måde flade trug og spidse kamme (figur 6 A). Er der en svag strøm, bliver de lidt skæve (figur 6 B) og kan have alle overgan-



Figur 6. A symmetriske bølgeribber, B "skæve" bølgeribber og C bølgeribber ved aftagende bølgebevægelse, D vindribber.

undslippe Jordens tyngdefelt. På Månen ville det gå anderledes, idet Månens løsrivelseshastighed er $2\frac{1}{2}$ km per sekund. Kun en forsvindende ringe andel af en hypotetisk måneatmosfæres molekyler ville overstige denne hastighed, men der er alligevel tilstrækkelig mange til, at en måneatmosfære så tæt som Jordens vil forsvinde så godt som totalt i løbet af 100 millioner år. Dette gælder naturligvis også væsker, som kan fordampe let, for eksempel vand. At Månen ikke har atmosfære og oceaner er altså let at forklare på grund af, at gasmolekyleres bevægelsesenergi udtrykkes som $\frac{1}{2} M v^2$.

Månens mangel på atmosfære og vand har to vigtige konsekvenser:

1) Forvitring, det vil sige nedbrydning af de geologiske aflejringer, kan ikke finde sted. På Jorden foregår nedbrydning som bekendt ved mekanisk og kemisk indvirkning af vand og atmosfære.

2) Måneoverfladen er ubeskyttet mod bombardement af meteorsten og partikler fra verdensrummet. På Jorden brænder alle små legemer op i atmosfæren. De større meteorsten når ned, men for flertallets vedkommende kun hvis de har en heldig faldretning, hvor de bremses tilstrækkeligt for sigtigt op.

MÅNENS KRATERE

Der hersker i dag ikke tvivl om, at Månens koparrede udseende skyldes disse to faktorer. Når Månen rammes af et legeme fra verdensrummet, dannes et krater, som afhængig af dets størrelse vil forblive uskadt igennem millioner eller milliarder år. Dets levetid på måneoverfladen er bestemt af den tid, der går indtil et eller flere nye meteornedslag udsletter det.

Figur 1 viser selve dannelsen af krateret. Man vil måske studse over, at meteorstenens størrelse er så lille i forhold til krateret, men dette er ingen fejltagelse. Det er ikke meteorstenens diameter, men dens energi, der afgør, hvor stort krateret bliver. Når en meteorsten standses af måneoverfladen udløses al dens bevægelsesenergi, som udtrykkes ved den nu så velkendte lov

$$E = \frac{1}{2} m v^2.$$

Hvis meteorstenen har en hastighed på 3 km per sekund, er dens bevægelsesenergi $\frac{1}{2} \times (3 \times 10^5)^2 = 4,5 \times 10^{10}$ erg per gram. Dette siger ikke umiddelbart ret meget, men det svarer til sprængenergien af trotyl. En meteorsten, der rammer måneoverfladen med nogle få km per sekund vil derfor virke som et kraftigt sprængstof. Ofte vil virkningen være langt kraftigere end trotyls, idet 3 km per sekund er noget nær den laveste hastighed, et legeme kan ramme Månen med. Eksplosionen fører til dannelsen af et krater, hvis diameter afhænger af den eksplosive energi. Sammenhængen er simpel, hvilket man har fundet ud af ved at eksperimentere

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

EN HJÆLP TIL FORSTÅElsen AF MÅNENS KRATERE.

af Tommy Jørgart

Geologen kan ofte have glæde af at ty til fysikken, når geologiske fænomener skal forklares. Vi skal nu se, hvorledes overskriftens formel er nøglen til forståelsen af månelandskabets udformning.

$\frac{1}{2} m v^2$ er bevægelsesenergien af et legeme med massen m og hastigheden v . Hvis massen måles i gram og hastigheden i cm per sekund, får man bevægelsesenergien i erg. Denne energienhed vil vi fortrinsvis benytte.

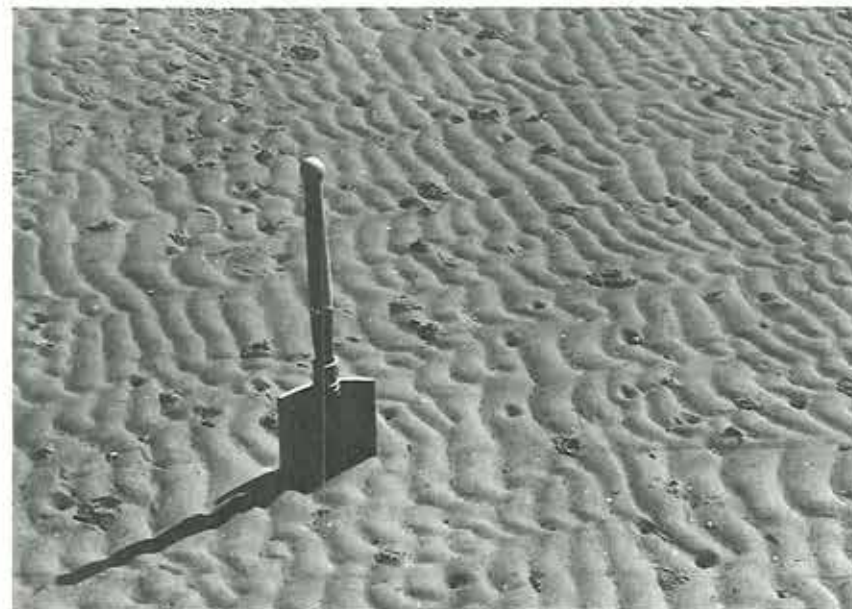
Formlen lader sig med ligeså stor ret anvende på et molekyle i en gas (atmosfære) som på et himmellegeme. Begge disse anvendelser hører til problematikken om månens overfladeforhold.

MÅNENS ATMOSFÆRE

Molekylerne i en gas bevæger sig omkring mellem hinanden med hastigheder, der afhænger af gassens temperatur. Alle mulige hastigheder er repræsenteret, men de høje i desto større mængder jo højere temperaturen er. Dette skyldes, at temperaturen er et indirekte mål for gassens energiindhold, som i det væsentlige er summen af de enkelte gasmolekyleres bevægelsesenergi - $\frac{1}{2} M v_1^2 + \frac{1}{2} M v_2^2 + \frac{1}{2} M v_3^2 + \text{o.s.v.}$

indtil alle molekyler er talt med. M er her molekylevægten, som er det samme tal i alle leddene, fordi der her er regnet med en gas bestående af kun ene slags molekyler, for eksempel ren ilt. v_1, v_2 o.s.v. er de hastigheder, som de enkelte molekyler har. Ved en given temperatur kan v_1, v_2 o.s.v. variere ret frit, og selvom de vil have en bestemt gennemsnitsværdi, vil der altid være nogle med en forholdsvis meget høj hastighed. Hvis molekylernes hastighed i jordatmosfæren kunne observeres direkte, ville vi finde, at en ganske ringe brøkdel af en promille har hastigheder større end $2\frac{1}{2}$ km per sekund. Dette får ingen alvorlige konsekvenser for jordatmosfæren, idet denne hastighed er alt for lav til, at gasmolekylerne kan

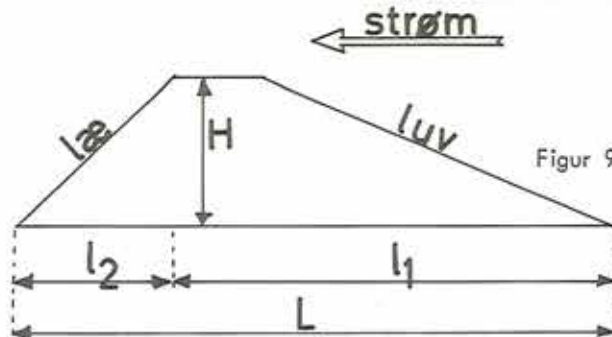
ge til strømrubber, og endelig kan der dannes bølgerubber med spidse trug og flade toppe, hvis bølgebevægelsen er aftagende (figur 6 C og figur 7). I uregelmæssige bassiner kan der dannes krydsende systemer af bølgerubber, som for eksempel i figur 8.



Figur 7. Bølgerubber med afrundede toppe som på figur 6 C. Sø-jord, Fanø.



Figur 8. Interfererende bølgerubber, Halen, Fanø.

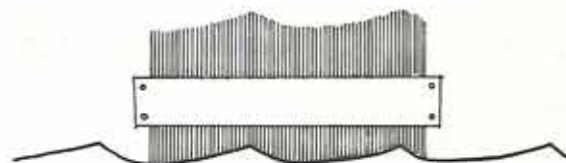


Figur 9. Opmåling af ribber.

Overalt i den geologiske lagsøjle finder man bølge-, strøm- og vindribber, og for at kunne drage slutninger fra nutid til fortid har man opstillet forskellige sæt af egenskaber, der kræver nøje opmåling af ribberne. Man måler især tværprofilet og supplerer med oplysninger om udformning i vandret plan (tungeformet, parallel med mere). Som regel tager man følgende mål (figur 9). H = højde, L = total længde, l_1 = luvsidens projektion og l_2 = læsidens projektion. Derefter kan man udregne nogle dimensionsløse størrelser: "Ribbe-Index" $RI = L : H$ (RI -værdier under 16 tilhører ribber dannet i vand, RI -værdier større end 15 tilhører ribber dannet af vinden). Desuden "Ribbe Symmetri Index" $RSI = l_1 : l_2$. Her gælder følgende: RSI 1 - 3, bølgeribber. RSI større end 2,5, strømrribber. RSI 2 - 4, vindribber og RSI 1 - 1,5, brændingsribber. Den sidstnævnte type, der har RI -værdier over 40, optræder undertiden mellem brændingszonen og havstokken og er udformet af de frem- og tilbagerullende bølgefronter. Kam-afstanden varierer mellem 20 og 50 cm, og kammene er næsten symmetriske og ret flade. Det er usikkert, om typen kan ses ved danske strande.

Værdierne for symmetri-indexet viser tilsyneladende stor overlapning. Ved at kombinere data for index og symmetri-index får man imidlertid et anvendeligt skema med ret ringe overlapning (figur 12). Anvendelsen af det vender vi tilbage til om lidt.

Målinger af ribber kan foretages ved hjælp af lineal og tommestok både på hærtnede og på løse sediment. Det er imidlertid hverken særlig nemt eller pålideligt, og der findes bedre metoder. I hærtnede sediment kan man måle med en såkaldt "profilære", der består af to parallelle, cirka 15 cm lange aluminiumslist, der klemmer om et stort antal cirka 8 cm lange stålpinde, der er lodret forskydelige. Stålpindene har alle den samme længde, og når man presser profilæren ned over ribberne, giver de et ret nøjagtigt tværsnit af overfladen (figur 10). Derefter kan man overføre tværprofilet til sin notesbog. En profilære fås hos de fleste isenkræmere.



Figur 10. Anvendelse af profilære.

med for stor. Såfremt blot nogle få af målepunkterne for fossile ribber falder i feltet 'bølgeribber' og resten i feltet 'vindribber', har man lov til at tolke ribberne som bølgeribber. Til gengæld vil målinger af vindribber ikke under nogen omstændigheder kunne placeres i feltet 'bølgeribber'. Altså er ribberne i Nexø-sandstenen bølgeribber og ikke vindribber.

I begyndelsen blev ordet 'bølgeslagsmærker' nævnt. Anvendelsen af dette ord bør nok begrænses til de meget små sandstriber ('bølgemærker'), der efterlades af bølgefronterne i havstokken ved faldende vandstand (se figur 15). Billedet viser også de V-formede figurer, som de tilbagerullende bølger danner bag småsten eller muslingskaller. Disse figurer, der ofte griber ind over hinanden, kan kaldes 'bølgeriller', på engelsk ofte 'rill marks'.



Figur 15. Til venstre 'bølgemærker', til højre 'bølgeriller'. Oxby.

Metoden med karton og spray er oprindeligt udformet ved havforskningsinstituttet "Senckenberg", Wilhelmshaven.

Alle foto undtagen 11 A - E er taget af Jens Bruun-Petersen
11 A - E er taget af R.G.Bromley.

Jens Bruun-Petersen

opstillede skemaer, som for eksempel det i figur 12 viste, kan man ind-sætte sammenhørende værdier af RI og RSI (beregnet for hver enkelt ribbe) i diagrammet. Det er iøvrigt udformet på grundlag af talrige undersøgelser i tidevandsområderne ud for Floridas kyster. Nedenfor vises nogle resultater af forsøg med den ovenfor beskrevne metode, foretaget i juni 1970 forskellige steder i Vadehavet og på Skallingen. Figur 13 viser parallelle strømribber fra stranden ud for Måde teglværk ved Esbjerg. På figur 11 A til D ses bølgeribber fra Koresand syd for Møn og på figur 7 og 11 E bølgeribber fra Søjord øst for Nordby på Fanø. I figur 3 ses vindribber fra klitter på vestsiden af Skallingen. I alle tilfælde er der dog overensstemmelse med diagrammet.

I figur 2 ses tungeformede strømribber fra stranden syd for Oxby og i figur 12 resultater af opmåling af tilsvarende fra vaderne mellem Langli og Ho (hvide firkanter). Punkterne er blevet fordelt mellem felterne 'strømribber' og 'vindribber'. Årsagen ligger i disse ribbers uregelmæssige udformning, der gør det vanskeligt at måle på de bedst egnede steder. Højderne bliver for små, hvilket giver for store RI-værdier, og symmetrien bliver ofte målt forkert, hvilket medfører for lave RSI-værdier.



Figur 14. Bølgeribber, Nexø-sandsten, Gadeby.

I figur 14 ses et sæt bølgeribber fra den mere end 500 millioner år gamle Nexø-sandsten ved Gadeby, cirka 5 km vest for Nexø (lokalitet 20 i VARV's ekskursionsfører nr. 1). Resultatet af opmålingerne ses på figur 12 (sorte trekanten). Punkterne falder omtrent ligeligt fordelt mellem vind- og bølgeribber. Begge dannelsesmåder på en gang er ikke muligt, og forklaringen er en helt anden. Bølgeribber har som regel ret spidse kamme, der vil være stærkt udsat for at blive eroderet ned ved faldende vandstand eller svage strømme. Derved bliver den målte højde H for lille og RI der-

I løse sedimenter kan profiløren ikke anvendes. Her anskaffer man sig et antal kartonstykker, cirka 60 x 15 cm med en tykkelse på cirka 0,5 mm, samt et par spraydåser med maling og en kniv. Når man har fundet et område med egnede bølge- eller strømribber, helst uden alt for meget vand i trugene, lægger man et lodret snit med kniven (figur 11 A), presser kartonen lodret ned i snittet (figur 11 B), og med spraydåsen lægger man et jævnt lag farve på den frie del af kartonen (figur 11 C-D). Det viser sig nu, at farven ikke binder på den fugtige del af kartonen, der har været nede i sandet, og når farven er tør (tager cirka 2 minutter), fjernes den let herfra (figur 11 E). Derefter skriver man dato, lokalitet, ribbetype og kompasretninger på, og siden kan man i ro og mag udmåle sine ribber derhjemme.

En spraydåse giver en strøm af farvepartikler båret af en ret kraftig luftstrøm. Det kan derfor undre, at det er muligt at få profiler også af vindribber, men det er lykkedes i langt de fleste tilfælde. Her må det dog anbefales at gøre flere forsøg. I enkelte meget heldige tilfælde kan man opleve, at nattens højvande har gennemfugtet vindribber på forstrandens klitter uden at ødelægge dem. Sådanne "indefra gennemvædede" vindribber er lige så sjældne, som de er nemme at tage profiler af.

Vel hjemkommet med profilerne kan man måle ribbernes dimensioner direkte på kartonen, eller man kan tegne profilet over på kalkepapir inden. Som regel er man ikke i tvivl om, hvilken slags ribber man har med at gøre, men både for at kontrollere sine egne opmålinger med teoretisk



Figur 11 A.



B



C

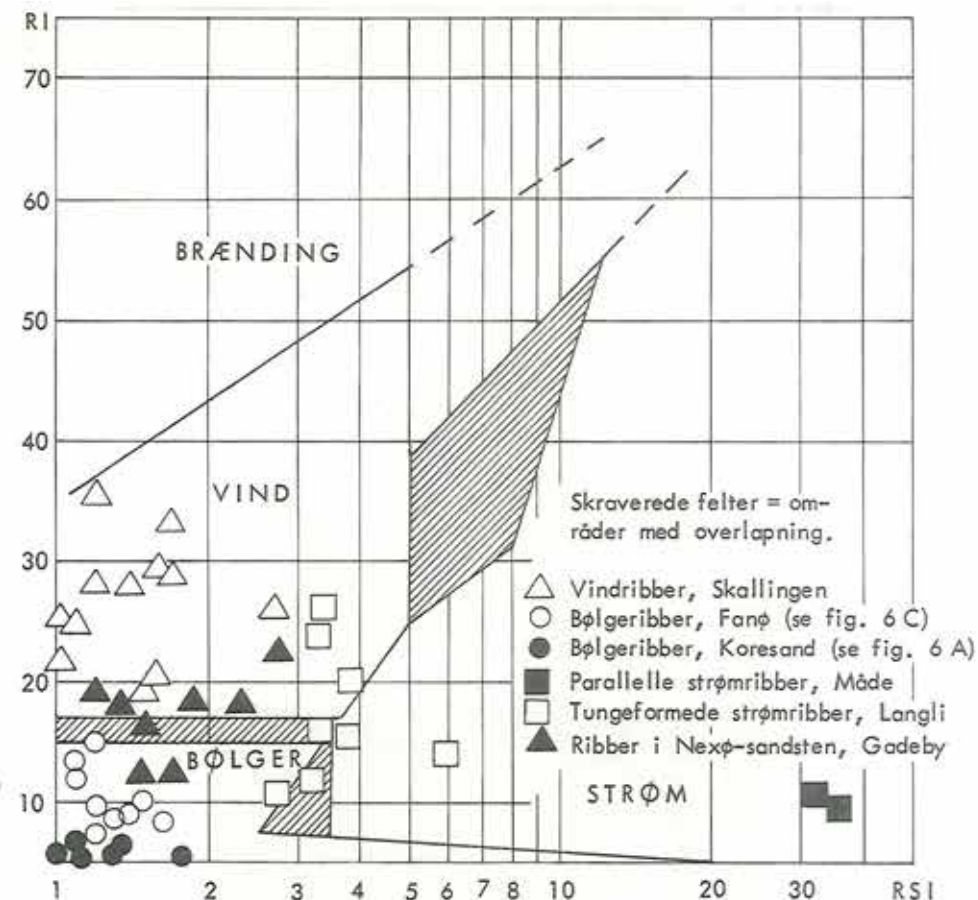


D



E

Figur 11. Opmåling af ribber med karton og sprayfarve.
A - D Koresand, E Søjord, Fanø.



Figur 12. Diagram for kombination af R1- og RSI-værdier (efter W.F.Tanner, 1967).



Figur 13. Strømribber, Måde teglværk.