

NR. -
02
SEP.
·2021·

geo viden



MÅNEN

HVOR GODT KENDER DU
EGENTLIG DIN NABO?

INGEN MÅNE, INGEN JORD

Opråb! Din nabo fortjener mere opmærksomhed.

Hvis ikke Månen eksisterede, gjorde vi højst sandsynligt heller ikke. Altså dig og mig og alt andet liv på Jorden. For som du kan læse i dette Geoviden om Månen, så eksisterer Månen kun, fordi to såkaldte protoplaneter kolliderede i det tidlige solsystem. De to protoplaneters masser blev mere eller mindre blandet sammen til én stor og én lille enhed, henholdsvis Jorden og Månen. Hvis ikke det var sket, havde Jorden ikke været Jorden, og Månen havde ikke været Månen, men to 'fremmede' planeter. Som forskerne ikke er sikre på ville kunne understøtte liv. Og hvis de kunne, er det ikke sikkert, at det ville være kommet op på landjorden, hvis der da overhovedet havde været vand på de to planeter. For den tidevandseffekt, Månen skaber på Jorden, har formentlig været en vigtig komponent i, at fisk begyndte at udvikle lemmer og lunger til at bevæge sig rundt, når det var lavvande. Er det bare mig, eller snakker vi for lidt om det til daglig?! Altså at Månen ikke bare er en tilfældig følgesvend, som ganske vist er smuk og hyggelig, men som faktisk er en form for kriterium for, at vi findes? Det giver i hvert fald en ny dimension til samtaler under stjerne- og Månehimlen, synes jeg.

Noget andet, der måske heller ikke er kendt for de fleste, er, at der faktisk foregår en del analyser på sten fra Månen her i Danmark. Nærmere bestemt i København, hvor en række forskere arbejder på at finde ud af, hvordan solsystemet er dannet, og hvad der præcis gjorde, at der opstod en planet med liv. Det gør de blandt andet ved at datere meteoriter helt tilbage fra Solens fødsel samt sten bragt tilbage fra Månen af de seks Apollo-missioner i 1960'erne og 70'erne. Det arbejde er på alle måder fascinerende, og du kan både læse og se mere om det her i bladet og i vores temavideo på geoviden.dk/maanen. Som noget nyt kan du også

tage Geoviden i ørerne i form af vores nye podcast ved navn Geoland. Her kommer du i godt selskab med de to geologistuderende Emil Soltau og Mathilde Lieberkind, som tager ud og besøger spændende mennesker og steder, som relaterer sig til hvert tema. Mød dem her til højre, og find første episode af Geoland der, hvor du normalt finder podcasts, eller på geoviden.dk.

Til næste fuldmåne vil jeg på det kraftigste anbefale at finde en kikkert og konsultere vores 'Kikkertguide til Månen' fra side 26. Det er vildt, hvad man faktisk kan se med en gennemsnitlig håndkikkert, når først man ved, hvad det er, man kigger på – for eksempel gamle, størknede have af lava og kæmpe bjergkæder. Kan du ikke få nok, kan du også kaste dig over vores guide til det lidt mere komplekse, men meget informative, geologiske kort over Månens overflade fra side 30.

God fornøjelse med at lære naboen at kende!

Bonusinfo!

Læren om Månen hedder selenografi efter Månens græske navn, Selen. Folk, der arbejder med Måne-videnskab, kaldes dermed selenologer, og folk, der arbejder med kortlægning af Månen, kaldes selenografer.

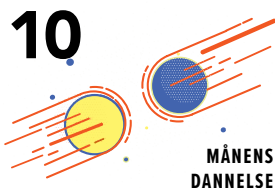


JOHANNE UHRENHOLT KUSNITZOFF

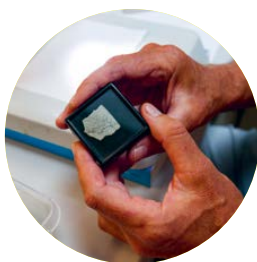
REDAKTØR OG SKRIBENT



4
HVAD VED VI
EGENTLIG OM MÅNEN?



10
MÅNENS
DANNELSE
12
MÅNENS SAMMENSÆTNING



14
MÅNENS ALDER
BLEV MÅLT I KØBENHAVN



26
KIKKERTGUIDE
TIL MÅNEN



30
SELENOGRAFI
MÅNE-KORTET, DER SAMLEDE
ALLE TIDLIGERE MÅNE-KORT

Hør Geovidens nye PODCAST



Kom med de to geologistuderende Emil Soltau og Mathilde Lieberkind ud i den geovidenskabelige virkelighed, hvor de opsøger spændende mennesker eller steder, der har forbindelse til hvert Geovidens-tema.

Denne gang besøger de astrofysiker Cecilie Sand Nørholm på Planetarium i København, hvor de kigger på deres

flotte Måne-sten og hører om, hvorfor Månen og Jorden faktisk har ret meget til fælles.

HVOR FINDER JEG DEN?

Hvor du normalt henter podcasts eller på geoviden.dk



Selfies fra optagelserne til Måne-episoden af Geoland med henholdsvis hinanden, Cecilie Sand Nørholm og Måne-stenen.

HUSK at der er mere på geoviden.dk/maanen

- **VIDEO:** Professor James Connelly viser, hvordan man arbejder med Måne-prøver, og fortæller, hvad de kan vise os.
- **PODCAST:** De geologistuderende Emil Soltau og Mathilde Lieberkind besøger Måne-stenen på Planetarium i København og hører om Månens historie.
- **INTERAKTIV GUIDE** til Månens overflade – hvad ser du hvor?
- **ANIMATIONER** over Månens rotation og bevægelse.
- **EKSTRA ARTIKEL** om Måne-kortenes historie fra 1600-tallet og frem.
- **QUIZ:** Test din viden om Månen.
- Links til NASA's seje Apollo-gallerier, **SOLSYSTEM-SIMULATOR** m.m.

Foto: Johanne Uhrenholt Kuschitzoff, Geoviden



Mathilde Lieberkind

ALDER: 24

UDDANNELSE: Geologi-geoscience ved Institut for Geovidenkab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet.

GEOLOGISK TIDSPERIODE ELLER HÆNDELSE, JEG HELST VILLE REJSE TIL: Til Prækambrium for 4.600 mio. år siden – tilbage til Jordens formning! Dog i en beskyttelsesboble! Men verden har set helt anderledes ud dengang med en meget større Måne, blå lava pga. højere temperaturer, der flød overalt på Jordens overflade, og grønt vand pga. jern og meteoriter, der bombarderede overfladen og skabte vores Jord. Det må have lignet noget fra en anden verden!

MIN YNDLINGSSTEN ER: Hmm ... altså granat (er dog et mineral) har altid været en af mine yndlings, men jeg er nu også ret stor fan af cummingtonit – på grund af navnet.

DE HER PODCASTS LYTTET JEG SELV TIL: Mange forskellige. Mørkeland, Serial Killers og Myths and legends (når det ikke er mørkt). Ellers Noble Blood, Vildt Naturligt, Third Ear, Vanvittig Verdenhistorie eller sci-fi og fantasybøger.

Emil Soltau

ALDER: 27

UDDANNELSE: Geologi-geoscience ved Institut for Geovidenkab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet.

GEOLOGISK TIDSPERIODE ELLER HÆNDELSE, JEG HELST VILLE REJSE TIL: Kridttiden, altid Kridttiden! Da jeg var lille, syntes jeg, dinosaurer var det sejeste, og det er de stadigvæk!

MIN YNDLINGSSTEN ER: Olivin – ikke særlig sjælden, men den har en flot grøn farve, og så kan jeg godt lide tanken om, at den har været båret hele vejen dybt nede fra Jordens kappe for at blive fundet af folk.

DE HER PODCASTS LYTTET JEG SELV TIL: Vildt naturligt, Hjerneboksen, Third Ear, Hva så?! med Christian Fuhlendorff.



LÆS MERE om Emil og Mathilde på geoviden.dk/maanen



MÅNEN

HVAD VED VI?
HVAD VED VI IKKE?

DEFINITION PÅ EN MÅNE: ET HIMMELLEGE, DER ER I KREDSLØB OM EN PLANET

Antallet af måner i solsystemet er ret elastisk, da det afhænger af, om man medregner alle stenklumper, små og store, der roterer om planeter, og om dværgplaneter og store asteroider tæller med. Så er der utallige. Regner man med runde objekter af en vis størrelse, er der omkring 200. Lige nu har Saturn flest officielle måner – hele 82. Merkur og Venus derimod har ingen måner. Vi har som bekendt én:

MånEN.

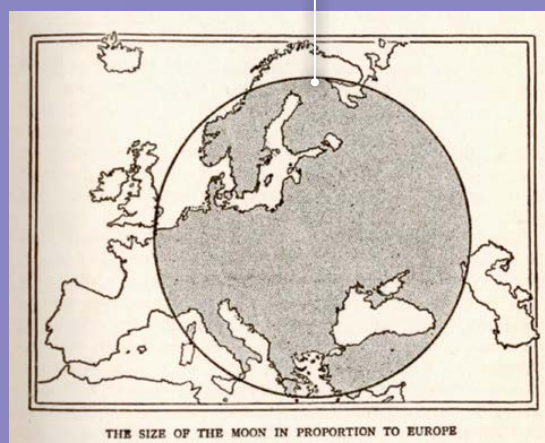


1. MÅNEN ER USÆDVANLIGT STOR

Månen er faktisk den femtestørste i solsystemet og den største i forhold til den planet, den kredser om. Se sammenligningen med Europa her til højre. Netop den relativt store størrelse er et af beviserne for, at den er dannet af rester fra en stor kollision mellem to himmellegemer. Så stor en måne vil nemlig typisk ikke kunne findes så tæt på en anden planet uden at være dannet sammen med den. (Læs mere om dannelsen s. 10-11.)

USIKKERT: DEN FULDE LIVSHISTORIE

Der er bred enighed om, at Månen er dannet ved en stor kollision mellem en tidlig udgave af Jorden og en anden planet. Men hvordan det skete er stadig ikke fuldt ud afklaret. Hvorfor det skete, altså hvorfor de stødte sammen, er ligeledes et mysterium.



THE SIZE OF THE MOON IN PROPORTION TO EUROPE

ILLUSTRATION: Richard A. Proctor

Afstanden til Jorden varierer lidt, afhængigt af Månens cyklus, men gennemsnitsafstanden er

← 384.400 km eller ca. 30 x Jorden →

JORDEN

2. MÅNEN TRÆKKER SIG VÆK FRA OS

Afstanden fra Jorden til Månen passer med, at der kan ligge 30 Jorde i mellemrummet. Så selvom den er tæt på i rumskala, er den stadig virkelig langt væk. Men afstanden er ikke konstant – faktisk fjerner Månen sig med hele fire centimeter om året. Hvilket man måler ugentligt ved hjælp af en laser, der skydes op på de særlige spejle, Apollo-astronauterne har sat op på overfladen. Siden Månens tilstedeværelse påvirker Jordens rotation, betyder denne langsomme tilbagetrækning, at Jorden taber lidt af sin fart i takt med, at vores 'taktstok' kommer længere og

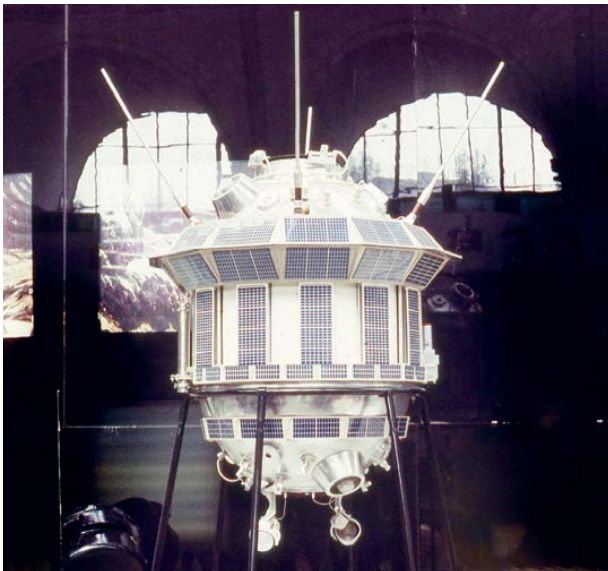
længere væk. Det betyder samtidig, at et døgn på Jorden var kortere før i tiden. Tiden gik ikke hurtigere, det tog bare lidt kortere tid for planeten at dreje én omgang.

Ifølge en udregning af forskerne Stephen R. Meyers og Alberto Malinverno tog et døgn kun ca. 18 timer for 1,4 milliarder år siden. Man kunne tro, at et år så også var kortere, men året styres jo af Jordens kredsløb om Solen. Og den har ikke ændret sig synderligt. Før i tiden var der altså bare flere døgn på et år. Rimeligt syret!

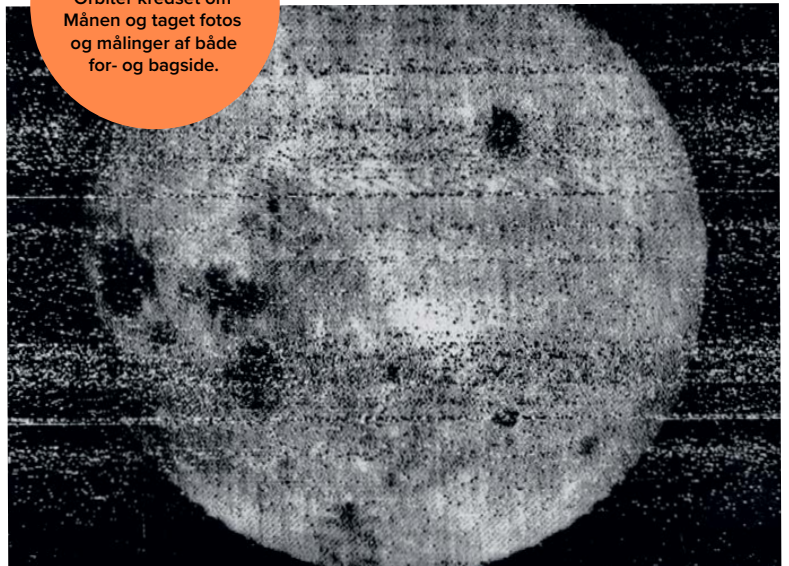
3. MÅNEN STABILISERER JORDENS SLINGREN

Ligesom en snurretop, der er ved at stoppe, kan planeter stå og slingre lidt om akse, så de ikke roterer helt jævnt. Det gør Jorden også, men højst sandsynligt meget mindre, end vi ville gøre uden Månen. Månen virker som et slags rum-anker. Variationer i Jordens rotation om sig selv har blandt andet indvirkning på årstider og klimaskift over lang tid (kaldet Milankovic-cykler), så Månen er også med til at holde dette mere stabilt.

Siden 2009 har satellitten Lunar Reconnaissance Orbiter kredset om Månen og taget fotos og målinger af både for- og bagside.



Kopi af Luna 3-fartøjet, der var det første til at fotografere Månens bagside som set ved siden af.



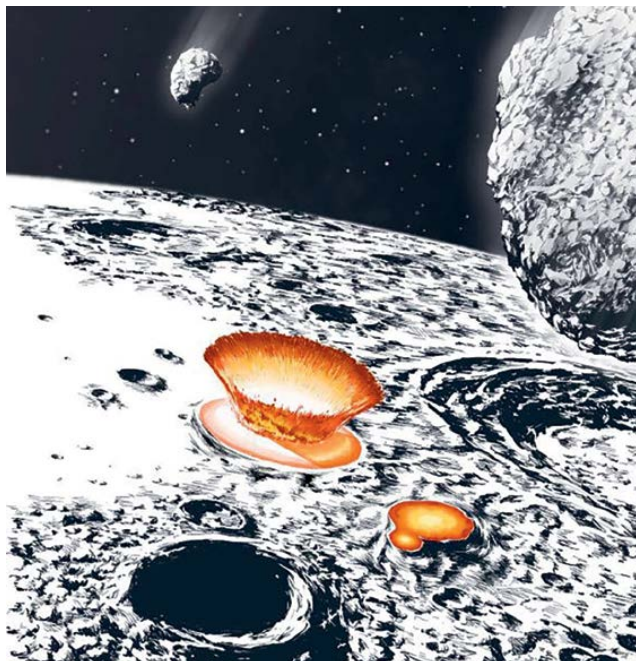
FOTOS: WIKIMEDIA COMMONS

4. MÅNEN DREJER OGSÅ RUNDT

I 1959 fotograferede den russiske rum-sonde Luna 3 den mystiske bagside af Månen, så menneskeheden kunne se den for første gang. Til nogles skuffelse var der hverken aliens eller forsvundne nazister, bare flere kratere. Grunden til, at vi ikke kan se Månens bagside uden at flyve om til den, er, at Månen også roterer. Hvis

Månen ikke drejede rundt, ville bagsiden på et tidspunkt i Månens én måned lange rundtur om Jorden vende hen imod os. Prøv selv at spille Månen og gå rundt om en frivillig medhjælper, der spiller Jorden (og som ikke behøver bevæge sig til dette). Gå en omgang om Jorden, hvor du drejer rundt om dig selv, og en omgang, hvor du hele tiden har ansigtet samme vej. Månens

rotationshastighed er udviklet i tæt samspil med Jordens tyngdekraft efter deres fælles kollisionsfortid (pkt. 1). Derfor er turen blevet afstemt i en ligevægt, der gør, at én rotation for Månen tager præcis én rundtur om Jorden. Der når simpelthen aldrig at komme en ny side frem mod Jorden, fordi den ophæves af Månens egen rotation i den anden retning.



Kunstnerisk fremstilling af meteornedslag, der skaber de mørke magmahave.
ILLUSTRATION: Murayama/Osaka University

5. MÅNEN HAR HAFT VULKANER

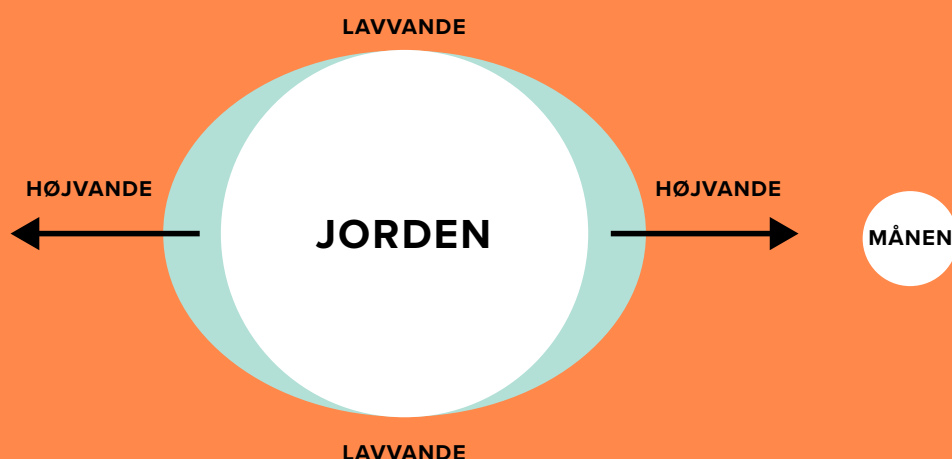
De store mørke områder på Månens overflade er størknet lava fra vulkansk aktivitet. Der har været flere omgange af vulkansk aktivitet på Månens overflade, og man mener, at flere af dem har hængt sammen med meget store meteornedslag, der har svækket og forstyrret skorpen. Der har dog ikke været vulkansk aktivitet i over en milliard år.

USIKKERT: ER MÅNEN STADIG GEOLOGISK AKTIV?

Der er ikke længere aktive vulkaner på Månen, men der er indikationer på, at der måske alligevel stadig er geologisk aktivitet. Apollo-astronauterne havde seismografer med til Månen, som målte, at der faktisk var jordskælv. Eller måneskælv. De blev dog dengang tolket som træk fra Jordens tyngdefelt og ikke egentlig geologisk aktivitet i selve Månen. I 2019 udgav en række amerikanske måneforskere dog en artikel med en ny tolkning: Måneskælvne er udtryk for, at Månen skrumper i takt med, at den stadig afkøles. Der er flere dalstrøg og bakkekamme på Månen, der kan tolkes som forskydninger dannet ved en sammenmasning af skorpen i takt med skrumpningen, ligesom folderne på en rosin. Det er et område, hvor der stadig forskes og diskuteres voldsomt.

6. TIDEVANDET HAR VÆRET AFGØRENDE FOR LIV PÅ JORDEN

Figur 1



effekt har formentlig været en afgørende faktor for, at der udvikledes liv på Jorden, da tidevandsrender ved kysterne har været både tilpas beskyttede og tilpas udsatte til, at molekyler kunne begynde at sætte sig sammen til celler. Og til, at disse celler ikke blev smadret af stråling osv. Da cellerne senere havde udviklet sig til fisk, var tidevandszonerne igen vigtige, for de

Det er velkendt, at Månens tyngdekraft trækker i Jorden, så der skabes tidevand. Jorden bliver nemlig strakt lidt ud på det sted, Månen står lige hen over, hvilket bevirker, at Jorden også buler tilsvarende ud på den modsatte side – ligesom

en hoppebold, der mases sammen. Da vand er meget bevægeligt, følger det med udad i begge sider, og der dannes højvande to steder på Jorden. Hvilket så betyder, at der er mindre vand på resten af Jorden, altså to gange lavvande. Den

gav formentlig afsættet til liv på landjorden. Her kunne fiskene have gavn af at udvikle lemmer til at gå på sandet ved lavvande og lunger til at trække vejret med. Derfra var vejen videre op på land oplagt, og sådan startede udvikling af landdyr.

ILLUSTRATION: Lykke Sandal, Geovidien



Mindepladen for 14 afdøde, tidligere NASA-astronaut og USSR-kosmonauter. Den blev sat i Apenninus-bjergene af Apollo 15-missionens mandskab sammen med en lille figur, der skal ligne en falden astronaut. FOTO: NASA



Norges Goodwill Moon Rock-plade. Danmark har haft en tilsvarende, som desværre er blevet skilt ad og stenen brugt til forskning. Der er en lillebitte stump tilbage, som opbevares i Statens Naturhistoriske Museums arkiv i en kasse sammen med det danske flag og de to plader med beskeder fra hhv. præsident Nixon og Apollo-astronauterne. Efter sigende var alle flagene til pladerne også med på Månen.

FOTO: WIKIMEDIA COMMONS

7. SIDSTE MAND PÅ MÅNEN ...

Eugene Cernan og Harrison Schmitt var de sidste til at besøge Månen i december 1972. Eugene Cernan havde følgende afskedshilsen: "As we leave the Moon at Taurus-Littrow, we leave as we came and, God willing, as we shall return, with peace and hope for all mankind. Godspeed the crew of Apollo 17." Det var også de to astronauter, der tog en ekstra sten med hjem til at dele ud i små stykker til alle nationer på Jorden, så alle kunne få et stykke af Månen. Den blev kaldt Goodwill Moon Rock, og de små stykker blev efterfølgende sat på fine træplader og sendt ud til de daværende 192 nationer af præsident Nixon (se eksemplet herover). De forskellige Apollo-missioner har dog ikke kun taget noget med hjem fra Månen, de har også efterladt noget deroppe.

Der skulle ligge en forgyldt olivengren som symbol på fred, en række beskeder fra verdens daværende ledere, mindeplader for afdøde astronauter fra tidligere missioner m.m. Mindre glørværdige er de efterladenskaber, der blev tømt fra astronauternes små toiletter om bord, men forhåbentlig det ikke blev gjort lige ved siden af olivengrenen.

... INDTIL VIDERE

I 2024 skal der igen gå mennesker på Månens overflade. Det er i hvert fald planen i NASA's Artemis-program (Artemis er Apollos tvillingsøster i græsk mytologi), som arbejder på at få etableret en permanent rumbase for mennesker på Månen en dag. Den skal blandt andet kunne fungere som affyringsrampe for missioner til Mars.



Neil Armstrongs berømte 'small step' i det tykke lag af Måne-støv. Medmindre en meteor har ramt det, vil det stadig være der, selv her 52 år efter.

FOTO: NASA

8. MÅNEN ER UTROLIGT STØVET

Når man ser billeder af Neil Armstrongs fodaftryk på Månens overflade, er det tydeligt, at der ligger et lag af meget fint støv. Hvis overfladen var hård og fast, ville der jo ikke være kommet et aftryk. Det skyldes den hårde medfart fra meteoror, Månen har haft gennem sit lange liv. Overfladen var oprindeligt fast, men med hvert nedslag er der blevet smadret mere og mere. Nedslag fra meteoror hvirvler klippestykker, sten og støv op, som spredes ud i en radius i lange stråler fra nedslagsstedet. Det er også det, der kan ses som lyse striber fra især de store og relativt unge kratere Tycho og Kopernikus. Noget materiale smelter ved nedslaget og størkner så igen. Næste gang der sker et meteornedslag i samme område, omfordeles det hele en gang til. Den øverste del af overfladen er altså med tiden blevet pulveriseret og blandet fuldstændigt sammen, så man ikke kan vide, om en sten, man samler op, faktisk er dannet netop der eller flere hundrede kilometer borte.

9. JA, DER HAR VÆRET MENNESKER PÅ MÅNEN

Der har gået 12 personer på Månens overflade, fordelt på de seks Apollo-missioner, der fløj dertil fra 1969 til 1972. I alt 24 personer har været i kredsløb om Månen. Første landing skete den 20. juli 1969 kl. 20.18, hvor Apollo 11 landede på overfladen i Det Rolige Hav (Mare Tranquillitatis, se s. 27). Der er i alt plantet seks amerikanske flag deroppe, et for hver mission. I alt har Apollo-missionerne bragt 382 kilo sten med hjem, som opbevares hos NASA, men jævnligt sendes ud til laboratorier, som undersøger dem. Blandt andet i Danmark! (Læs mere s. 14-25.) De russiske Luna-sonder 16, 20 og 24 har tilsammen bragt 301,1 g med hjem mellem 1970 og 76. I december 2020 bragte en kinesisk sonde (Chang'e 5) 1,7 g med hjem. Ingen af de missioner havde dog mennesker med ombord.

Fotoet her er fra den sidste Apollo-mission i 1972, Apollo 17. Astronaut Harrison Schmitt ses ved siden af en stor klippeblok, der vidner om, at ikke alt på overfladen er støv. Harrison og fotografen, astronaut Eugene Cernan, er kørt derhen fra landingsmodulet i den lille månebil bag stenen.

10. MÅNEN HAR VAND

Umiddelbart efter Apollo-missionerne troede man, at det eneste vand på Månen sad bundet i mineraler. I 2019 offentliggjorde NASA imidlertid, at et hold af deres forskere havde målt vandmolekyler på Månens overflade for første gang. Vel at mærke på den del af overfladen, der ligger i sollys og altså er synlig fra Jorden. Indtil da troede man ellers, at der kun kunne være vand i frossen form i de kratere ved polerne, der aldrig ser sollys og derfor ikke er udsat for fordampning. Men holdet havde altså målt vandmolekyler i den solbeskinnede del. I en mængde cirka 100 gange mindre end i Saharas ørken ganske vist men stadig mere end ingenting.

USIKKERT: HVORFOR ER DER VAND? OG HVOR MEGET ER DER?

Spørgsmålet er nu, hvorfor der overhovedet kan være vand i den lyse del af Månen? Hvordan hænger det fast i overfladen – er det bundet til støvkorn under overfladen? Bliver det dannet på Månen? Eller kommer det med små meteorer? Hvor meget er der i alt? Spørgsmål er der nok af, og NASA er meget opsat på at få svar, da vandet måske kan være en vigtig ressource for Måne-missioner.

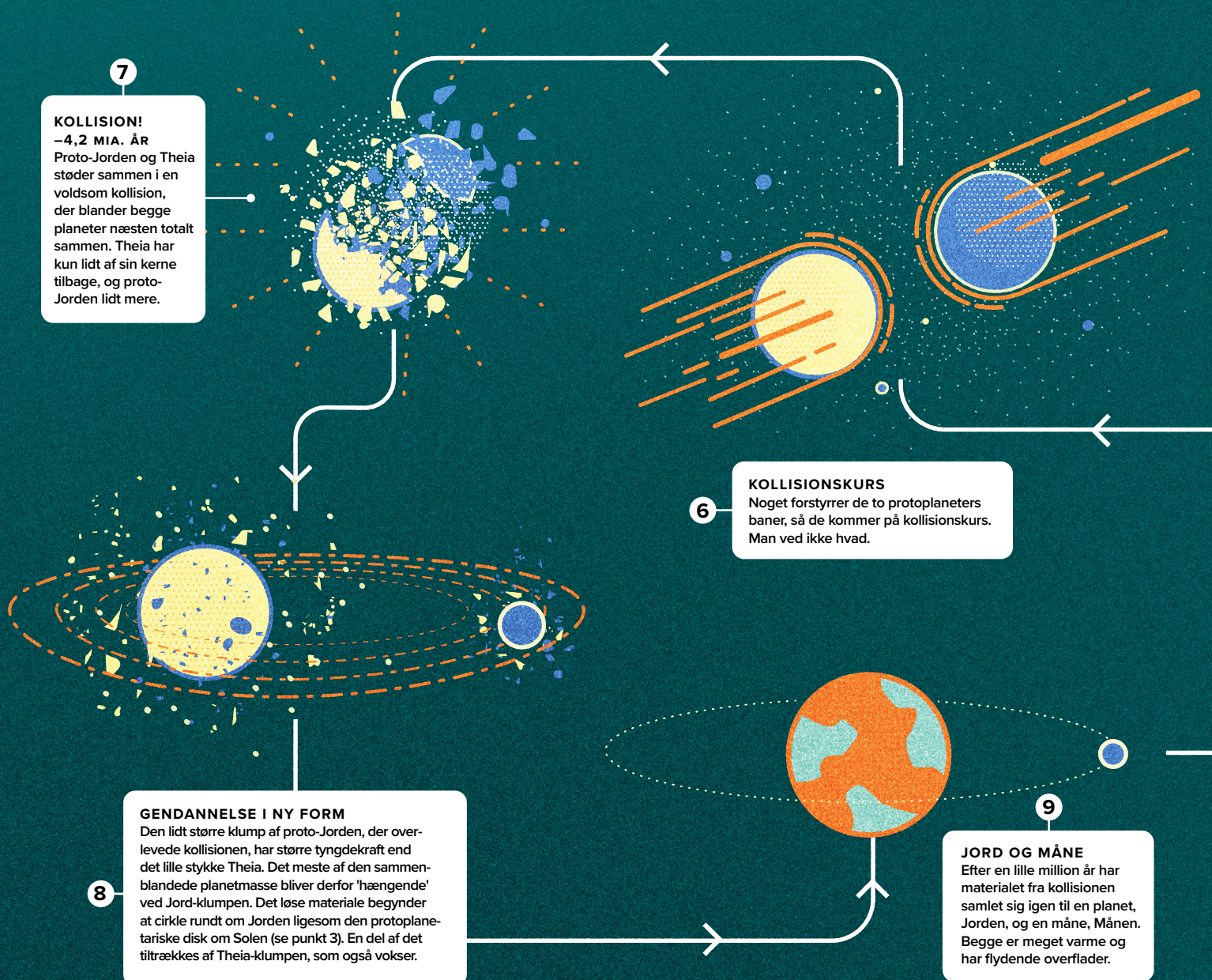
FARVEFOTO

Måne bilen viser i øvrigt, at fotoet er i farver, selvom man skulle tro, det var sort/hvid. Månen er simpelthen bare helt utroligt grå.

MÅNENS DANNELSE

Månen er ikke lavet af ost, men af en blanding af to planeter, hvoraf den ene er Jorden. På en måde. Se den ret vilde skabelshistorie her, helt fra altings begyndelse.

Figur 2



2

FØRSTE STJERNER

Omkring 100 mio. år efter Big Bang dannedes de første stjerner ud af den såkaldte ursuppe. De var formentlig op til 300 gange større end Solen.

3

SOLEN DANNES

–4,567 MIA. ÅR
En stor sky af støv og gas faldt sammen under sin egen vægt, og den kompakte masse blev til Solen. En del af støvskyen blev tilovers og lagde sig i en roterende ring af materiale rundt om Solen. Den kaldes den proto-planetariske disk.

PLANETERNE DANNES

Nærmest samtidig med, at Solen dannes, begynder det resterende materiale i disken at samle sig i begyndende planeter. De vokser som snebolde og samler mere og mere materiale op. Formentlig har der i starten været flere hundrede såkaldte protoplaneter, som med tiden også er ramlet sammen og har dannet større og større planeter.

5

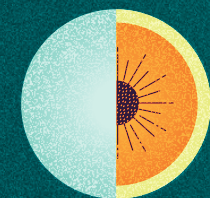
TVILLINGER

To af de tidlige proto-planeter voksede relativt tæt på hinanden og var ca. lige store: begge lidt mindre end Jorden. Den ene kan vi kalde proto-Jorden. Den anden kaldes Theia. De vokser side om side i ca. 150 mio. år.

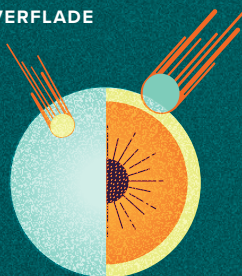
THEIA

PROTO-JORD

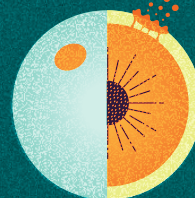
10

SÅDAN FIK MÅNEN SIN OVERFLADE

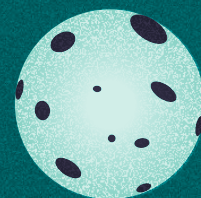
Månens flydende overflade begynder at størkne og danne mineraler. Lette mineraler flyder opad og danner en fast skorpe efter ca. 50 mio. år.



Der er mange meteoriter i det tidlige solsystem, og de bombarderer Månen og efterlader kæmpestore krater i den nydannede overflade.



Skorpen bliver tyndere og mere skrøbelig i kraterne, nogle steder så meget, at magma fra den nedre del af kappen kan trænge op igennem og fylde dem med lava.



Lavaen i kraterne størkner og bliver til den mørke bjergart basalt. Her er overfladen derfor mørkere end resten. Det skaber det mønster, vi kan se i dag. Basaltområderne kaldes have (latin: maria) og resten terra.

MÅNENS SAMMENSÆTNING

Og nej, det er ikke ost ...

Figur 3

MÅNENS INDRE

Månen har ligesom Jorden en fast metallerne primært bestående af jern og nikkel. Den er forholdsvis lille i forhold til Månens størrelse, ca. en femtedel af dens diameter. Jordens kerne udgør ca. halvdelen af dens diameter. Forskerne mener, at Jorden faktisk opsnappede en stor del af "Proto-Månens" (Theias) kerne i deres sammenstød (se s. 10-11), og bl.a. derfor er kerne hos Månen i dag forholdsvis lille. Det er kun grundstoffordelingen i skorpen, man med rimelighed kan sætte procenter på, da man ikke kan tage prøver fra de indre dele, hverken på Jorden eller Månen. Ud fra hvad man ved om dannelsen, kan man dog regne mineralerne ud, da de dannes i en fast rækkefølge og i et fast forhold til hinanden.

TYK BAGSIDE?

NASA-forskere har opdaget, at Månens skorpe er lidt tyndere på forsiden end bagsiden, men hvorfor ved man ikke endnu.

GRUNDSTOFFER I MÅNENS SKORPE

SKORPE

Består hovedsageligt af feldspatter (især plagioklas) og vulkansk basalt. Bl.a. derfor er der så forholdsvis meget ilt og silicium i skorpen, ligesom på Jorden (se nedenfor).

KREEP-'LAGET'

Diffust område mellem skorpe og kappe med forhøjede koncentrationer af især kalium (K), sjældne jordartsmetaller (Rare Earth Elements) og fosfat (P), tilsammen også kaldet KREEP. Læs mere th.

KAPPE

Består især af mineralerne PYROXEN og OLIVIN.

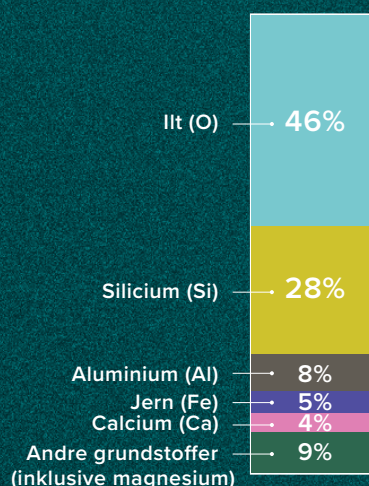
KERNE – INDRE/YDRE

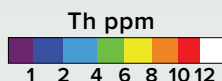
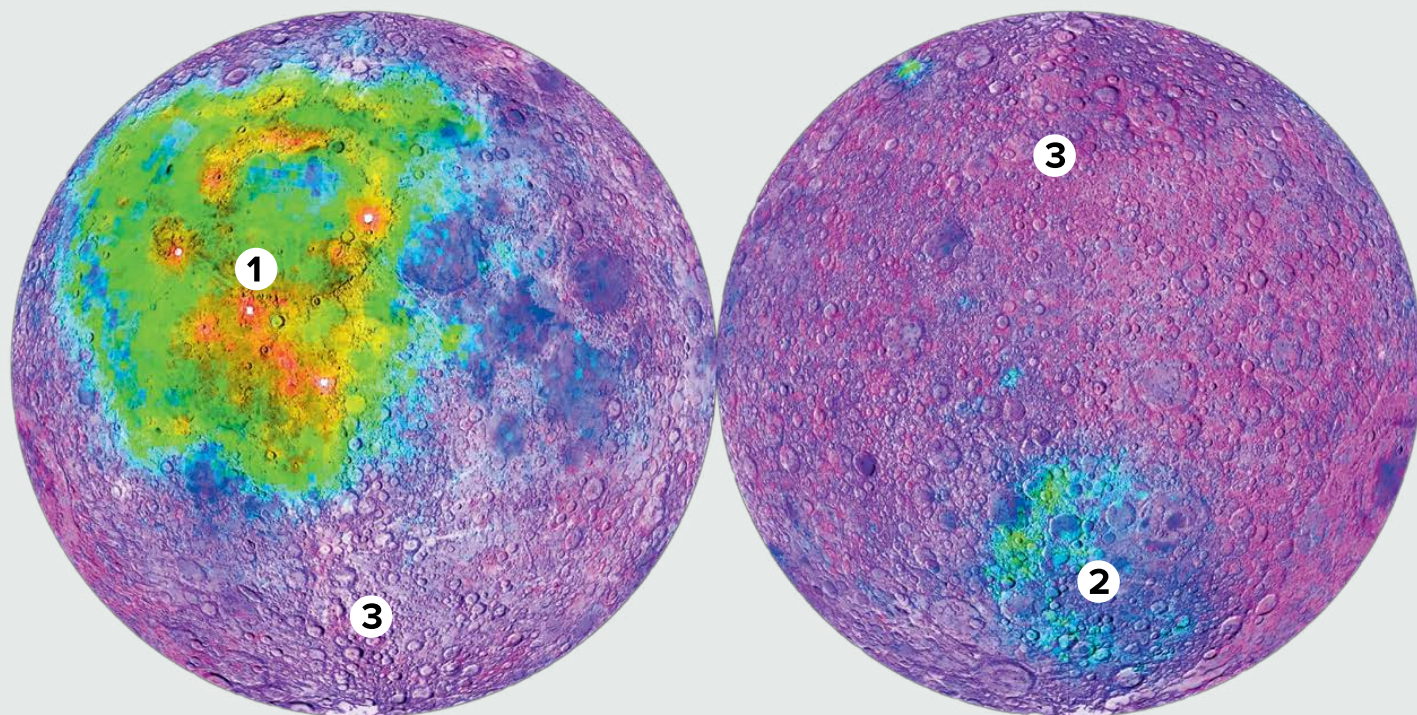
Fast kerne af hovedsageligt jern og nikkel. Man mener, at der udenom er en delvist flydende overgang til kappen.

Kilde: moon.nasa.gov

GRUNDSTOFFER I JORDENS SKORPE

Hovedparten af mineralmassen i Jordens skorpe indeholder ilt og/eller silicium ligesom i Månens skorpe. Begge skorper består hovedsageligt af feldspat, som har den kemiske formel $(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca}, \text{Ba})(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_8$ – grundstofferne i parenteserne er de mulige atomer i sammensætningen. Der vil altså altid være ilt og aluminium og/eller silicium og et eller flere af grundstofferne fra første parentes.





1. PROCELLARUM KREEP-TERRÆNET

Det store Oceanus Procellarum og Mare Imbrium på Månens forside, som også er det største af de mørke, sammenhængende områder, man kan se. Her er der en bemærkelsesværdig forhøjet koncentration af KREEP-rige bjergarter.

2. SYDPOL-AITKEN TERRÆNET

Et område ved navn Aitken ved sydpolen har en noget forhøjet koncentration af KREEP, set i forhold til resten af Månen.

3. FELDSPAT-HØJLAND TERRÆNET

Resten af overfladen, hvor der generelt er en meget lavere koncentration af KREEP end de to andre områder. Nogle enkelte kratere har dog højere koncentration. Generelt kalder man områderne uden for de store maria (have) for højland, da de typisk ligger højere end de lavafyldte kratere.

OVERFLADE DELT I TRE

Overfladen er rent geologisk og mineralogisk opdelt i tre 'terræner', som er defineret ved bjergarternes koncentration af den såkaldte KREEP-gruppe (K = Kalium, REE = Rare Earth Elements eller sjældne jordartsmetaller, P = fosfat). Gruppen består af grundstoffer, der sandsynligvis har været de sidste til at størkne og blive til mineraler, dengang Månen gik fra at være smeltet til fast. De har nemlig det til fælles, at de på grund af deres kemiske og fysiske

egenskaber ikke har så let ved at sætte sig sammen i mineraler, som de andre grundstoffer. En gruppe af 'misfits', om man vil. Måneforskere regner med, at de derfor har dannet et lag med forhøjet KREEP-koncentration mellem skorpen og kappen, som begge var hurtigere til at størkne (mineralisere).

NASA har via en satellit målt indholdet af det radioaktive thorium (Th, i skalaen ovenfor sat i ppm, altså parts per million), som man ved, optræder sammen med KREEP. De målinger afslører

derfor, hvor der er store forekomster, og det viser sig primært at være ét område på forsiden og ét på bagsiden. En hypotese er, at store nedslag i de områder har fået blandet de dybereliggende KREEP-mineraler op i overfladens bjergarter. Der forskes dog stadig i at finde ud af, hvorfor områderne er så afgrænsede, og hvorfor nogle af de meget dybe kratere andre steder ikke har nogen forhøjelse af KREEP. Ikke desto mindre inddeler man overfladen i tre områder, baseret på KREEP-tilstedeværelsen. •

OLIVIN



PYROXEN



Da Månens flydende overflade af magma begyndte at størkne, var OLIVIN og forskellige PYROXENER de første mineraler til at dannes. De sank nedad, hvor de dannede et tykkere og tykkere lag af fast bjergart: kappen. De er begge grønne, så måske er Månens indre grønligt, men ingen har kunnet tjekke efter.

PLAGIOKLAS



PLAGIOKLAS er et mineral, der udgør 90-100 pct. af bjergarten anorthosit, som den lyse del af Månens overflade/skorpe hovedsageligt består af. De fleste steder er den faste overflade dog dækket af et lag pulveriseret anorthosit, som er blevet spredt ud over det hele af meteornedslagene. Det støv kaldes regolith. Plagioklas er også meget almindeligt i Jordens skorpe.



MÅNENS ALDER BLEV MÅLT I KØBENHAVN

Midt i København arbejder et hold forskere på at lave en samlet teori for hele solsystemets dannelse, herunder Jorden og Månen og livets opståen. Det gøres blandt andet ved at analysere stykker af ældgamle meteoritter og prøver fra Apollo-missionerne.

Oppe under taget i den ene længe af Statens Naturhistoriske Museum i København (det gamle Geologisk Museum) ligger en lille del af Månen. Udenfor på den store Øster Voldgade drøner travlheden afsted, men inde under skråvinduerne har man kun udsigt til himlen og store spørgsmål som: "Hvor kommer vi fra?" og: "Hvordan er vi blevet skabt?". Svarene eftersøges i de hundredvis af små stenstykker, der befinder sig i tilsvarende små plastbeholdere i glasskabe langs væggene. Mange stammer fra ældgamle meteoritter, men en del kommer fra den eneste anden verden, mennesket har besøgt og kunnet hjemtage prøver fra: Månen.

"Jeg kan da lige finde nogle af Måne-prøverne frem," siger

professor James Connelly og sætter en af plastboksene på et arbejdsbord. Han er geokronolog, altså ekspert i at datere bjergarter, og han har specialiseret sig i uran til bly-datering (se s. 24-25) af sten fra rummet, herunder Måne-sten. Han er en del af forskningsgruppen STARPLAN og dermed en af dem, der søger svar på de store spørgsmål i disse små stykker sten. Blandt andet ved at finde ud af, hvor gamle de er, og dermed, hvor de passer ind i det store puslespil.

"Det her er prøver fra forskellige sten fra Månen," siger han og tager låget af boksen og holder den frem. En gul post-it i bunden af kassen bekræfter det. 'Lunar samples' står der. De er alle skåret ud af større sten, altså små Måne-skiver. Små, >

STARPLAN
Her på Statens Naturhistoriske Museum i København ligger forskningscentret STARPLAN, hvor de bl.a. analyserer prøver fra Månen. (Her er ikke offentlig adgang.)



En af de mange kasser med stenprøver fra Månen. De er alle skåret ud fra større sten i forbindelse med en analyse, og forskerne gør sig meget umage med at skære så små stykker af, de kan. Ofte vil prøverne nemlig blive ødelagt i den videre bearbejdning, der ofte involverer opløsning i syre. (Læs mere om processen s. 25.)

SAMLET OP I ØRKENEN

Prøverne her er stykker af meteoritter, der er blevet 'slået af Månen' i meteornedslag og derefter er landet på Jorden. De fleste af prøverne her er fundet i ørkenen i Marokko.

MÅNENS OVERFLADE

Et stykke af bjergarten anorthosit, som udgør den lyse del af Månens overflade.

STENEN, DER VISTE ALDEREN PÅ SOLSYSTEMET

DET ÆLDSTE
FASTE STOF I
SOLSYSTEMET!



Foto: Jacob Lind Bendtsen, GEUS

Stenen til venstre indeholder nogle af de første faste elementer fra vores solsystem, dannet umiddelbart efter, at Solen blev 'tændt'. Solsystemet startede som en enorm gas- og støvsky, som på et tidspunkt begyndte at kollapse under sin egen masse. Det sammenpressede materiale dannede en stjerne i midten af skyen – vores Sol. Resten af støvet, der ikke kom med i stjernen, begyndte at hvirvle rundt om Solen i en ring, som kaldes den protoplanetariske disk. Ligesom ringene om Saturn. Det hele var utroligt varmt, men hurtigt begyndte atomerne i støvskyen alligevel at binde sig sammen til fast stof. Calcium og aluminium fandt meget hurtigt sammen i små

klumper med andre grundstoffer. En af de klumper kan ses nederst i meteoritten her til venstre, hvor den er blevet inkorporeret i en voksende klump af fast materiale, som siden faldt ned på Jorden. Men den lyse plamage har altså været det første faste stof, der satte sig sammen, praktisk talt lige så gammelt som Solen. Det var lige præcis den her sten, som James Connelly og kollegerne brugte til at måle solsystemets alder: 4,567 milliarder år. Det er sten som denne, alle stenplaneterne i solsystemet er dannet af (modsat gasplaneterne, der primært er lavet af gas). Den på billedet kom dog ikke med i en planet, men endte som meteorit på Jorden, i en kasse på et kontor.

flade, grå sten i hver sin lille æske. Det er dem, og en masse tilsvarende i andre kasser, James Connelly og kollegerne hver dag forsøger at fravriste svarene på de store spørgsmål.

SOLSYSTEMETS DÅRLIGSTE 'LOCATION'

På grund af pladetektonik, vind og vejr her på Jorden findes der ikke længere nogen originale sten fra dengang, Jorden blev dannet. Alle spor fra det tidligste solsystems planetproduktion er altså for længst blevet visket ud, omformet og visket ud igen. Disse kræfter findes ikke på de andre planeter, og derfor er Jorden sådan set det dårligste sted i solsystemet

“Der har været en gigantisk kollision mellem de to, hvor en stor del af begge planeters masse blev blandet sammen”

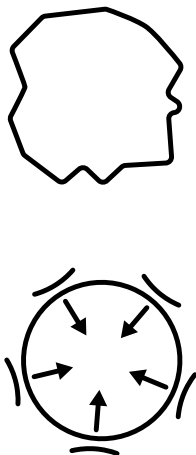
JAMES CONNELLY

PROFESSOR I GEOKRONOLOGI

HVAD ER EN PROTOPLANET?

En planet er først en rigtig planet, når dens masse er så stor, at tyngdekraften overvinder planetmaterialets stivhed. Således at tyngdekraften simpelthen er stor nok til at trække materialet – sten eller gas – indad, så planeten bliver rund. Det kaldes hydrostatisk ligevægt. Inden da er den en protoplanet, hvis overflade kan være mere uregelmæssig.

Illustration: Lykke Sandal, Geovidien



at undersøge dannelsen af solsystemet, fortæller James Connelly. De ældste fragmenter, vi har, er 4,37 milliarder år gamle.

”Vil man se længere tilbage, må man derfor undersøge meteoritter eller sten fra andre planeter og måner. Nogle meteoritter er dannet ganske få millioner år efter Solen og består af det materiale, alle de andre planeter er bygget af,” forklarer han.

De sten giver indsigt i, hvordan planeterne er vokset frem af en sky af bittesmå støvkorn, og det er sådan set imponerende nok. Men James Connelly fortæller, at det, han og kollegerne i sidste ende gerne vil forstå, er, hvor unik – eller ikke unik – Jorden er. Altså hvad det præcis er i et solsystems udvikling,

der gør, at der dannes en eller flere beboelige planeter i den rigtige afstand og med den rigtige størrelse.

”Er vi et helt utroligt tilfælde, eller er det faktisk helt almindeligt i universet at have beboelige planeter? Hvis det er, må der jo være mange millioner Jorde bare i vores egen galakse. Og så skulle det da være mærkeligt, om ikke nogle af dem også havde liv?”

KOLLISIONSHYPOTHESEN

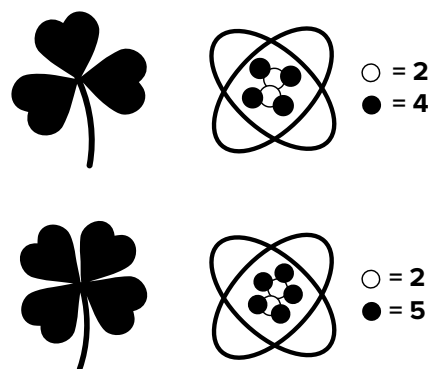
Noget, der dog efterhånden er rimeligt sikkert, er, at Jorden ikke ville være Jorden, hvis ikke Månen fandtes. De to nabo'planeter' (Månen er ikke per definition en planet, men en måne) er nemlig højst sandsynligt resultatet af et sammenstød mellem to af solsystemets tidlige planeter, fortæller James Connelly: en slags ikke fuldt udvoksede planeter, der kaldes protoplaneter. Altså en proto-Jord og så en proto-naboplanet.

”Standardhypotesen er, at der har været en gigantisk kollision mellem de to, hvor en stor del af begge planeters masse blev blandet sammen. Det meste blev hængende ved én af dem, som siden blev til Jorden. Den anden planet kom formentlig kun ud af sammenstødet med en smule af sin kerne. Der blev spredt en masse blandet materiale ud i rummet ved sammenstødet, og det samlede sig til en ring rundt om 'Jorden', der havde størst tyngdekraft. Meget af materialet faldt ned på Jorden og blev en del af planeten, men noget blev også tiltrukket af den anden lille planetkerne. Det dannede Månen.”

Den forklaring er også kendt som kollisionshypotesen. James Connelly fortæller, at det indtil for nogle år siden var den gængse opfattelse, at kollisionen var mellem en proto-Jord og en mindre protoplanet på størrelse med Mars. Den blev kaldt Theia (i græsk mytologi er det navnet på Måne-gudinden Selenas mor). Man ville selvfølgelig gerne vide mere om oprindelsen af denne mystiske Theia-planet, så nogle af James Connellys kollegaer fra andre laboratorier satte sig for at måle forskellen på grundstoffernes isotoper i sten fra Jorden og sten fra Månen. Forskellige planeter har nemlig forskellige fordelinger af isotoper, lidt ligesom vi mennesker kan kendes på vores fingeraftryk. Derfor ville isotoper, der ikke passede med Jordens isotoper, givetvis skyldes indblanding fra Theia og måske på den måde fortælle mere om denne mystiske protoplanet.

”Til alles store overraskelse viste målingerne, at isotopfordelingen i Jord-prøverne og Måne-prøverne var identisk,” siger James Connelly. Hvilket betyder, at den planet, der kolliderede med proto-Jorden, ikke kan have været en udefrakommende 'fremmed' planet, men nærmere har været en slags tvilling til den tidlige 'Jord'.

>



HVAD ER EN ISOTOP?

De enkelte grundstoffer findes i flere forskellige udgaver, hvor antallet af protoner i kernen er ens, men antallet af neutroner er forskellige. Der er altså tale om det samme grundstof, men blot med lidt forskellig masse. Lidt ligesom kløverplanten oftest har trekløvere, men også kan have firkløvere, femkløvere osv., som alle tilhører samme plante. Forskellige planeter har normalt deres egen karakteristiske fordeling af isotoper, som kan bruges til at identificere sten derfra.

Illustration: Lykke Sandal, Geoviden



Foto: Jacob Lind Bendtsen, GEUS

James Connelly undersøger en af Måne-prøverne under mikroskop. Inden prøverne går videre til næste trin, som er opløsning i syre, skal man være sikker på, at man har udskåret det rigtige stykke fra de kostbare sten.

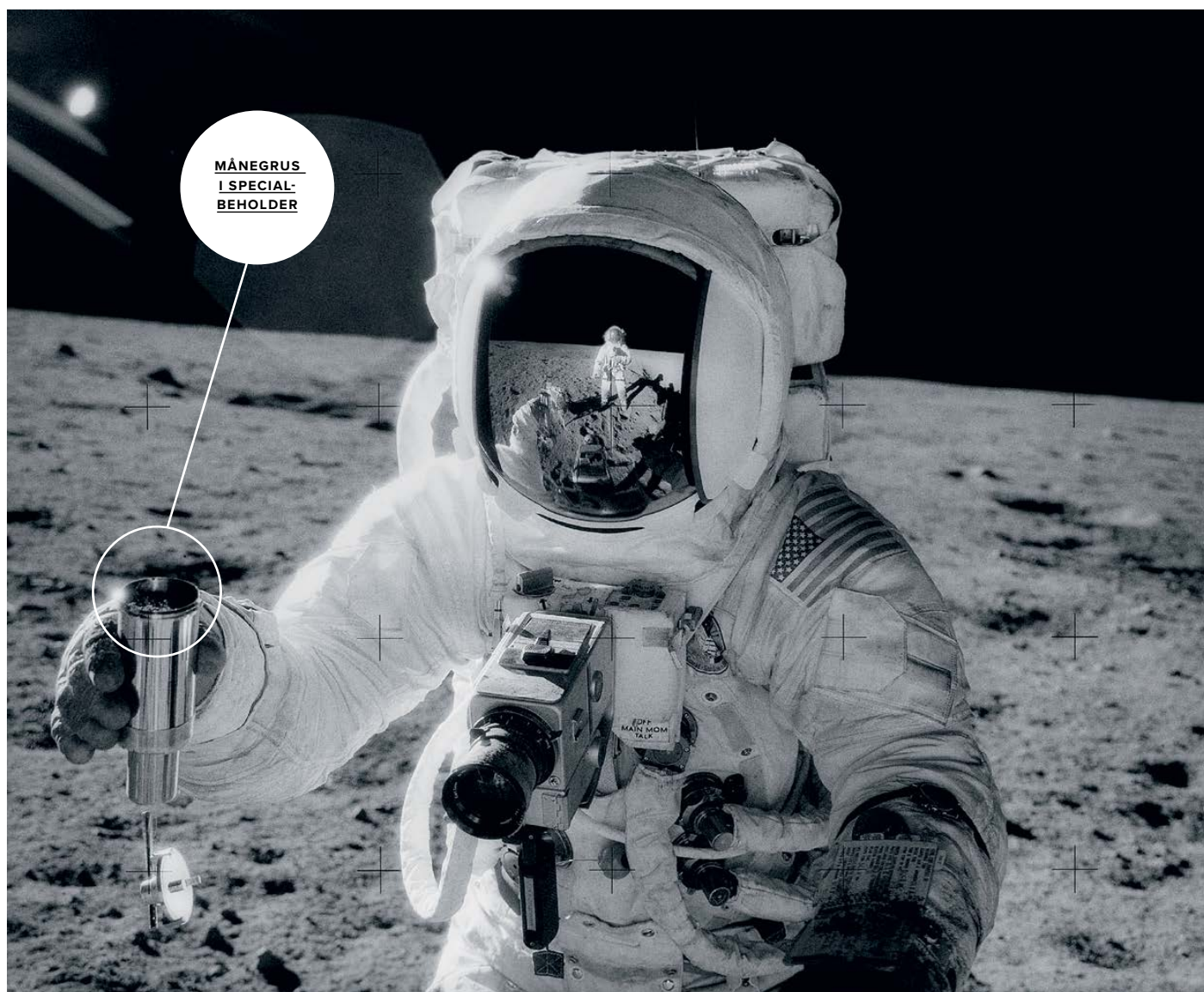
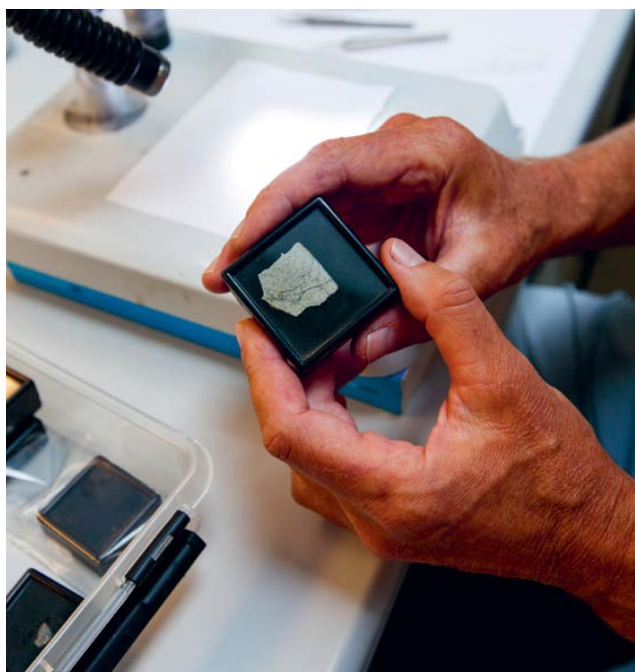


Foto: NASA



En af astronauterne på Apollo-mission 12 er i gang med at indsamle prøver i den lille metalbeholder. Beholderne var designet til at beskytte prøverne, men også til potentielt at beskytte os på Jorden, når prøverne blev bragt tilbage. Man vidste jo ikke, om de på en eller anden måde kunne være farlige.

“Vi fik lov til at datere
et stykke af en af de mest
berømte Apollo-sten
ved navn 60025”

JAMES CONNELLY

PROFESSOR I GEOKRONOLOGI

Et stykke af Månens ældste overflade, den lyse anorthosit.

Foto: Jacob Lind Bendtsen, GEUS

METEORITDEALERE OG MÅNEMETEORER

Forskerne ved STARPLAN får fat i Måne-prøverne på to måder:

1. Meteoritjægere Der falder somme tider sten fra Månen ned på Jorden som meteoritter. Det sker, når der har været et meteornedslag på Månen, som har hvirvlet fragmenter højt nok op i luften til, at de er undsluppet Månens tyngdefelt og i stedet er blevet fanget af Jordens.

Der findes professionelle meteoritjægere, der rejser rundt i ørkener og andre fjerne, øde egne og indsamler meteoritter for at sælge dem videre, herunder Måne-meteoritter. Dem køber forskerne, ofte til ret høje priser. Det kan være mange tusind kroner pr. gram. Dog kan de ofte lave byttehandler med prøver, de er færdige med at undersøge.

2. Apollo Forskerne kan få prøver tilsendt fra NASA's samling af prøver hjembragt fra Apollo-missionerne. Her indsendes først en ansøgning med beskrivelse af, hvad prøven skal bruges til, hvor meget man skal bruge m.m. Så vurderer NASA, om formålet er vigtigt nok. Prøven ødelægges nemlig typisk ved analyserne, så der sendes ikke ud til hvem som helst.

DEN MYSTISKE TVILLING

Fordelingen af isotoper i solsystemets planeter bestemmes blandt andet af, hvor og hvornår i det tidlige solsystem planeterne er dannet. De identiske isotopprofiler giver derfor kun mening, hvis de to objekter, der kolliderede, er vokset cirka det samme sted på cirka det samme tidspunkt. Og desuden har været cirka lige store.

”Det sendte virkelig chokbølger gennem forskersamfundet, for det ændrede vores forståelsesmodel betydeligt. Det skabte selvfølgelig også flere spørgsmål, for eksempel angående de to

protoplaneters indbyrdes forhold inden kollisionen. Og især hvad der gjorde, at de pludselig stødte sammen efter ikke at have gjort det under hele deres dannelse,” fortæller James Connelly.

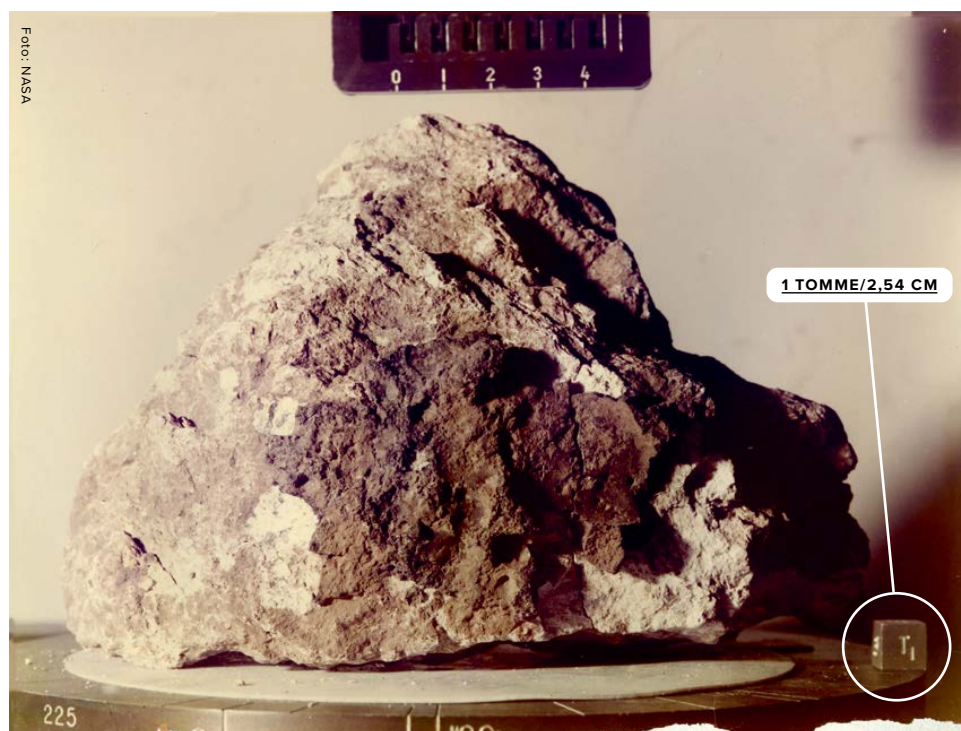
Svaret på det skal dog sandsynligvis hverken findes på Jorden eller Månen, for kollisionen smadrede så meget rundt i alting, at den geologiske tid blev nulstillet. De måle-

metoder, James Connelly og kollegerne bruger til at datere med, duer ikke til sten, der har været udsat for voldsom genopvarmning, så derfor kan de kun måle tilbage til de sten, der er dannet efter kollisionen. Indtil videre må forskerne altså slå sig til tåls med de 385 kilo månesten, Apollo-astronauterne tog med sig hjem for et halvt århundrede siden, samt hvad der dumper ned på Jorden i form af meteoritter. Og det er nu ikke så skidt endda. Ved hjælp af en af Apollo-stenene kunne James Connelly og hans kolleger nemlig i starten af 2010'erne fastsætte Månens alder. I hvert fald dens minimumsalder.

”Vi fik lov til at datere et stykke af en af de mest berømte Apollo-sten ved navn 60025, hentet hjem af Apollo 16-missionen. Den stammer fra den lyse del af Månens overflade, som man ved er den ældste.”

Dateringen viste, at stenen var dannet for 4,36 milliarder år siden.

>



Apollo-prøve nr. 60025 hjemtaget af Apollo 16. Den blev samlet op 15 m sydvest for landingsmodulet, består af anorthosit og udgør en del af Månens oprindelige overflade. Denne sten er en af de bedst undersøgte, og det var den, James Connelly og kollegerne målte på for at finde alderen på Månens overflade: 4,36 mia. år.



FORURENING

Forskerne prøver så vidt muligt at lade være med at røre ved prøverne med fingrene, da det kan forurene prøverne og forstyrre resultaterne. Der bæres derfor typisk handsker, og stenene håndteres med pincetter etc.

CLOSE-UP

Et såkaldt SEM-foto (scanning elektron mikroskop) af en detalje i en meget gammel meteorit. Fotoet viser strukturer, der ikke kan ses i almindelige mikroskoper.

MÅNESTEN

Prøver af sten fra Månens overflade venter på videre undersøgelse i mikroskopet.

MØD FORSKEREN



Foto: Jacob Lind Bendtsen, GEUS

NAVN:

James Connelly

STILLING:

Professor i geokronologi ved STARPLAN-forskningsgruppen under Københavns Universitet.

UDDANNELSE:

- Bachelor i geologi, Carleton University, Ottawa, Canada.
- Kandidat i geologi, Queens'

University, Kingston, Canada.

- Ph.d. i geokemi, Memorial University, St. John's, Canada.

VILLE DU SELV TAGE TIL MÅNEN, HVIS DU KUNNE?

"Hmm ... jeg ville gerne sige ja, men jeg tror, jeg ville tænke meget nøje over alt det, jeg har at se frem til her på Jorden,

før jeg vil tage en risiko af den størrelse. For det er jo en stor risiko. Det er også derfor, jeg har så stor beundring for dem, der rent faktisk har gjort det. Hvis Elon Musk får ret, og der kommer mennesker til Mars om nogle år, vil jeg nok også have det helt fint med bare at få nogle prøver derfra sendt hertil og så se på dem her på kontoret."



Foto: Johanne Uhlenhuth Kuszniroff, Geovidien



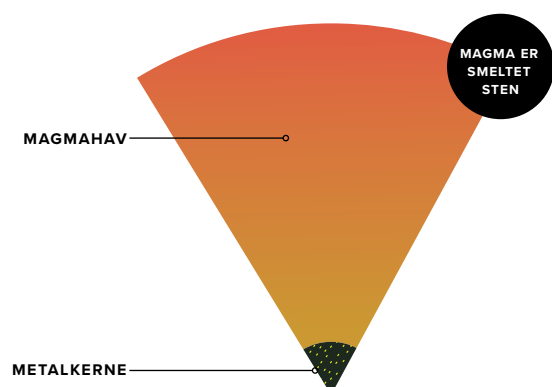
Foto: Jacob Lind Bendsen, GEUS



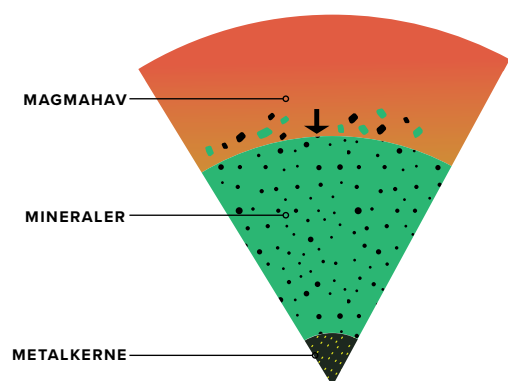
Foto: Jacob Lind Bendsen, GEUS



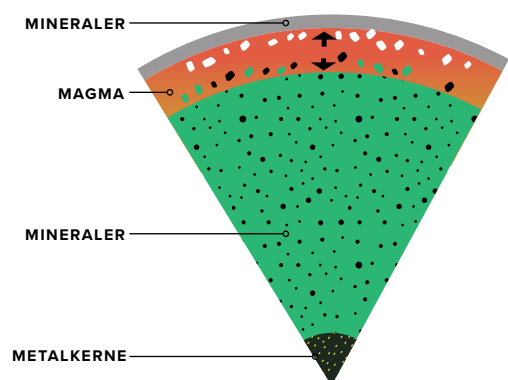
Foto: Jacob Lind Bendsen, GEUS

FIGUR 4**DANNELSEN AF MÅNENS OVERFLADE****A**

Udsnit af Månen fra de helt unge dage. Her er den lige dannet, og det meste, ud over kernen, er stadig flydende magma.

**B**

Magmaen begynder langsomt at størkne, og det betyder, at mineraler kan begynde at blive dannet. Det starter med de tunge mineraler, som synker ned mod 'bunden' og begynder at danne en voksende, fast kappe.

**C**

I løbet af nogle millioner år begynder der også at kunne dannes lettere mineraler. Dem, der er lettere end magmaen, flyder op til overfladen. Her danner de med tiden et tykkere og tykkere lag, som altså dannede Månens oprindelige, lysegrå overflade.

Illustration: Lykke Sandal, Geoviden

”Det vil sige, at Månens overflade blev dannet cirka 150 millioner år efter, at Solen blev skabt. Før troede man, det kun var cirka 50 millioner år efter Solens dannelse (som var for 4,567 milliarder år siden).”

Igen en stor opdagelse gjort for ganske nylig om den nabo, vi alle gik og troede, at vi kendte så godt.

James Connelly fortæller, at man desuden antager, at den 'nyfødte' Måne må have været meget varm. Tiltrækningskraften mellem materialet fra rest-støvskyen fra den store kollision dannede en klump, der tiltrak andre små klumper, som regnede ned over den voksende Måne. De mange nedslag har sandsynligvis ledt til en varmeproduktion i en sådan grad, at de yderste dele af den unge Måne må have været flydende. Hele overfladen og et godt stykke nedefter har formentlig været ét stort hav af magma. Magmaen vil dog relativt hurtigt køle af, formentlig har det maksimalt taget 50 mio. år. Når magma kører af, begynder der at blive dannet mineraler, og det sker altid i en bestemt rækkefølge.



EKSTRA
geoviden.dk/maanen

VIDEO: KOM MED I LABORATORIET

Se, hvordan James Connelly arbejder, og hør ham fortælle mere om, hvordan solsystemet er opstået, og om Månens og Jordens tætte forhold.

PODCAST: MÅNESTENEN, DU SELV KAN BESØGE

Som noget nyt kan du høre mere i Geovidens nye podcast Geoland. De to geologistuderende Mathilde Lieberkind og Emil Soltau tager til Planetarium i København og ser den Måne-sten, der er udstillet der. De taler f.eks. med astrofysiker Cecilie Sand Nørholm om, hvad der er særligt ved sten fra Månen.

Find det hele og meget mere på

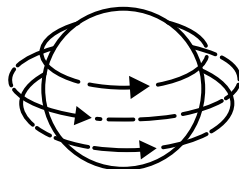
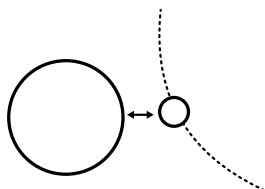
geoviden.dk/maanen

DE TRE MÅNE-TEORIER

Der har i det seneste århundrede været flere ideer om, hvordan Månen blev til. Af de tre herunder er det kun nr. 3, der stadig 'lever'.

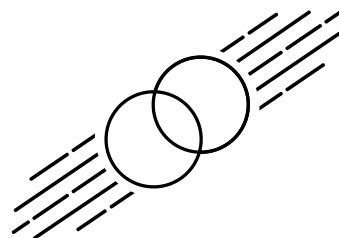
Illustration: Lykke Sandal, Geoviden

1. Jordens tyngdefelt indfangede en kæmpe stor, rund asteroide, der fløj forbi. Kan godt fungere for andre planeter, men det giver ikke mening for Månen. Hvis det gjorde, ville Månen ikke have den låste omdrejning om Jorden, hvor vi kun ser én side (kaldet bundet rotation).



2. Jorden roterede på et tidspunkt så hurtigt, at der simpelthen faldt et stykke af, som blev til Månen. Ingen tror længere på denne teori, da ingen modeller eller data kan understøtte den.
3. En form for gigantisk sammenstød

mellem to store himmellegemer eller protoplaneter skabte en sky af materiale rundt om det ene objekt. Størstedelen af materialet faldt ned på dette primære objekt, hvilket dannede Jorden, og resten dannede en mindre planet, Månen. Denne teori er generelt accepteret.



Et af de første mineraler til at blive dannet er plagioklas. Det er et ret let mineral, i hvert fald lettere end magma. Derfor flyder det op mod overfladen sammen med andre lette mineraler og danner et tiltagende tykt, fast lag (se fig. 3).

”Processen gør, at der med tiden dannes en fast skorpe af bjergarten anorthosit, som består af omkring 90 procent plagioklas. Ved at aldersbestemme et stykke af denne overflade kan vi derfor fastslå, at så gammel er Månen i hvert fald, og så en smule ældre.”

Der dannes også tungere mineraler som for eksempel olivin og pyroxen, der synker nedad mod kernen. De udgør Månens indre sammen med en relativt lille kerne af jern og nikkel.

Det er dog stadig ikke alle i det videnskabelige samfund, der har accepteret den nye, unge alder, fortæller professoren.

”Så vi arbejder selvfølgelig videre på at få endnu flere beviser for vores ’Young Moon’-hypotese.”

HVAD NU HVIS ...?

Alle disse aldre er som sagt vigtige at få fastlagt, for ellers hænger tingene ganske enkelt ikke sammen. Den ene hændelse leder jo gerne til den næste, og et meteornedslag på én planet kan lede til dannelsen af nye meteoriter, der rammer ned

i en anden planet. Og så videre. En historietime ville heller ikke give megen mening, hvis læreren bare remsede en masse hændelser op i vilkårlig rækkefølge uden at oplyse, hvornår hvad skete. For hver gang James Connelly og kollegerne måler alderen på en ny sten fra rummet, kan de sammen med dens kemiske sammensætning og andre egenskaber tilføje den på tidslinjen fra altings begyndelse og op til i dag. Der er dog stadig en del huller i den historie, så der vil fortsat være en lind strøm af nye meteoriter og Måne-prøver ind og ud af laboratoriet i det gamle museum. Hvert døgn lander der 10-20 nye meteoriter rundt omkring på Jorden, så der skulle heldigvis være nok at tage af.

Noget, de dog formentlig ikke kommer til at kunne svare på via de gamle sten, er, hvad der kunne være sket, hvis ikke den store kollision mellem de to protoplaneter havde skabt Månen og Jorden. For så havde der jo forsat været to omtrent lige store tvillingeplaneter, og man kan ikke vide, om de ville have udviklet sig ligesom den livs-venlige planet, vi kender nu. Som James Connelly siger, er det svært at måle på noget, der ikke er sket.

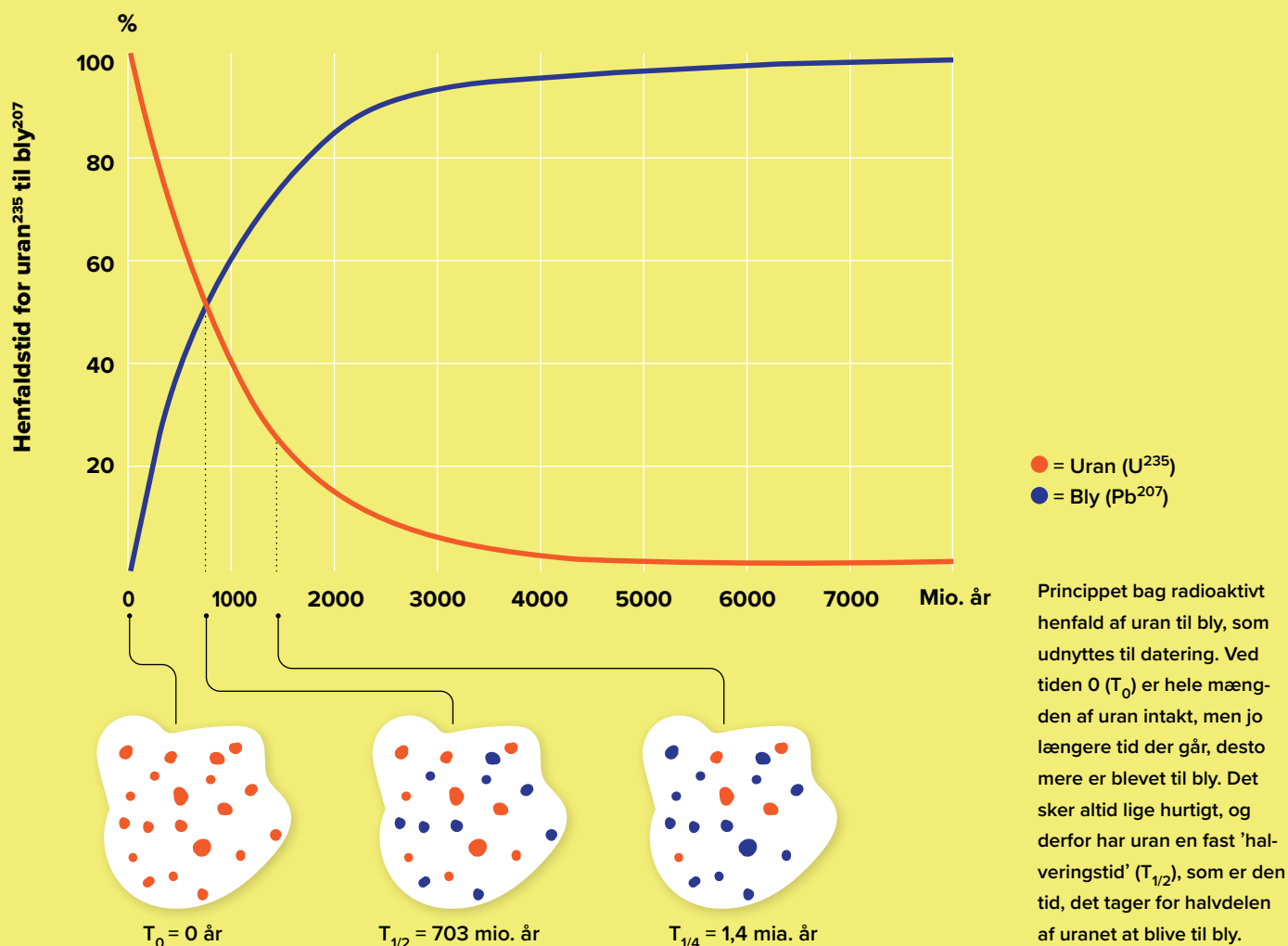
”Jeg tror dog, det er usandsynligt, at der ville være skabt to Jorde som den, vi kender i dag. Forholdene ville formentlig være meget anderledes, så det er slet ikke sikkert, livet ville være opstået uden den kollision, der gav os Månen.” •



URAN TIL BLY-METODEN: SÅDAN MÅLES STENENES ALDER

Ved hjælp af radioaktivt henfald af uran kan forskerne fra STARPLAN-laboratoriet finde frem til alderen på meteorit- og Måne-prøver med meget stor præcision.

Figur 5



Når mineraler dannes fra smeltet sten (magma), der størkner, kommer der altid en god blanding af grundstoffer med. Også af de mere sjældne, for eksempel uran, bare i meget lav koncentration. Det er imidlertid denne lille smule uran, forskere som James Connelly og andre geologer kan bruge til at måle, hvornår stenen blev dannet, altså stenens alder. Uran er nemlig et radioaktivt grundstof, hvilket vil sige, at dets kerne har en ustabil sammensætning af protoner og

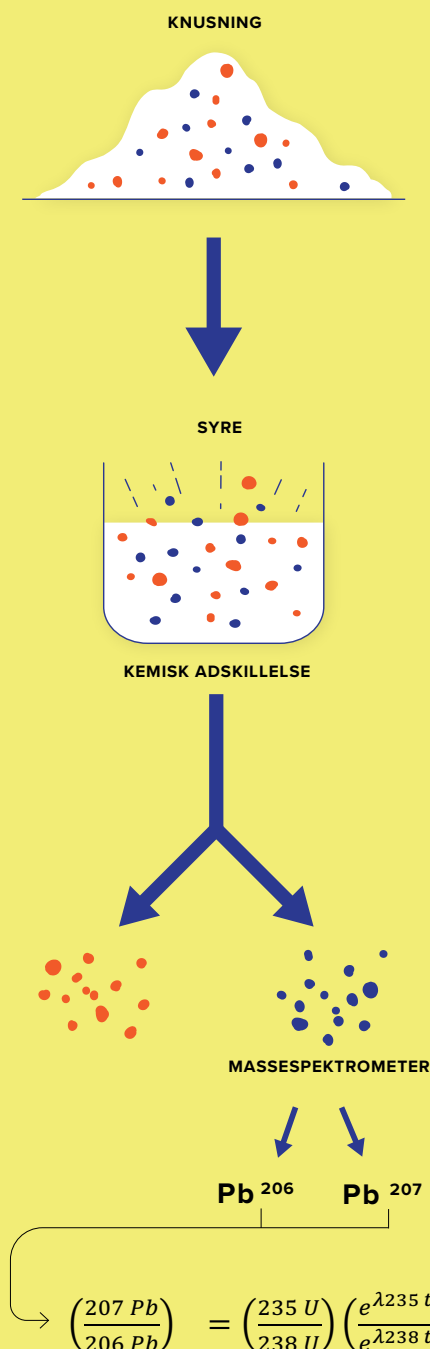
neutroner. Atomerne vil forsøge at opnå stabilitet i kernen ved at justere antallet af neutroner overfor protoner, og det gøres ved at udsende radioaktiv stråling, hvilket også kaldes at henfalde. Radioaktive grundstoffer følger altid en særlig henfalds'sti', hvor de går fra det oprindelige grundstof til et stabilt grundstof, hvor de så er 'tilfredse' og stopper med at henfalde. For uran er denne stabile endestation bly. Henfaldsprocessen tager altid lige lang

tid, og forskerne taler om stoffets 'halveringstid' ($T_{1/2}$). Forskerne måler så forholdet mellem henfaldet bly og oprindeligt bly i stenen og regner ud, hvor lang tid det har taget for den mængde at blive omdannet fra uran.

To slags uran og bly

Der er imidlertid to slags radioaktiv uran (isotoper). Den, der er mest af, U^{238} med 92 protoner og 146 neutroner i kernen

Figur 5a



SÅDAN GØR STARLAB-FORSKERNE

• Knusning

Forskerne identificerer den del af stenen, der skal dateres, og skærer en prøve, der sommetider knuses.

• Syre

Prøven kommer i en beholder med først ret svag syre og derefter i stærkere og stærkere syre. Det gør man, fordi stenen ofte vil være forurenet med bly fra Jordens miljø, idet bly fra de foregående årtiers blybenzin har skabt unaturligt høje blykoncentrationer. Der kan også være bly i stenen, som ikke er kommet ved henfald, men bare var der fra starten. Det vil man også gerne have fjernet, så man kun måler på det bly, der er dannet via henfaldet uran, som er det, der viser alderen. Det smarte er, at blyet fra det radioaktive henfald er mere modstandsdygtigt overfor stærk syre end de to andre slags. Når man udsætter prøven for tiltagende stærke syrer, vil man derfor få fjernet mere og mere af det og stå tilbage med mere eller mindre rent radioaktivitets-bly i stenen.

• Kemisk adskillelse

Prøven bliver nu separeret i enkelte grundstoffer, blandt andet ved hjælp af opløsning med mere syre.

• Massespektrometer

Alle prøvens tilbageværende blyatomer er nu samlet i én opløsning, som tages videre til et massespektrometer. Det er en maskine, der kan dele prøven op i forskellige isotoper, blandt andet ved hjælp af stærk magnetisme. Nu kan forskerne så aflæse på en graf, hvor stor en del af blyet i prøven, der var hhv. Pb²⁰⁶ og Pb²⁰⁷. Den ratio kan komme ind i ligningen herunder, sammen med forholdet mellem de to uranisotoper, som man typisk kender i forvejen. Eneste ukendte variabel tilbage er t, altså tiden, som er stenens alder, og dermed den tid, det har taget at opnå det præcise forhold mellem isotoperne via det radioaktive henfald.

e = matematisk konstant

λ = henfaldskonstant

t = tid

(masse på 238), og den, der er mindst af, med 92 protoner og 143 neutroner, U²³⁵. De har forskellige halveringstider og henfalder til forskellige isotoper af bly (hhv. Pb²⁰⁶ og Pb²⁰⁷). Grafen på fig. 5 viser henfald og halveringstid for U²³⁵. Den har en halveringstid på 703 mio. år, hvilket betyder, at efter 703 mio. år vil halvdelen af den oprindelige mængde U²³⁵ være omdannet til bly af typen Pb²⁰⁷. Efter endnu 703 mio. år er den mængde

igen halveret og så fremdeles. For U²³⁸ går halveringen væsentligt langsommere, hele 4,4 mia. år. Man kunne så tro, at det gjorde det sværere at udregne alderen på stenen. Heldigvis gør det faktisk, at man ved at kombinere de to henfaldstider kan få en endnu mere præcis alder. Forskerne i bl.a. STARPLAN-laboratoriet kan nemlig bruge forholdet mellem de to slags uran og de to slags bly (ratioen) og ret simpelt plotte dem ind i en ligning (herover, fig. 5a

nederst). Når de kender de to ratioer, vil den eneste ukendte faktor tilbage være tiden, det har taget at opnå de to forhold. Den kan isoleres, så man får den værdi, den må være, for at opnå de to ratioer, og dermed har man en meget præcis alder. Da James Connelly og kollegerne udregnede solsystemets alder til 4,567 mia. år (se s. 14 - 23), brugte de denne metode og fik en usikkerhed på 270.000 år. Meget lidt, når det handler om milliarder af år.

KIKKERTGUIDE TIL MÅNEN

Næste gang der er fuldmåne, så find din gamle håndkikkert frem og gå på opdagelse blandt Måne-overfladens mange smukke kratere, bjergkæder og magmabassiner. Få guiden her.

MÅNENS MØRKE 'HAVE'

De tidlige Måne-forskere troede, de store mørke områder var have, ligesom vi kender fra vores egen planet. Derfor hedder de 'Mare' dit og dat, altså latin for hav (i flertal: maria), og det største har fået fornavnet 'Oceanus', altså ocean. Men der er ikke flydende vand på Månen, og områderne er faktisk meget gamle og meget store kratere fra Månens tidlige, vilde liv. Dengang var der ikke helt så ryddeligt i solsystemet som i dag, og der fløj mange store asteroider rundt. Flere af dem ramte ind i Månen. Sidenhen har Månen undergået flere omgange af vulkansk aktivitet, hvor de store kratere er blevet fyldt ud med lava (se s. 11). Den lava er siden størknet til bjergarten basalt, som reflekterer lys dårligere end anorthositen i den oprindelige Måne-overflade, altså den lyse del. Derfor er de store, basaltfyldte kratere mørkere end omgivelserne.

Undtagen de steder, hvor nye, store nedslag har hvirvlet rundt i bjergarterne. Prøv at identificere:

1. Oceanus Procellarum, Det Stormende Ocean. Det største mørke område, placeret i den nordvestlige del af Månen. Krateret er ca. 2.500 km på sit bredeste sted og dermed det største på Månen og også et af de største i solsystemet. Faktisk passer størrelsen cirka med det europæiske fastland.

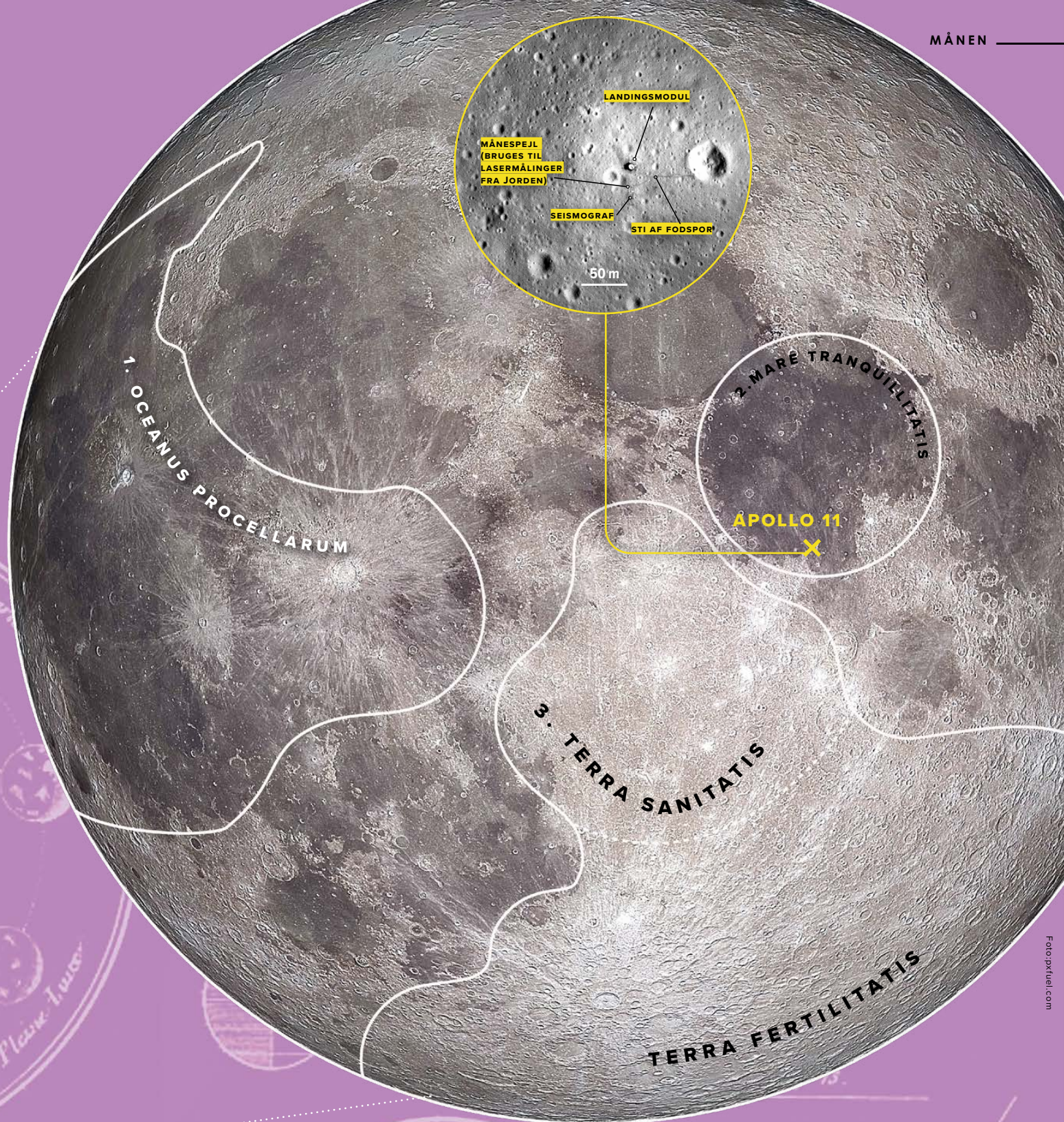
2. Mare Tranquillitatis, Det Rolige Hav. Krateret, eller 'havet', er 873 km i diameter, altså cirka tre gange længden af Jylland. Det var her, Apollo 11 landede, og Neil Armstrong trådte ud i Måne-støvet som første mand i 1969. I 2012 fløj den nye satellit Lunar Reconnaissance Orbiter over landingsstedet og tog fotoet på s. 27, hvor man stadig kan skimte efterladte ting og fodspor.

DE LYSE HØJLANDSSLETTER

Den lyse del af Månen er det, der ligger rundt om de forskellige 'maria', og som man før troede var fastlandet mellem havene. Derfor hedder områderne Terra ('jord') Sanitatis, Terra Vitæ osv. Områderne er den ældste, oprindelige del af Månens overflade og består hovedsageligt af bjergarten anorthosit, som altså reflekterer sollys rigtig godt – derfor den lysegrå farve. Prøv at identificere:

3. Terra Sanitatis, Den Sunde Jord. Den lyse flade cirka i midten af Månen, som ligger omkranset af bl.a. Mare Tranquillitatis. Området er ikke sådan hårdt afgrænset, men går over i den større lyse, nederste del, Terra Fertilis, Den Fertile Jord.





ALTID SAMME SIDE

Vi ser altid den samme side af Månen, fordi den er i 'bundet rotation' om Jorden, fanget af Jordens tyngdefelt. Derfor kan du altid se den samme side, sådan cirka. Der er små variationer, kaldet libration, som gør, at vi over en måned ser Månen lidt skævt fra højre og venstre side, så vi faktisk kan se lidt 'rundt om hjørnerne'. Derfor er i alt er 59 pct. af overfladen synlig fra Jorden. Se animation af librationen på geoviden.dk/maanen

Alle kratere har oprindeligt haft forhøjede kanter, men hos nogle er de ødelagt, f.eks. af nye nedslag, opfyldning med lava eller med Måne-støv.

BJER GKÆDER

Nordøst for det kæmpestore mørke område, Oceanus Procellarum (fra forrige side) er faktisk et særskilt område kaldet **Mare Imbrium (4)**, Det Regnfulde Hav. Her kan man lige akkurat skimte en lys ring, der afgrænser området fra ca. kl. 9 til kl. 6 på et imaginært ur. Den ring udgør den forhøjede kant på et krater, der opstod ved et meteornedslag for mellem 4,1 og 3,8 mia. år siden (se figur herunder). Siden er krateret blevet fyldt med lava fra Månens indre, hvilket har opdelt ringen i mindre bjergkæder der, hvor det er flydt ud over kanten. Den sydøstlige del af kæden er normalt mest tydelig med almindelig kikkert og hedder:

5. Montes Apenninus. Den sydøstligste del af bjergkæden rundt om Mare Imbrium. Højeste punkt er bjerget Mons Huygens på 5,4 km, hvilket er det højeste bjerg på Månen (kræver dog et teleskop at se).

En meteor rammer ned i overfladen.



Ved nedslaget vil meteoren skubbe et hul ned i overfladen, hvor noget materiale presses sammen nedefter, mens andet skydes op i nedslagsstedets sider. Selve meteoren vil typisk blive opslugt i Måne-materialet eller helt eller delvist fordampe.



Ved en del nedslag dannes der også en slags 'tilbagekvulp' af den kortvarigt smeltede overflademasse. De ses som bjerge i kraternes midte, medmindre de er skjult under magma eller Måne-støv.



Figur 6

KRATERE

Månens overflade er fuldstændig fuld af kratere efter meteornedslag: små, store og kæmpestore. Det nok mest markante på Månens forside er nederst, Tycho-krateret, der er ca. 100 mio. år gammelt. Hvilket gør det til et af de yngste. Typisk for kratere af lidt nyere dato er, at det har tydelige 'stråler' af lyst materiale, der er blevet skudt ud i alle retninger ved de respektive meteornedslag. Ved ældre kratere vil de stråler være mindre tydelige, typisk ødelagt af nye kratere.

6. Tycho. Nederst på Månen i det lyse 'terra'-område. Det er 4,8 km dybt med en samling af bjerge i midten dannet ved nedslaget 'tilbagekvulp' i skorpen (se figur tv.), som også kan ses i slow motion-videoer af ting, der kastes ned i vand. Menes at være skabt af en asteroide fra samme moderobjekt som den asteroide, der gjorde det af med dinosaurerne for 66 mio. år siden. Krateret er 85 km i diameter, hvilket svarer ca. til Fyn inkl. Ærø og Langeland.

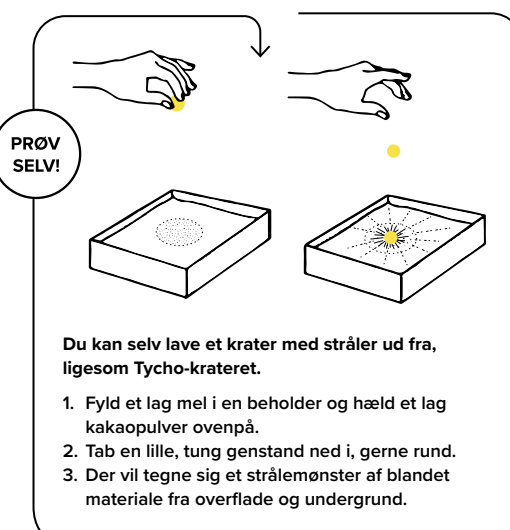


Foto: Lunar Reconnaissance Orbiter, NASA

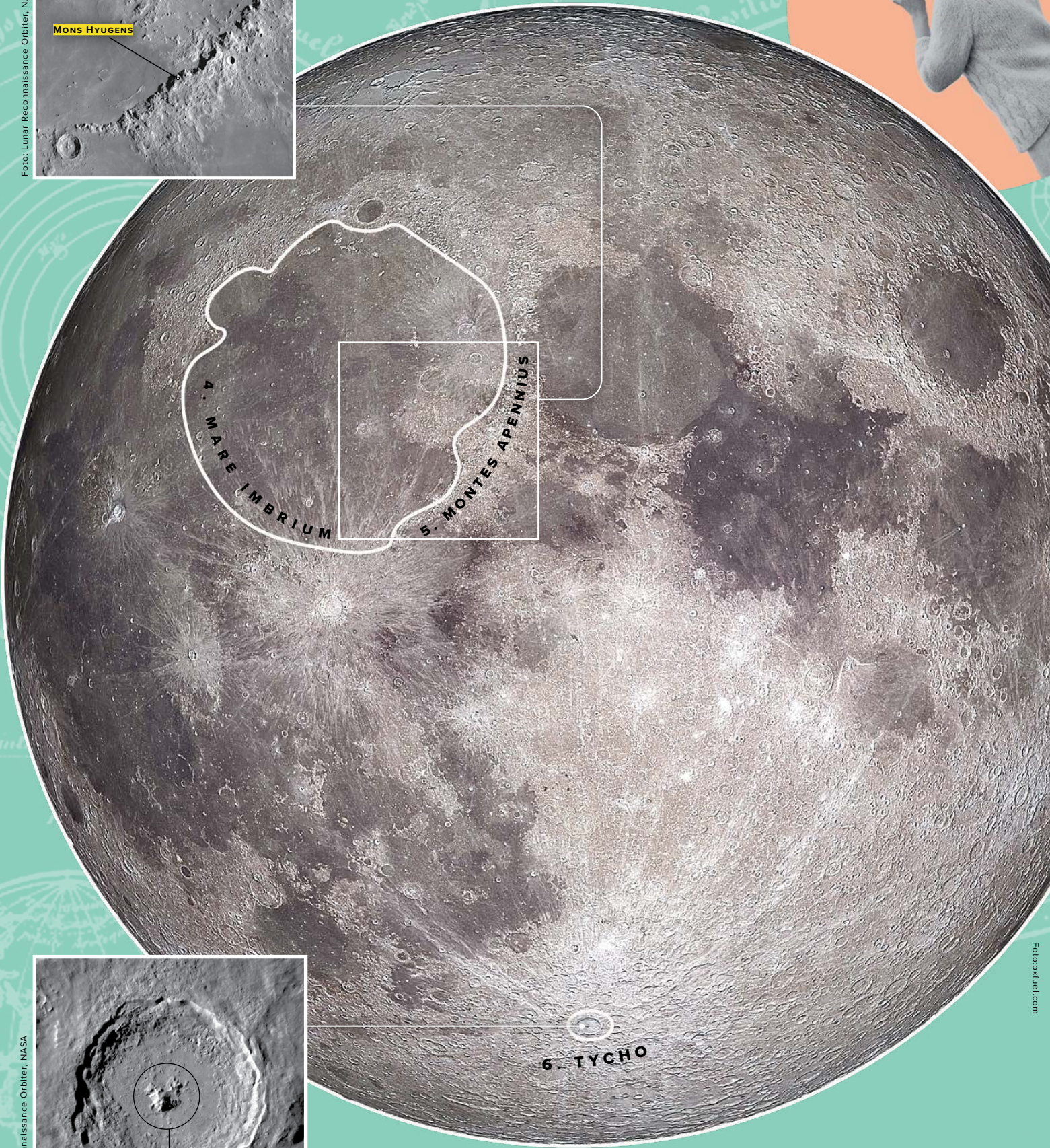
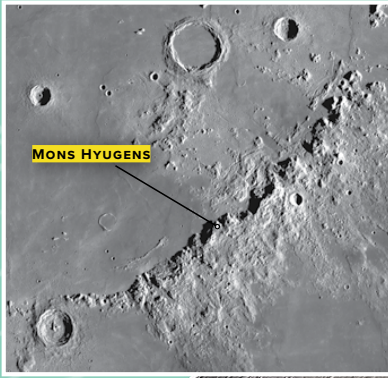


Foto: Lunar Reconnaissance Orbiter, NASA

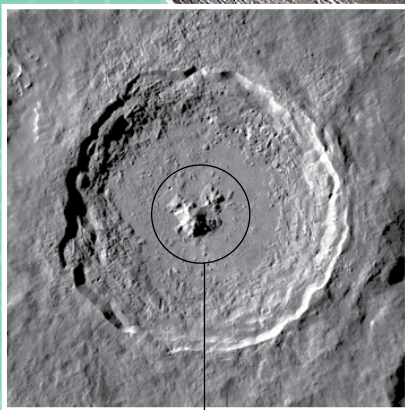


Foto: pxuel.com



EKSTRA
Find udvidet Måne-guide
på geoviden.dk/maanen

ONE MAP TO RULE THEM ALL...

MÅNE-KORTET, DER SAMLEDE

ALLE TIDLIGERE MÅNE-KORT

Ligesom der findes geologiske kort over Jordens overflade, findes der også kort over Månen. Det seneste kom i 2020 og samlede alle tidligere oplysninger på ét kort, som ud over at være ret flot indeholder utrolig meget viden.

Behøver man kort over andre planeter? Ja, blandt andet hvis man gerne vil danne sig et overblik over den geologiske historie og være sikker på, at man taler om det samme område. ”Den mørke prik ved siden af det lyse felt,” kan ikke bruges til videnskabelige samtaler. Derfor findes der efterhånden en lang række kort over de andre planeter og måner i solsystemet. Det første kort over Månen blev tegnet i 1637, da man havde opfundet teleskopet og pludselig kunne se flere detaljer. Med tiden blev der tilføjet og rettet i flere omgange. I 1970’erne udkom for første gang et kort baseret på teleskop-observationer fra Jorden OG på geologiske prøver fra Månen, som netop var blevet mulige at tage via Apollo-missionerne. Her kunne man også en gang for alle afkræfte, at den var lavet af ost!

Det seneste skud på kortstammen udkom i 2020 og skabte stor opmærksomhed verden over. Det er nemlig første gang,

at ét kort samler informationerne for hele Månens overflade, forside som bagside samt nordpol og sydpol med samme enheder. Arbejdet med Måne-kortet blev ledet af den amerikanske astrokartograf og GIS-ekspert (Geografisk Informations System) Corey Fortezzo, der arbejder ved U.S. Geological Survey (USGS). Da Geoviden fanger ham på en Zoom-forbindelse, fortæller han, at det var et stort fremskridt for Måne-forskningen at have ét samlet kort, som alle er enige om er kortET. Og som alle har adgang til, forskere som ikke-forskere. Inden da blev han og kollegerne jævnligt kontaktet af forskere, der havde problemer med at få oplysningerne på et kort af forsiden til at passe med et af bagsiden for eksempel.

”Nogle gange viste det sig også, at kratere fra de ældre kort slet ikke var der i virkeligheden. Så sammen med NASA og Lunar Planetary Institute besluttede vi her på USGS, at det ville være godt at få lavet ét samlet kort.”



Illustration: J. B. Homann and Johann Gabriel Doppelmayr, 1742 (Wikimedia Commons)

Han tilføjer, at NASA også selv har glæde af kortet, som lige nu blandt andet bruges til at planlægge, hvor de skal lande i det aktuelle Måne-landingsprogram, Artemis, som skal sende mennesker til Månen i 2024.

FØRSTE JOB EFTER UDDANNELSEN

Corey Fortezzo fortæller, at han fik ansvaret for at opdatere Måne-kortet som det første efter at have fået sin kandidatgrad i geologi på universitetet. Sådan lidt ved et tilfælde, for han var egentlig mere interesseret i kortlægning af geologien på Mars, som han også havde skrevet speciale om. Men han var samtidig exceptionelt dygtig til at lave kort, og det var der brug for på Måne-projektet. Han begyndte i 2008 at samle, opdatere og forenkle gamle kort fra 1970’erne, som så udkom som seks del-kort i 2013, der tilsammen viste hele Månen. Sammen med geolog-kolleger og



SE MERE PÅ [GEOVIDEN.DK/MAANEN](https://geoviden.dk/maanen)

Se eksempler på månekort gennem tiderne, herunder de meget smukke, håndtegnede udgaver fra 1600- og 1700-tallet.

ved hjælp af de tiltagende avancerede GIS-teknologier blev de kort så i 2020 samlet til det endelige, 'globale' Måne-kort. (GIS står for Geografisk Informations System og er en måde at samle mange informationer i ét kort på). Holdet har brugt data fra de satellitter, der lige nu er i kredsløb om Månen og hele tiden måler og fotograferer overfladen. Sammen med resultater fra de prøver, Apollo-astronauterne tog med hjem, og som der har været arbejdet på lige siden.

”Det her er et udgangspunkt for mere forskning og endnu bedre kort. Vi har lavet en 'baseline' med de grundlæggende geologiske enheder som kratere, sletter, bassiner m.m. Andre kan så lave kort over mineraler, is, sjældne jordartsmetaller, eller hvad der er brug for, baseret på det her.”

”CONTROLLED ARM WAVING”

Der er formentlig stadig en masse at opdage og kortlægge på Månen, fortæller Corey Fortezzo. Kortene bygger trods alt på prøver fra ret få lokationer på Månen, satellitmålinger og observationer fra Jorden. Corey Fortezzo kalder af samme grund kortlægning af andre planeter for ”a lot of controlled arm waving”, forstået som, at der er en vis grad af kvalificeret gætværk involveret.

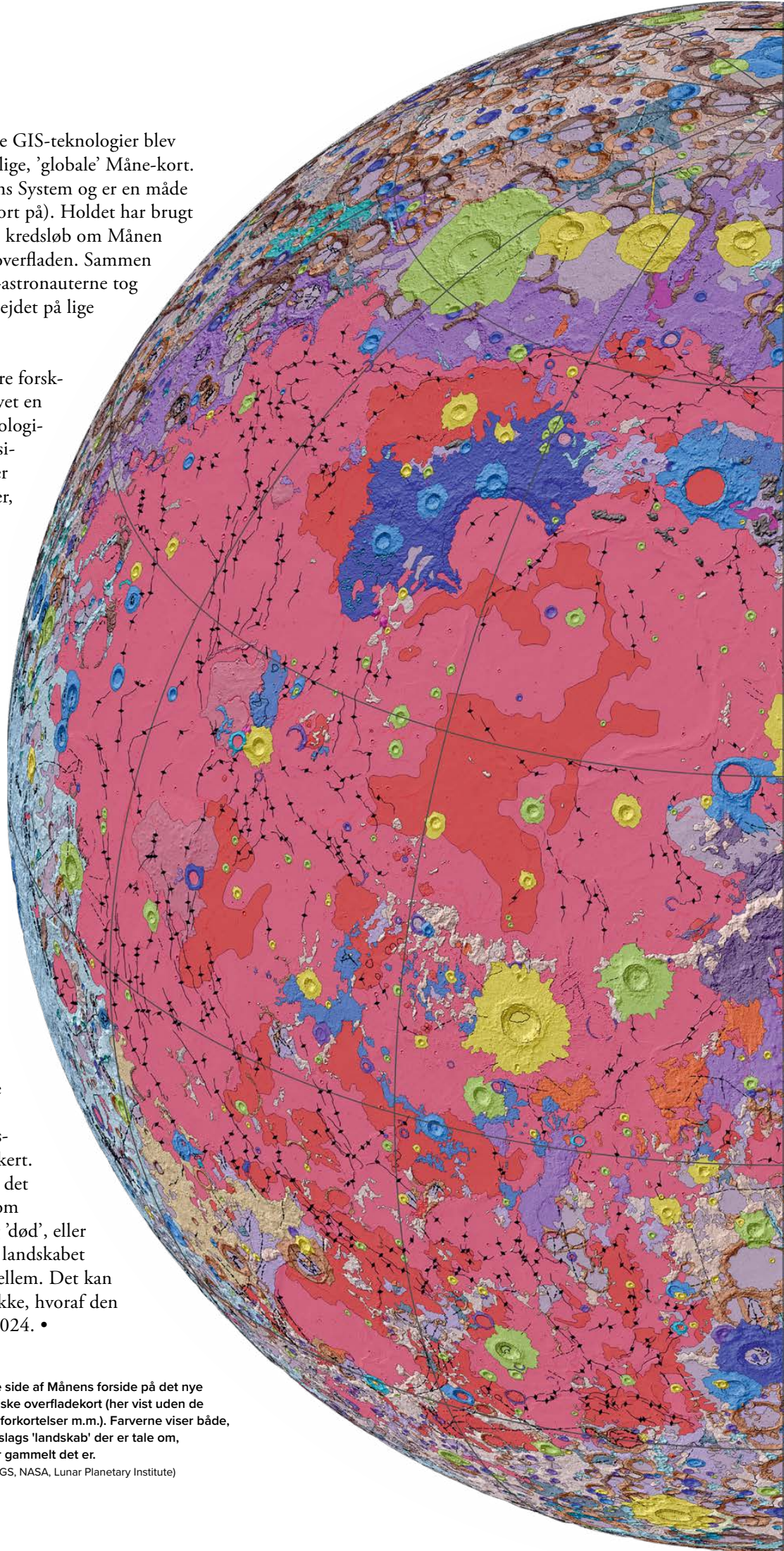
”Vi prøver at tolke på det, vi kan se, men vi kan jo ikke selv gå ud og måle op og tage prøver. Derfor er der selvfølgelig altid usikkerheder,” siger han.

De geografiske placeringer af kratere og så videre på kortet er dog rimelig sikre, men tolkningerne af dannelsesforløbene er for eksempel mere usikkert. Samtidig er der også stadig debat på det forskningsområde, der undersøger, om Månens overflade er uforanderlig og 'død', eller om der faktisk sker små ændringer i landskabet ud over et nyt meteornedslag indimellem. Det kan nye ekspeditioner dertil måske afdække, hvoraf den næste fra NASA's side er planlagt i 2024. •

**Få guide
til kortet på
de næste
sider!**

Venstre side af Månens forside på det nye geologiske overfladekort (her vist uden de mange forkortelser m.m.). Farverne viser både, hvilket slags 'landskab' der er tale om, og hvor gammelt det er.

(Kort: USGS, NASA, Lunar Planetary Institute)





SÅDAN LÆSER DU MÅNE-KORTET

Virvaret af farver her til venstre dækker over en dybere mening, som det faktisk er muligt at finde selv. Kortet over Månens overflade (her kun vist fra for-siden) er farvekodet med 48 forskellige farver, der inddeler overfladen i en række forskellige geologiske enheder, eller fænomener, om man vil. Altså kratere, basaltsletter og så videre. Faktisk er der i virkeligheden 'kun' syv overordnede, geologiske enheder på Månen, i hvert fald ifølge geologerne bag kortet, og de 48 farver er dermed bare forskellige udgaver af de syv enheder. Hvilket er et væsentligt fremskridt i forhold til det foregående kort fra 2013, som havde hele 203 farvekoder. Se de syv herunder, samt tilhørende eksempler på kortet.

1. Kratere.

2. Bassiner, eller lavtliggende områder.

3. 'Terra', som er mere eller mindre kuperede og lyse områder sammenlignet med de mørke 'have'/maria.

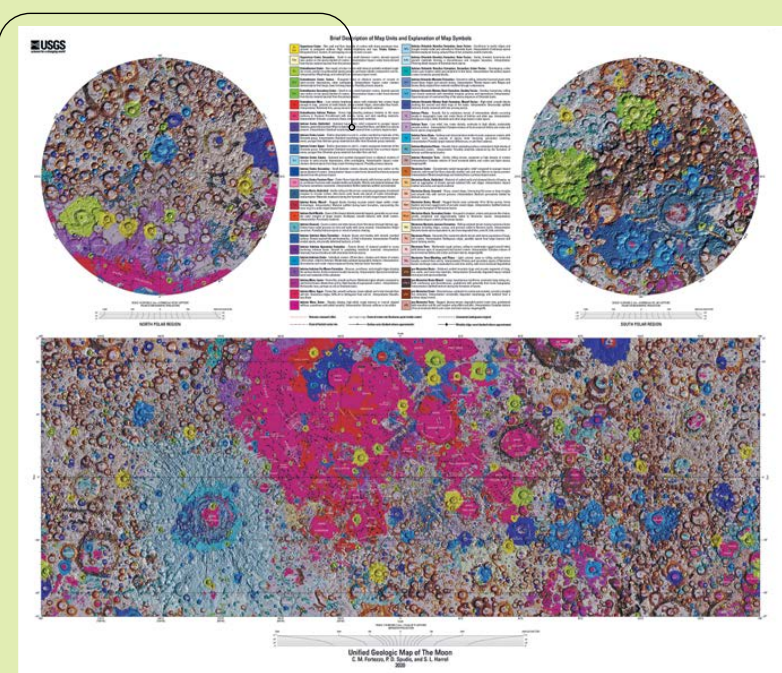
4. Sletter, altså større, flade områder.

5. Særlige formationer fra perioden Imbrium.

6. Særlige formationer ved Orientale-krateret på bagsiden.

7. Vulkanske fænomener, bl.a. områderne med størket lava i gamle kratere kaldet mare/maria.

FIND KORTET PÅ GEOVIDEN.DK/MAANEN



Farveforklaringen til Måne-kortet med 48 forskellige farver og tilhørende korte geologiske forklaringer (på engelsk).

TO UDSKÆRINGER, SAMME KORT

Der findes to udgaver af Måne-kortet, og det, der faktisk er lettest at læse, er det vist her med midte, nordpol og sydpol. Princippet er det samme, men denne visning fjerner forvriddningen af områderne langs kanterne af hhv. for- og bagsiden. Find det i denne artikel på geoviden.dk/maanen.

IDEER TIL, HVAD DU KAN LEDE EFTER:

- Krater med yngre krater indeni.
- Kratere, hvor der er flydt basalt op gennem skorpen.
- Landingsstederne for Apollo-, Luna- og Surveyor-missionerne – hvilken type overflade er de hver især landet på? Og hvor gamle er overfladerne? Hvilke geologityper mangler at 'blive landet på' og dermed undersøgt?

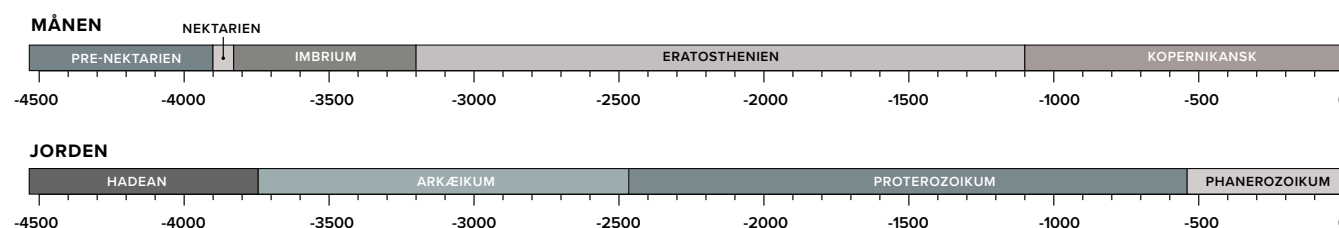
ALDERSFORSKEL FORTÆLLER HISTORIE

De 48 farver fremgår af de to spalter vist herover (se stor udgave på geoviden.dk/maanen), og her gemmer sig endnu mere information. Når du læser nedad fra den gule kasse øverst til venstre, som er de yngste kraterer på Månen, læser du nemlig tilbage i tiden. For ligesom Jorden har Månen fået inddelt sin historie i en geologisk tidsskala, hvor forskellige perioder har navne, som bruges til at identificere og samtidig aldersbestemme geologiske fænomener. Fordi Månen og Jorden er dannet ved samme sammenstød (læs mere s. 10-11), starter tidsskalaerne samtidig, nemlig for godt 4,6 milliarder år siden. Månens tidsskala er inddelt i fem overordnede perioder, kaldet æoner, hvor den Kopernikanske er den nuværende. Altså den yngste. Så kommer Den Eratothenske, Imbri-ske, Nektariske og Præ-Nektariske Æon (se herunder.) Derfor kan man finde kraterer i mange forskellige farver på kortet, da der både er forskellige slags, OG fordi de forskellige slags optræder i forskellige aldre. Når man lægger informationen

om geologien og alder sammen på kortet, giver det derfor både en rumlig og tidsmæssig ide om, hvordan overfladen er dannet, selvom det lige tager lidt tid at finde ud af, hvad der er hvad på kortet. Men med lidt koncentration kan du faktisk se en form for dybde i kortet ved at afkode, at alle de jordfarvede (grå-rosa-brune) områder er de mest oprindelige dele af overfladen, altså de ældste. Resten er kommet til senere og har ændret overfladen det pågældende sted. Måske er der kommet et krater, som siden blev fyldt med lava, som så igen blev ramt af et meteor, der skabte et nyt, yngre krater i den størknede lava. Det kan for eksempel ses i de store pink områder (gamle kraterer fyldt med basalt), som har yngre gule eller grønne kraterer oveni.

Måne-kortet fungerer altså både som et normalt 'hvor ligger det henne, og hvad er det?'-kort, og som en oversigt over Månens udviklingshistorie. •

FLERE EKSEMPLER PÅ NÆSTE SIDE →



Figur 7

Hhv. Månens og Jordens geologiske tidsskala. De er dannet samtidig og er derfor lige gamle, men forskellig geologisk udvikling giver forskellige tidsinddelinger. Perioder fastsættes for eksempel efter vulkansk aktivitet eller store meteornedslag, og på Jorden er det oftere efter arters opståen eller uddøen.

pNb

3,9-4,6 MIA. ÅR SIDEN: PRÆ-NEKTARISKE ÆON ÆLDSTE OVERFLADE (BASSIN)

Forkortelse: pNb

Eksempel: Omkring 'kl. 6' i Mare Crisium (øverst til højre) ligger et brunt område, der er lidt lysere brunt end resten af Mare Crisiums kraterkant. Her ses forkortelsen pNb for præ-Nektarisk bassin, altså noget af den ældste overflade, du kan finde på Månen. pNb er en meget gammel krater-ring, altså bjergkæde, der er helt eller delvist nedbrudt.

Nt

3,85-3,9 MIA. ÅR SIDEN: NEKTARISKE ÆON BJERGKÆDE (KRATER-RING)

Forkortelse: Nt

Eksempel: I øverste venstre hjørne kan man se en gråbrun linje, der går op til Mare Serenitatis. Det er den yderste kant af et meget stort 'mare', Mare Imbrium, og er faktisk en bjergkæde. Når en meteor slår ned, dannes der nemlig typisk en fordybning, som er omkranset af en forhøjning, fordi jorden simpelthen skubbes opad af meteoren. Den del af bjergkæden, der er synlig her, hedder Montes Apenninus (se s. 29). Heri ligger Månens højeste bjerg, Mons Huygens på ca. 5,4 km, og Apollo 15 landede lige for foden af bjergene i 1971.

Im2

3,2-3,85 MIA. ÅR SIDEN: IMBRISKE ÆON BASALTHAV (MARE)

Forkortelse: Im2

Eksempel: De store pink områder er ligesom de røde størket lava, blot fra meget ældre vulkanudbrud. Dengang var Månens overflade ung, og meget store meteornedslag gjorde skorpen svag. I kraterne begyndte der derfor at sive lava op, som altså

størkede til basalt. Fænomenet kan ses i flere kraterer over hele Månen, hvor lava er flydt op i fordybningen efter et gammelt meteornedslag.

Em

1,1-3,2 MIA. ÅR SIDEN: DEN ERATOTHENSKE ÆRA BASALTHAV (MARE) YNGRE

Forkortelse: Em

Eksempel: I udkanten af det pink område i toppen, Mare Serenitatis, ses røde områder forkortet med Em for Eratothenskt Mare. Det er størket lava, kaldet basalt, som er dannet ved en af de sidste vulkanske aktive perioder på Månen. Det er de områder, der er mørke at se på, når man kigger på Månen, fordi basalt reflekterer lys dårligere end resten af overfladen.

Cc

Ccc

0-1,1 MIA. ÅR SIDEN: KOPERNIKANSKE ÆON KRATER

Forkortelse: Cc/Ccc

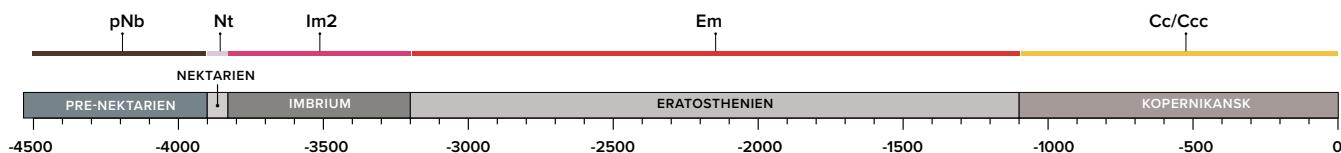
Eksempel: I venstre side af kortudsnittet til højre ligger den store gule klat Theophilus-krateret fra den Kopernikanske Æon. Krateret er ca. 4,2 km dybt og har et bjerg i midten med fire toppe, den højeste på ca. 1,2 km. Krateret er opkaldt efter pave Theophilus af Alexandria fra det 3. århundrede. Kraterets umiddelbare omgivelser er også gule, da der typisk vil være spredt materiale i alle retninger fra krateret ved selve nedslaget, som så regnes med.

FIND OGSÅ LANDINGSSTEDERNE FOR:

○ Apollo 11, 15, 16 og 17 (amerikanske Måne-missioner)

★ Luna 16, 20, 21 og 24 (russiske Måne-fartøjer)

▲ Surveyor 5 (amerikansk Måne-fartøj)

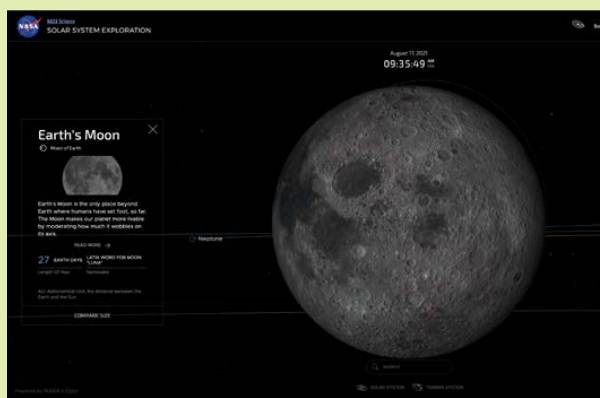


Figur 8

Månens geologiske tidsskala med de forskellige eksempler fra teksten herover indsat på den periode, de er dannet i.

ILLUSTRATION: Lykke Sandal, Geoviden

FLYV TIL MÅNEN I REAL-TIME



NASA står bag en voldsomt fantastisk side, hvor du kan rejse rundt i solsystemet, som det ser ud lige nu. Altså imens planeter, kometer, satellitter og rumsonder bevæger sig rundt, som de gør lige nu i virkeligheden. Besøg Månen, og zoom ind på de forskellige kraterer, sammenlign Månens størrelse med andre planeter og meget mere.

Advarsel: Du ender med at bruge lang tid på dette site!

Find siden via geoviden.dk/maanen

Illustration: NASA





GEUS

DE NATIONALE GEOLOGISKE
UNDERSØGELSER FOR DANMARK
OG GRØNLAND (GEUS)
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 38 14 20 00
E-mail: geus@geus.dk



INSTITUT FOR GEOVIDENS KAB
OG NATURFORVALTNING (IGN)
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: ign@ign.ku.dk

STATENS NATURHISTORISKE
MUSEUM (SNM)
Øster Voldgade 5-7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: snm@snm.ku.dk



AARHUS UNIVERSITET
INSTITUT FOR GEOSCIENCE (IG)
AARHUS UNIVERSITET
Høegh-Guldbergs Gade 2,
B.1670
8000 Aarhus C
Tlf: 89 42 94 00
E-mail: geologi@au.dk

I NÆSTE GEOVIDEN

kommer vi ned på Jorden igen og hopper i havet.
2020'erne er udråbt til FN's Ocean Decade, så vi
tager en status: Hvordan har havet det egentlig, og
hvordan forsker man i det?

geo viden

Udgiver: Geocenter Danmark

Ansvarshavende:
Mette Buck Jensen, GEUS

Redaktør og skribent:
Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS

Design: Lykke Sandal, GEUS

Korrektur: Caroline Dea Rutter, GEUS

Tryk: Strandbygaard

Forside: NASA

Eftertryk: Tilladt med kildeangivelse

Kontakt: geoviden@geus.dk

ISSN: 1604-6935 (papir)

ISSN: 1604-8172 (elektronisk)

GEOCENTER DANMARK

Geoviden udgives af Geocenter Danmark og er
målrettet undervisningen i gymnasierne. Bladet
udkommer tre gange om året. Abonnement er gratis
og tegnes på geoviden.dk. Her kan man også læse
bladet og finde ekstrap materiale såsom video.

Geocenter Danmark, der udgiver Geoviden, er et
samarbejde mellem De Nationale Geologiske Under-
søgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut
for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut
for Geoviden og Naturforvaltning og Statens
Naturhistoriske Museum, begge ved Københavns
Universitet. Geocenter Danmark er et center for
geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning,
innovation og formidling på højt internationalt niveau.