

NR. 01
AUG.
2023

geo viden

MAN KAN ALDRIG FÅ FOR MANGE

KORT

SARA SALEHI KAN SE
USYNLIGE RÅSTOFFER
MED SIT KAMERA

HVAD ER DANMARK
LAVET AF? DET TJEKKER
GEOLOGERNE

VI KAN IKKE FÅ NOK AF KORT!

Denne gang handler Geoviden om kortlægning. For hvorfor kan vi blive ved med at lave nye kort over den samme Jord, og hvordan foregår det egentlig?

Et tema om kortlægning i geovidenskab er egentlig ret skørt. Ligesom det ville være at lave et tema om kroppen i et magasin for læger. Det er et emne så grundlæggende for geovidenskab, at en fyldestgørende beskrivelse af alle de måder, der kortlægges på, ville fylde flere tykke bøger. Denne udgivelse har kun få sider at gøre godt med – men vi giver det et skud!

I det magasin, du lige nu sidder med i hånden, vil vi gerne tegne et overordnet portræt af geovidenskabelig kortlægning gennem tiderne. Meget overordnet set kan al kortlægning siges at være en indsamling af viden om et særligt område, hvorefter resultaterne bearbejdes og formidles visuelt. Med kort – hvad end de viser havbundens geologiske sammensætning, udbredelsen af plantearter eller en bjergkædes højdekurver – bliver vi i stand til at se og forstå sammenhænge, der ellers kan være svære at få øje på eller

ligefrem usynlige. Derfor er kortlægningens kunst værd at kigge nærmere på.

Læs f.eks. om, hvordan man med simple metalspyd igennem 135 år har travet Danmark rundt for at kortlægge, præcis hvad landets øverste lag er lavet af. Eller hvordan et særligt kamera afslører dyrebare mineraler i grønlandske fjeldsider, og hypermoderne kunstig intelligens koblet med gammeldags 'manpower' kan kortlægge træerne i et helt land.

Også en gammel knark fra 1800-tallet sniger sig ind på siderne, nemlig multividenskabsmanden Alexander von Humboldt. Han var en af de første til virkelig at udnytte kortenes kraft til at formidle sine opdagelser om naturen til den brede befolkning – for eksempel Jordens klimabælter, som Humboldt hev ned fra himlen og fik tegnet, så alle kunne se og forstå dem.

Husk, at du også kan læse alle artikler fra dette og tidligere temaer på geoviden.dk. Her finder du også fede videoer, podcasts og meget mere.

God læsning!



JOHANNE UHRENHOLT KUSNITZOFF

REDAKTØR

HVAD LÆRER DU I DETTE TEMA?

1. Hvordan geologer rent praktisk samler data til f.eks. at kortlægge, hvor der findes vigtige råstoffer til den grønne omstilling.
2. Hvordan geografer bruger kunstig intelligens til at kortlægge et helt lands træer.
3. At kort kan vise os sammenhænge i verden, som ellers er skjulte for os.
4. At der findes mange kort, men at der alligevel aldrig er kort nok ...

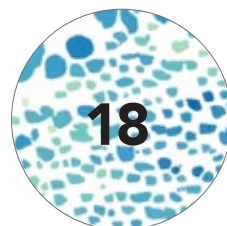
INDHOLD

3 KORT OM KORT



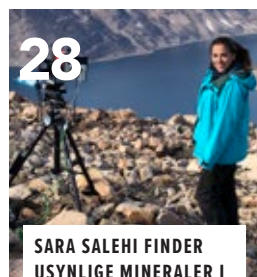
7 THY GEMMER PÅ GODE HISTORIER I UNDERGRUNDEN

KAN DET VIRKELIG TAGE MERE END 135 ÅR AT LAVER ET KORT?



18 COMPUTERE LYNTÆLLER TRÆER ET HELT LAND AD GANGEN

GAMLE KORT HJÆLPER OS MED AT FORSTÅ KLIMAKRISENS EFFEKT PÅ NATUREN



28 SARA SALEHI FINDER USYNLIGE MINERALER I GRØNLAND MED ET HELT SÆRLIGT SLAGS KAMERA



32 KORTLÆGNING AF GRØNLAND BIDRAGER TIL DEN GRØNNE OMSTILLING

16

OPSKRIFT PÅ ET KORT



“...kort, figurer og andre former for kunst (kan) hjælpe os til at forstå komplekse begreber og samtidig røre os.”

NAIA MORUETA-HOLME, S.27

ADJUNKT, KØBENHAVNS UNIVERSITET



Geologer på øde øer

Hele sommeren har der været fuldt af geologer på to ellers øde øer i Østgrønland. De leder efter vigtige mineraler fra både helikopter, skib og til fods – se hvordan i videoen.



Hvad er Danmark lavet af?

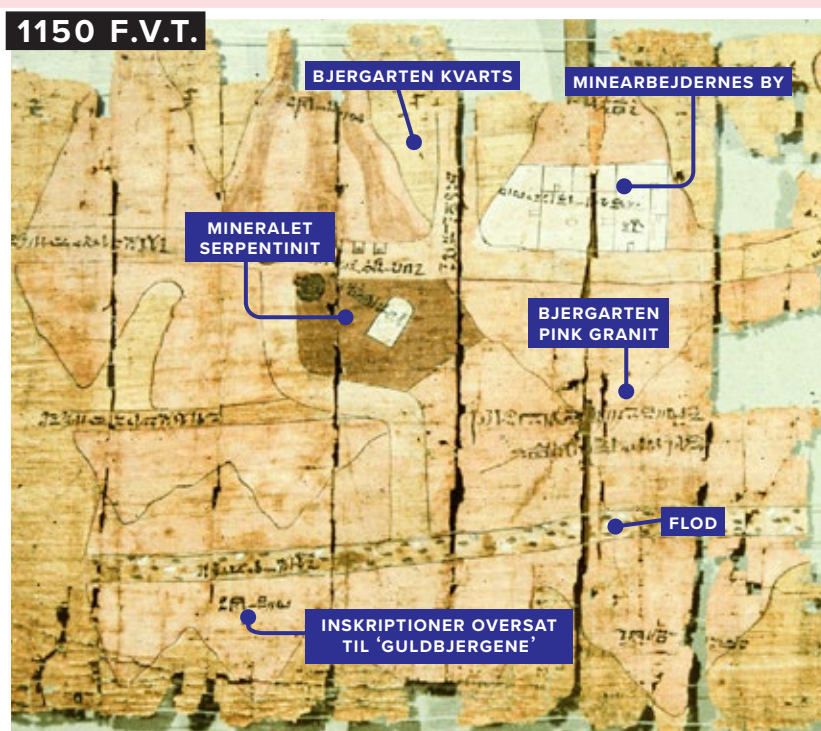
Det spørgsmål er nu cirka 90 % besvaret. Hør, hvordan geologerne hvert år kortlægger en lidt større del af Danmark ved håndkraft i ordets bogtaveligste forstand!

Find alle artikler, videoer, podcasts m.m. på geoviden.dk

KORT OM KORT

Vi laver kort, fordi kort kan give os overblik over opbygningen af verden omkring os og indblik i lokale og globale sammenhænge. Geologiske kortlægninger startede med jagten på råstoffer, men har siden – via mange menneskers hårde arbejde – afsløret selve Jordens opbygning og livets historie.

TEKST: JOHANNE UHRENHOLT KUSNITZOFF · LAYOUT: LYKKE SANDAL



Figur af den egyptiske kong Ramses den 4.



Fotos: Wikimedia Commons

Guld, guld, guld!

De gamle egyptere elskede guld og forbandt det med guddommelighed og evighed. De kongelige fik ofte sarkofager af guld som f.eks. kong Tutankhamon herover.

VERDENS FØRSTE GEOLOGISKE KORT

... hvis man da kan kalde det det, menes at være et kort over forskellige bjergarter, guldforekomster og miner i Egypten tegnet for over 3000 år siden. Kortet blev formentlig bestilt af kong Ramses den 4. til overblik over ressourcerne i en særlig floddal kaldet Wadi Hammamat. Det er det første kendte kort med forskellige bjergarter, der er vist separat med forskellige farver og mønstre. Kortet er cirka to meter langt og udstillet på et museum i Italien.

1556

AHA! JORDEN HAR ÅRER

Næste kendte skridt mod moderne geologiske kort blev angiveligt taget i 1500-tallet af tyskeren Georgius Agricola. Han var mineingeniør og skrev bogen 'De Re Metallica' om metaller og mineralers fordeling i jordskorpen, blandt andet med detaljerede tegninger af, hvordan de kan ses som årer, der løber gennem en helt anden type klippe.

En tydelig åre løber gennem bjerget på Agricolas 500 år gamle træsnit.



Figur: Wikimedia Commons

1684

HÆNGER DET HELE SAMMEN?

Små hundrede år efter Agricolas tegninger blev udgivet, skrev den engelske fysiker Martin Lister til Storbritanniens videnskabelige organisation, Royal Society, med en ny idé: at lave landkort med optegnelser af forskellige 'jordtyper' og deres grænser mellem hinanden. På den måde ville der muligvis dukke en større indsigt i landets og Jordens opbygning op, "end man på nogen mulig måde selv ville kunne forudse. Hvilket ville gøre så stort et arbejde smerten værd". Der skulle dog gå over 100 år, før nogen rent faktisk gjorde det.

Tæt på kæmpe opdagelse!

Martin Lister var blandt andet anderkendt ekspert i snegle-huse og skaller og var uhyre tæt på at regne ud, at de fossiler af sneglehus, han fandt, faktisk var forfædre til de nulevende arter. Det var en erkendelse, som fik kæmpe betydning cirka 150 år senere, da William Smith (omtales på side 5) fandt ud af netop det i forbindelse med sit arbejde med at lave et geologisk kort over England.



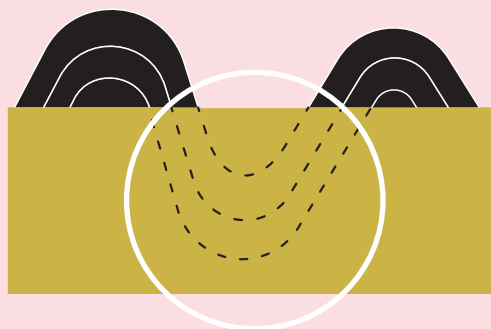
Figur: Georgius Agricola: 'De re metallica' bog III

1717

FORTSÆTTER LAGENE UNDER JORDEN?

33 år senere lavede den italienske grev Luigi Ferdinando Marsili et kort over Bolognas forekomster af gipsmineral.

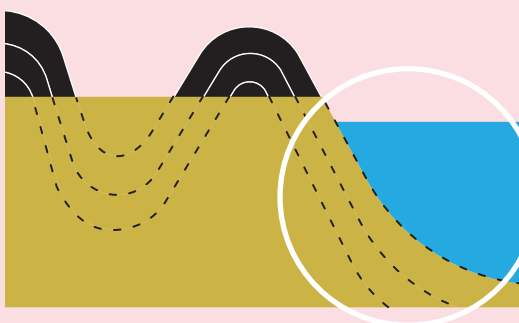
Han tegnede de kendte gipsforekomster op og forbandt de forskellige områder med hinanden med grå farve for at indikere, at de muligvis hang sammen under jorden. Det var dog voldsomt kontroversielt, da det ikke uden videre kunne bevises. De fleste tænkte stadig på mineralforekomster som isolerede og lidt tilfældige.



1757

GEOLOGI FINDES OGSÅ UNDER VAND

Senere i århundredet tegnede en ukendt ophavsmand et kort over den tyske ø Helgoland med tydelige grænser mellem bjergarterne kridt, kalk, sandsten og kul. Ikke bare på land – grænserne fortsatte ud i havet og indikerede altså, at de geologiske lag også fandtes til havs.



1809**FØRSTE LANDSDÆKKENDE KORT**

William Maclure var en amerikansk/skotsk geolog, der kortlagde USA's geologi ene mand (!). Det gjorde han via mindst 50 ture frem og tilbage over landet, hvis vestlige grænse dengang gik fra omkring det nuværende Montana ned til Louisiana (altså et område meget mindre end nutidens USA). Det er det første kendte geologiske kort over et helt land.



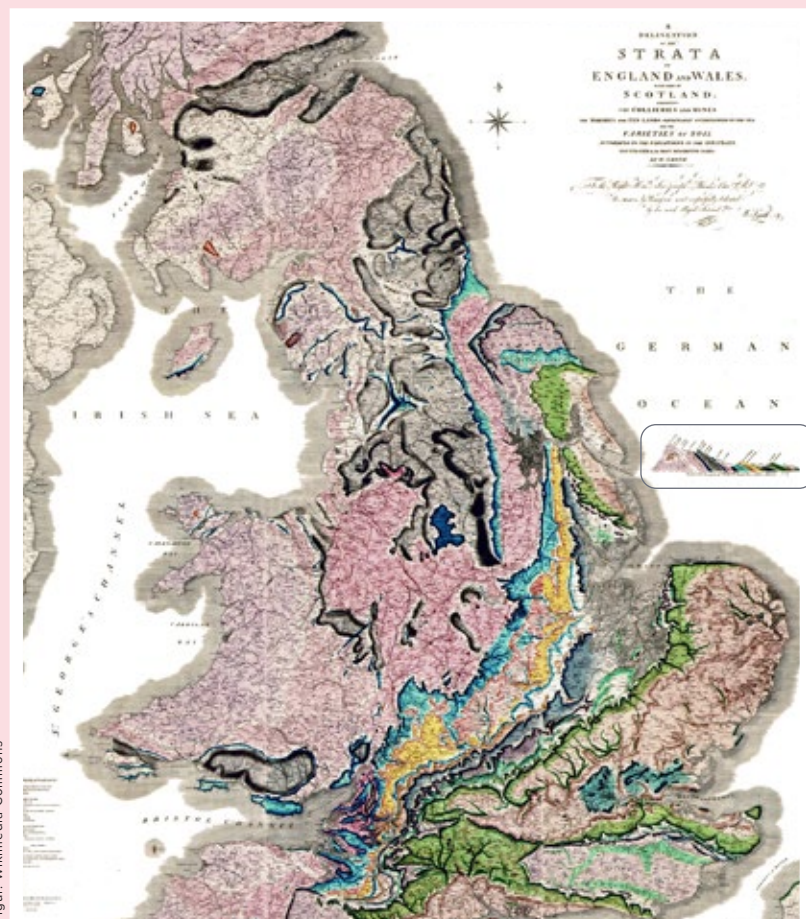
Herren her kortlagde USA – ene mand!

**'GEOLOGIENS FAR'****1815****DET STORE GENNEMBRUD!**

Ganske kort efter blev der udgivet et kort, som geologer i dag nærmest sover med under hovedpuden. Nemlig kortet over Storbritanniens geologi fra 1815 udarbejdet af William Smith, der i dag er kendt som 'geologiens far'. Kortet (t.v.) byggede på helt nye principper, som stadig bruges i dag, nemlig at Jorden er inddelt i lag, der er dannet i forskellige tider. På den måde viser de selve Jordens udvikling i tid, hvilket også blev understreget af lagernes indhold af fossiler, der også viste sig at ændre sig på tværs af forskellige lag – nogle arter uddøde, mens andre udviklede sig til nye. Hvis den samme bjergart indeholdt samme fossiltyper på to forskellige kontinenter, så var de nok cirka lige gamle, konkluderede han. Den idé gjorde, at man pludselig kunne få geologien over hele Jorden til at hænge sammen og lave en slags 'dagbog' over både Jordens og livets udvikling – noget, geologer arbejder videre på den dag i dag.



Figur: Wikimedia Commons



Figur: Wikimedia Commons

**Darwin kiggede med**

Charles Darwin brugte William Smiths nye principper om forskellige fossiler i de geologiske lag til at regne ud, at arter udvikler sig gennem evolution.

Foto: Welcome Collection CC

+ LÆS ARTIKLEN

'Datering af fossiler er nøglen til Jordens dagbog' i Geoviden nr. 2, 2020 på geoviden.dk



Tværsnit af, hvordan de forskellige geologiske lag fordeler sig fra nordvest til sydøst, og hvor højt de ligger i forhold til hinanden.

ER ALT SÅ KORTLAGT NU? NEJ...

I dag anvendes geologisk kortlægning i hele verden, men det betyder langtfra, at alt er kortlagt. Der er meget stor forskel på, hvor detaljeret man har undersøgt områderne på kortene. Derfor kan store områder sagtens være geologens bedste gæt, baseret på hvad hun har målt andre steder. Og ved at undersøge området nærmere, kan man lave endnu mere detaljerede kort. Også kortenes skalaer er meget forskellige, da man nogle gange har brug for at zoome ud og have et stort overblik, andre gange er der brug for at zoome ind og kunne se mange detaljer.

MANGE SKALAER



Er du interesseret i placeringen af helt overordnede geologiske regioner?



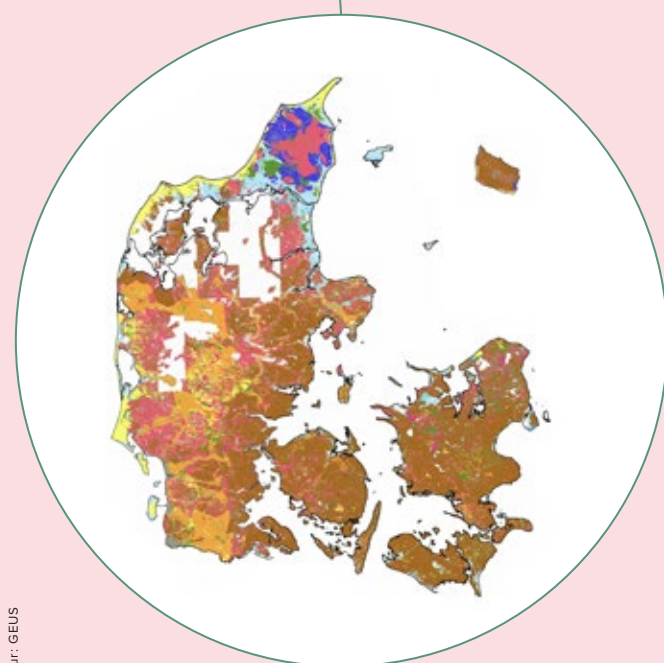
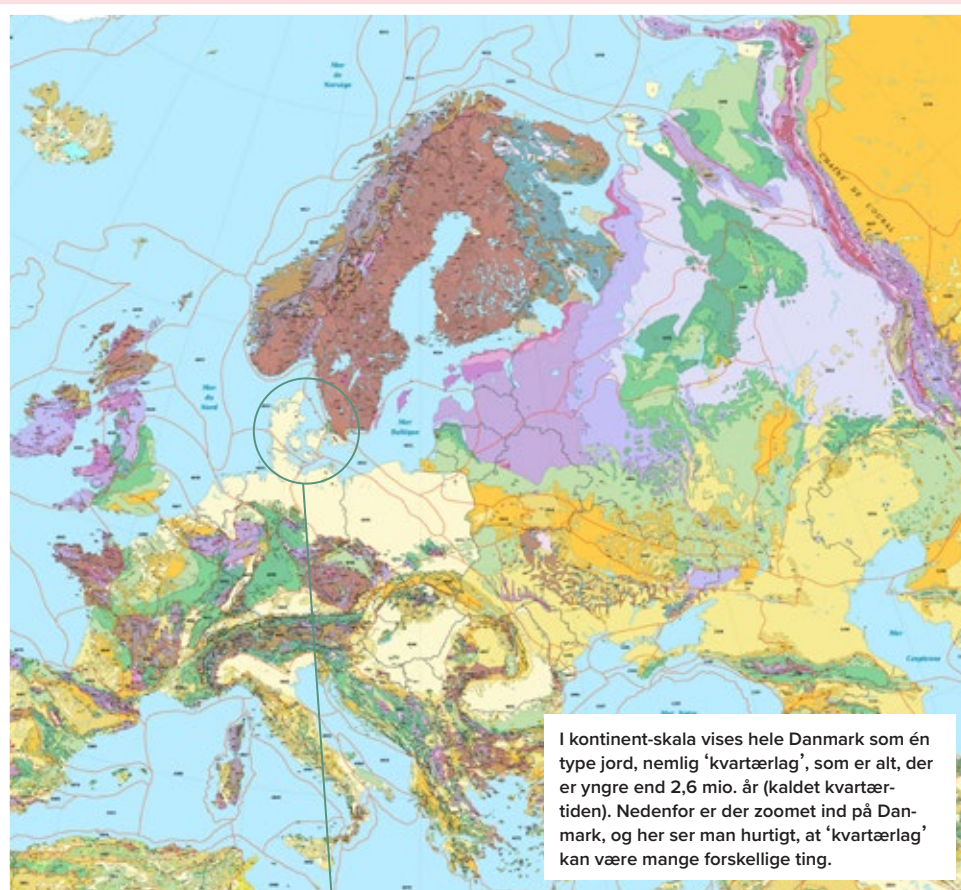
Skal du vide noget mere specifikt om geologien i ét land eller én landsdel?



... eller skal du vide, hvilke jordarter der er i netop din have?

Kort kan næsten altid blive mere detaljerede eller skulle opdateres, som for eksempel ...

Figur: Wikimedia Commons



Figur: GEUS

KORTET OVER DANMARKS JORDARTER

Hvis man vil forstå, hvorfor jordoverfladen er, som den er i Danmark, og om man går rundt på f.eks. sandet eller leret jord, skal man vide mere om jorden, end at alt er yngre end 2,6 mio. år gammelt. Heldigvis har danske geologer lavet kortet her til venstre, der i størrelsesforholdet 1:25.000 viser, hvilke forskellige kvartær-geologiske lag som udgør Danmarks øverste lag.

I de hvide områder i Jylland mangler forskerne stadig at tage prøver, så jordartskortet er ikke helt færdigt endnu. Alligevel er det løbende blevet udgivet og findes også i en ældre udgave i størrelsesforholdet 1:200.000. Den nyeste version i 1:25.000 er altså otte gange mere detaljeret end den gamle og dermed anvendelig til endnu flere formål. Man kan sige, at Danmark på den måde bliver inddelt i otte gange så mange pixels. På europakortet øverst har Danmark kun én pixel.

DET NYE, ULTRAPRÆCISE JORDARTSKORT ER ET KÆMPE ARBEJDE AT LAVE – LÆS, HVORDAN MAN GØR, PÅ DE FØLGENDE SIDER.

THY GEMMER PÅ GODE HISTORIER I UNDERGRUNDEN

Hvorfor er der flyvesand ved Vesterhavet og moler på Fur? Et kig på GEUS' jordartskort kan give os et praj – men pas på! Når først du dykker ned i kortet, bliver du måske fanget af en god historie om, hvordan Danmarks landskab blev skabt. Lyder det spændende? Så tag med til Thy, hvor geologerne stikker spyd i jorden for at kortlægge, hvad der ligger et par spadestik under os ...

TEKST: FIE KRØYER DAHL · LAYOUT: LYKKE SANDAL

Vejret er stridt på pløjemarken, hvor Henrik Granat går i et traktorspor. Han har ulden sweater på, vindtæt jakke og et par solide gummistøvler, som holder mudder og vand ude. I den ene hånd har han et langt, T-formet metalspyd, og på et tidspunkt stopper han op og begynder at trykke spyddet ned i den brune muld. Der skal lægges kræfter i, for selvom kalenderen siger forår, er jorden stadig lidt hård. Faktisk er det hundekoldt her i marts, og Henrik Granat skal være ude hele dagen. Det var han også i går, og det skal han også være i morgen. Men den erfarne geolog, som er ansat ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), klager ikke. Faktisk nyder han det, selvom det ikke ville have gjort noget med en solstråle i stedet for de regnbyger, som kommer og går.

Da spyddet er knap en meter nede, drejer Henrik

Granat det lidt rundt, og så hiver han det op igen. Nederst på spyddet er der en rille, der nu er fyldt med jord, som kan studeres og typebestemmes af geologen.

DET DØDE HAV

Henrik Granat går rundt med et spyd på en mark, fordi han er på feltarbejde sammen med et hold kollegaer. De er af sted for at kortlægge, hvilke jordarter der findes umiddelbart under vores fødder – ret præcist en meter under dem, hvor man når ned under det øverste lag af pløjjord, græs, og hvad der ellers er opstået oven på den oprindelige jord siden istiden. Faktisk startede kortlægningen af Danmarks overflade i 1888, og mange af geologerne har været en del af dette projekt i flere år, ligesom fagfolk før dem. På den måde blæser historiens vingesus over feltarbejdet.

Svaret på, hvad der gemmer sig en meter nede, varierer, alt efter om du går en tur langs Gudenåen, boltrer dig i

>



To studerende på feltarbejde i Thy tjekker jordspyddet for at se, hvad jorden gemmer på.

Foto: Henrik Granat



Kortlægningen af jordarter er foregået på samme måde og med samme redskaber, lige siden arbejdet begyndte i 1888. Geologerne bruger et jordspyd og en lille bog, hvor man kan sætte udsnit af kort ind. I den noterer de tegnene for de jordarter, som de finder i netop det område. Bogen kan foldes fint sammen, så den lige kan være i lommen.

Foto: Henrik Granat

“Thy er sjov – af flere årsager! Lige der, hvor vi går og stikker nu, er der for eksempel salt i undergrunden.”

HENRIK J. GRANAT

GEOLOG, GEUS

mudderet på Roskilde Festival eller vandrer i Mols Bjerge. Det afhænger af processer og begivenheder, der skete for tusinder og indimellem millioner af år siden. Og Thy i Nordjylland, hvor holdet befinder sig lige nu, har virkelig noget at byde på geologisk set, mener Henrik Granat:

”Thy er sjov – af flere årsager! Lige der, hvor vi går og stikker nu, er der for eksempel salt i undergrunden. Måske flere hundrede kilometer ned. Og saltet er mange millioner år gammelt. Længe før istiden har Danmark faktisk lignet Det Døde Hav,” fortæller han og fortsætter:

”På et tidspunkt fordampede vandet, og når saltvand fordam-

per, efterlader det saltlag. Oven på det er der kommet mange lag af andre jordarter, som har presset på saltet, og når salt kommer under tryk, bobler det op og presser de øvre lag helt op til overfladen – som en slags blæner. Derfor kan vi møde saltet helt oppe nær overfladen.”

MASSER AF LER

Netop dét geologiske fænomen betyder, at geologerne finder materiale, der er meget ældre end det, som ellers dominerer det danske landskab. Det er såkaldte prækvartære jordarter, som er dannet før istiderne. Op i spyddet kommer også det sjældne moler (udtales mó-ler), som især findes på øen Fur, og skrivekridt fra tiden, lige før dinosaurerne uddøde. I Thy kan man være heldig på en og samme dag at kortlægge flyvesand, hvis alder måles i århundreder, moræneler og smeltevandssand, hvis alder måles i årtusinder, og ikke mindst skrivekridt og moler, som er millioner af år gammelt. Ifølge Henrik Granat er Thy-egnen nok det sted i Danmark, hvor man kan finde flest af de prækvartære jordarter under pløjelaget, hvilket vil sige, at det er mindst 2,6 millioner år gammelt.

Så heldig kan man ikke være alle steder, fordi lag med så mange år på bagen ofte ligger dybt begravet under yngre jordlag.



HENRIK J. GRANAT

GEOLOG

Ansæt ved GEUS siden 2010.
Ansvarlig for Boreprøve-
laboratoriet. Jordartskartør og
idémand bag websitet
www.kæmpesten.dk, som
giver overblik og historier om
de største sten i Danmark.

Foto: Ole Bennike



Det kræver muller, når
spyddet skal i jorden!

Foto: Henrik Granat

Henrik Granat tager en blyant, og på sin præcise position tegner han på papiret en trekant, som er symbolet for moræneler. Derefter banker han lidt på spyddet for at få resterne ud. I modsætning til andre typer feltarbejde bliver der ikke taget noget med hjem til laboratoriet – analysen foregår udelukkende i felten. Så går han videre i traktor-sporet.

Mellem 100 og 150 meter længere fremme gentager han processen: spyd i jorden, op igen, undersøge og vurdere prøven, notere resultatet, videre. Sådan bevæger han sig frem og tilbage i terrænet, indtil han har dækket hele eller så meget som muligt af den bid jord, han i dag har sat sig for at kortlægge.

Frokosten og pauserne tager han i bilen, han har parkeret i nærheden. Den kan også lige gøre kolde lemmer varme igen, og det kan der være hårdt brug for.

EN TYND PØLSE

På denne måde har geologer stukket spyd i jorden for hver hundrede meter over snart hele Danmark for at finde ud af, hvilken slags jord landets allerøverste lag består af. Jord kan nemlig inddeles i arter, og der findes lige omkring 70

>

”Da vi var i Himmerland i 2020, var det lidt mere kedeligt. Der findes moræneler, så langt øjet rækker: mudder og smat, der kommer helt oppe fra Norge eller Sverige og er blevet aflejret af isen, som dækkede Norden,” siger Henrik Granat med et smil.

IGEN OG IGEN

Ude på marken kan Henrik Granat ret hurtigt slå fast, at jordprøven består af netop det meget almindelige moræneler. Det findes altså også i Thy, og han åbner sin arbejdsbog, som rummer et lille udskifteligt kort. Det er et udsnit af et større kort over hele det område, som holdet af geologer er ved at undersøge. De andre har på samme måde kort, som de noterer på, og nogle bruger deres mobiltelefoners GPS til at holde styr på resultaterne af stikkeriet.

+ EKSTRA

UDFORSK JORDARTSKORTET DIGITALT

Udforsk det geologiske kort over overfladenære jordarter i skalaen 1:200.000 og 1:25.000 på www.geus.dk i samlingen 'Kort over Danmark'. Kortet kan også downloades gratis som pdf i GEUS' webshop. Tidligere blev kortet trykt, men fremtidige opdaterede udgaver vil kun findes digitalt.



Efter en lang dag i felten er der lige en sidste opgave, som skal klares. Den lille stump kort, som hver geolog og studerende har haft med sig i sin arbejdsbog, bliver lagt under et 'masterkort' på et lysbord. Herefter kopieres alle registreringer til det store kort, og grænserne mellem de forskellige jordarter optegnes.

Foto: Henrik Granat



Når geologerne er ude at kortlægge, er der omkring 70 tegn, de kan vælge imellem, når de skal registrere, hvilken jordart de har fået op med jordspyddet. I praksis er der dog kun omkring 10 af dem, som er relevante for geologerne at bruge. Her ses et kortudsnit med moræner (trekant), ferskvandstørv (omvendt T) og smeltevandssand (tre prikker i en trekant). De farvede dele af arbejdskortet er kortlagt tidligere og findes allerede digitaliseret.

LIGE VED OG NÆSTEN FÆRDIGT

Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU) blev stiftet i 1888 og havde dengang kun én opgave, nemlig at lave et geologisk kort over de overfladenære jordarter i Danmark. Formålet var at blive klogere på, hvilke naturressourcer vi havde i Danmark, da der var brug for blandt andet sand, grus og kalk til byggearbejde og ler til tegl. Kortlægningen begyndte nordfra, og så arbejdede geologerne sig sydpå gennem landet.

I 1988 blev DGU slået sammen med Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU) og blev til De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), og i tidens løb er nogle områder blevet sprunget over. Det gælder blandt andet Thy og Himmerland, som GEUS har brugt 2022 og 2023 på at kortlægge. Ved udgangen af 2023 er forventningen, at cirka 93 procent af Danmark vil være kortlagt, og GEUS regner med at være i mål med det langvarige projekt omkring 2030.

forskellige jordarter i den danske undergrund (se de mest almindelige på **side 12 og 13**). Og læs, hvorfor det er vigtigt at bruge tid på at undersøge, i artiklen efter denne). Nogle af de jordarter, man kan støde på en meter nede i den danske undergrund, ligner hinanden til forveksling, og derfor er det ikke altid lige nemt at se, hvad det faktisk er, jordspyddet har hevet med op. Når Henrik Granat skal introducere nye studentermedhjælpere til feltarbejdet, giver han dem derfor et par fif:

”Jeg plejer at sige, at kan man rulle det til en tynd pølse, så er det nok en form for ler. Knaser det, når man presser spyddet ned, og drysser det ud, når man hiver det op? Så er det nok sand. Og kan man ikke få spyddet ned, skyldes det muligvis grus af småsten.”

Men selv med mange års erfaring i bagagen kan man blive i tvivl. I den situation må man trække på sin grundlæggende geologiske viden om det danske landskab: Hvilke typer jord er det mest sandsynligt at finde netop her? Hvor befinder jeg mig i terrænet? Hvordan har landskabet udviklet sig?

”Står man på den rimelig flade vestjyske hede, er det sandsynligvis smeltevandssand, man vil få op. Det var lige der, isranden gik ved den sidste istid, og da iskappen begyndte at tø, løb vandet nedad mod havet og dannede smeltevandssletter og aflejrede store mængder sand i gule nuancer,” forklarer han.

MUSLINGER PÅ AFVEJE

Ved Limfjorden støder du ofte på sand, men de fleste steder er det ikke det gule smeltevandssand, men andre typer. Her findes ofte marine aflejringer, fordi store dele af Thy efter istiden først blev oversvømmet af havet og dernæst hævede sig op over havoverfladen, fordi isen ikke længere tyngede landet ned. Engang var jorden dér altså havbund, og derfor kan man for eksempel støde på hjertemuslinger midt i et muldvarpeskud.

”Det kan være et tegn på, at din have engang har været bredden af en fjord. Så måske har der siddet en stenaldermand lige netop der og spist af havets skatkammer for 8.000 år siden,” fortæller Henrik Granat.

Man kan også få en pejling på jordtypen ved at kigge på farver og tekstur: Ler består af de fineste partikler, og jordarten silt er grovere end ler, men finere end sand. Silt kaldes indimellem også melsand, fordi det opfører sig som mel og meget hurtigt tørrer ud, når man får det på fingrene. Grus defineres som korn, der er større end to millimeter, og moræneler er et miks af det hele, fordi fortidens iskapper har fået blandet ler med sand, grus og sten, da gletsjerne kom tromlende hen over dem.

PUSLESPILLET LÆGGES

Sidst på eftermiddagen kører Henrik Granat tilbage til

hovedkvarteret, som er et udlejningssommerhus i nærheden. Her mødes alle geologerne efter en lang dag i felten. Det er hårdt arbejde at bore en metalstang ned hundredvis af gange, så skuldrene er ømme, og benene trætte. Jordspyddene har fået fri og hviler sig på terrassen, men Henrik Granat og kollegaerne er ikke helt færdige endnu. Som brikker i et puslespil bliver de mange kortudsnit, som geologerne hver især har haft med sig, nu stykket sammen. Dagens jordarter, som er blevet noteret i form af trekanter, prikker, bølger, kryds og andre tegn, bliver overført til et stort ‘masterkort’, som ligger på et lysbord i stuen. Geologerne sammenligner kortgrænser for at få det så korrekt som muligt, og snakken går om dagens oplevelser og udfordringer.

I morgen skal de på den igen. Men inden da skal de have sig en øl, spise aftensmad og store mængder chips – og sove! •

KAN DET VIRKELIG TAGE MERE END

135 ÅR AT LAVE ET KORT?

Ja! Det kan det faktisk godt. Hør geolog og projektleder Peter Roll Jakobsen fortælle, hvilket omfattende arbejde der ligger bag GEUS’ jordartskort, der blev påbegyndt i 1888 – og som stadig ikke er færdigt ... men vi nærmer os!

TEKST: FIE KRØYER DAHL LAYOUT: LYKKE SANDAL

Det er fladt, flot og farverigt – GEUS’ geologiske kort over ‘overfladenære jordarter’, også kaldet jordartskortet (se side 12 og 13). Måske lidt meget brunt, men også orange, pink, gul og lilla og kystlinjer kantet med lyseblå. Det er ret enkelt at afkode: Farverne indikerer, hvilke jordarter der findes en meter nede under jordoverfladen – altså når man kommer ned under for eksempel pløjelaget på marker og muldlaget under græsplæner. Kort sagt: hvad vi egentlig går rundt ovenpå, når vi går en tur i det danske landskab.

Er det moræneler blandet sammen af en gletsjer i istiden? Smeltevandssand fra samme gletsjere, da de smeltede? Eller kridt så hvidt som det, der kan skrives på tavler med, fra et dybt, tropisk fortidshav fyldt med store mosasaurer?

De spørgsmål kan kortet hurtigt svare på – men det har været alt andet end hurtigt at lave. Faktisk har kortlægningen af jordarter indtil videre taget 135 år, og geologerne arbejder stadig på at få de sidste områder i hus. >



Foto fra bogen 'En jordisk krønike'

Udstyret i form af arbejdsbog og jordspyd til kortlægningen af jordarter er præcis det samme nu, som dengang denne geolog skulle på feltarbejde i slutningen af 1800-tallet. Dog er der sket lidt med påklædningen siden da ...

DANMARKS JORDARTSKORT 1:25.000

TEKST: JOHANNE UHRENHOLT KUSNITZOFF · LAYOUT: LYKKE SANDAL

GAMMEL HAVBUND

I næsten hele seneste istid (Weichsel-istiden) har Nordjylland været dækket af hav. Først i slutningen af istiden kom de højest-liggende områder til syne (mørk pink og blå). Som isen smeltede, steg havet, men det gjorde landjorden også, fordi den ikke længere var tyndet af is. Den største landhævning skete i Vendsyssel, som derfor i løbet af nogle tusind år vandt kapløbet med det stigende hav, og en masse havbund blev til landjord.

Thy er kortlagt i 2022-2023, men ikke digitaliseret endnu.

IKKE KORTLAGTE OMRÅDER

De hvide områder mangler kortlægning – det er omkring ni procent af landet.

Salling er kortlagt i 2021, digitaliseret i 2022 og næsten klar til udgivelse.

ISENS HOLDEPLADS

Danmark er delt på midten af en linje af højdedrag (kaldet hovedopholdslinjen). Hertil og ikke længere nåede isen i seneste istid.

GAMLE SØER

Grønne områder viser, hvor der har været søer og andre ferskvandssystemer, som ikke længere findes.

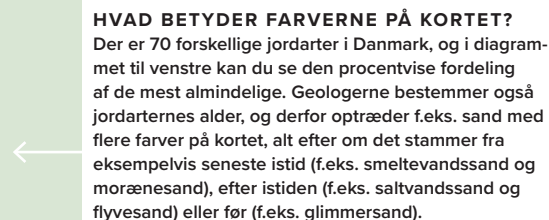
+ EKSTRA

HVILKEN JORD BOR DU PÅ?

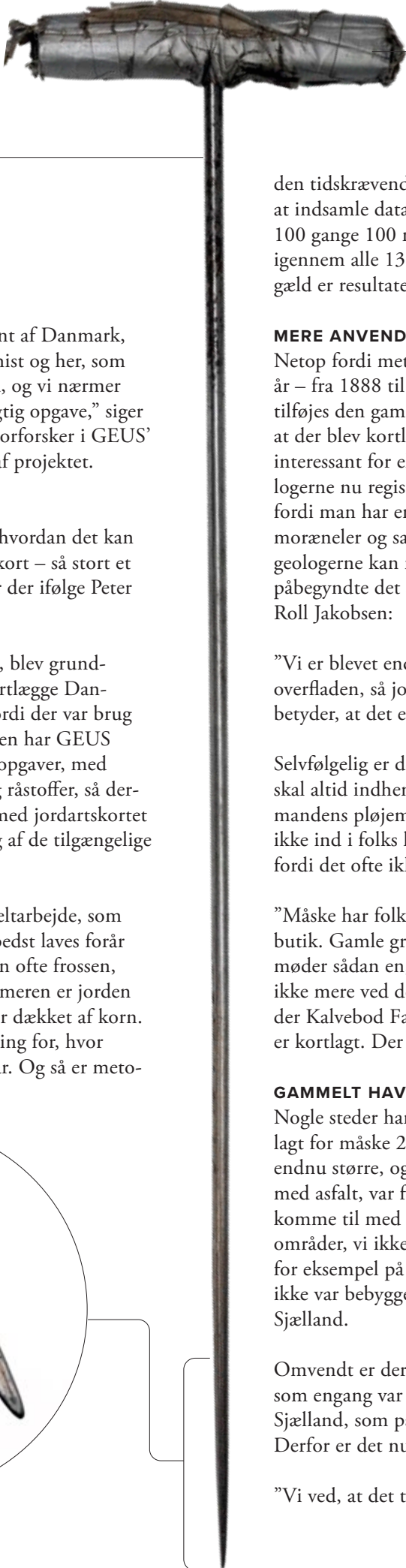
Tjek jordarten under dine fødder på det digitale jordartskort, på geus.dk under 'Danske kort'.

De digitale jordartskort er karteringskort i digital form, som viser overfladegeologien i en meters dybde, dvs. lige under pløje- og kulturlaget.
Denne version dækker 91% af Danmarks landareal.

De digitale jordartskort er karteringskort i digital form, som viser overfladegeologien i en meters dybde, dvs. lige under pløje- og kulturlaget.
Denne version dækker 91% af Danmarks landareal.



Vestjylland har generelt en meget grovkornet, sandet jord (røde og orange farver på jordartskortet). I seneste istid nåede isen nemlig kun til hovedopholdslinjen i Jylland (fra Bovbjerg ved vestkysten til Viborg og sydover til Padborg), og langs isens front opstod der enorme smeltevandssloder og deltaer, der aflejrede smeltevandssletter ud over landet fra isens kant mod vest. Det efterlod to næsten lige linjer, der skærer gennem Jylland, hvor jorden øst og nord for linjen er helt anderledes (brunlige farver).



Det er hårdt for hænder og arme at stikke et metalspyd ned i jorden! Så geologerne polstrer håndtaget godt.

Når geologerne tager ud for at kortlægge et område, bruger de et langt, T-formet spyd. Spyddet har en rille nederst, og når de stikker det ned i jorden og hiver det op, får de en jordprøve med. Den laver de en analyse af, og resultatet noteres i en logbog.

”Vi er i mål med cirka 91 procent af Danmark, men der er stadig nogle pletter hist og her, som vi mangler. Så det arbejder vi på, og vi nærmer os afslutningen på en stor og vigtig opgave,” siger Peter Roll Jakobsen, som er seniorforsker i GEUS’ Afdeling for Geokemi og leder af projektet.

TIDSKRÆVENDE PROCES

Man kan måske undre sig over, hvordan det kan tage så lang tid at lave sådan et kort – så stort et land er Danmark jo ikke! Det er der ifølge Peter Roll Jakobsen flere grunde til:

”GEUS, der tidligere hed DGU, blev grundlagt med netop det formål at kortlægge Danmarks overladenære jordarter, fordi der var brug for materialer til industrien. Siden har GEUS løbende fået mange andre slags opgaver, med blandt andet grundvand, olie og råstoffer, så derfor har intensiteten af arbejdet med jordartskortet varieret igennem årene afhængig af de tilgængelige ressourcer,” forklarer han.

En anden årsag er, at den type feltarbejde, som kræves for at lave jordartskort, bedst laves forår og efterår. Om vinteren er jorden ofte frossen, og dagene for korte, og om sommeren er jorden udtørret og hård, og markerne er dækket af korn. Det sætter en naturlig begrænsning for, hvor meget man kan nå i løbet af et år. Og så er meto-

den tidskrævende, fordi det er 100 procent manuelt arbejde at indsamle data, hvor der tages prøver i et gittermønster på 100 gange 100 meter. Det er samme metode, der er brugt igennem alle 135 år – det tager den tid, det tager. Til gengæld er resultatet et meget detaljeret kort.

MERE ANVENDELIGT

Netop fordi metoden til indsamling ikke har ændret sig i 135 år – fra 1888 til 2023 – kan den nyeste kortlægning nemt tilføjes den gamle, også selvom der måske er 100 år imellem, at der blev kortlagt på hver side af et markskel. Det kan være interessant for eksempelvis forskere. Til gengæld kan geologerne nu registrere flere forskellige jordarter end tidligere, fordi man har erkendt, at der er flere typer af eksempelvis moræner og sand. Det betyder, at listen over jordarter, som geologerne kan registrere i felten, er længere nu, end da man påbegyndte det store arbejde. Det er en fordel, vurderer Peter Roll Jakobsen:

”Vi er blevet endnu mere skarpe på, hvad vi finder under overfladen, så jordartskortet bliver mere detaljeret, og det betyder, at det er mere anvendeligt.”

Selvfølgelig er der også steder, som er utilgængelige, og der skal altid indhentes tilladelse til at lave undersøgelser på landmandens pløjemark og i privat skov. Geologerne går heller ikke ind i folks haver, både fordi det er privat ejendom, og fordi det ofte ikke vil være retvisende, hvad de finder der.


”Måske har folk gravet og lagt om, så det er en værre rodebutik. Gamle grusgrave kan vi heller ikke stole på. Så når vi møder sådan en, noterer vi bare, at den er der, og så gør vi ikke mere ved den,” forklarer Peter Roll Jakobsen. Og så er der Kalvebod Fælled i København, som af gode grunde ikke er kortlagt. Der ligger nemlig udetonerede granater i jorden!

GAMMELT HAV

Nogle steder har landskabet ændret sig, siden det blev kortlagt for måske 20, 50 eller 100 år siden. Storbyerne er blevet endnu større, og områder, der i dag er bebyggede eller belagt med asfalt, var frie arealer, hvor geologerne godt kunne komme til med deres jordspyd. Derfor findes der data fra områder, vi ikke længere kan tilgå. Tivoli i København ligger for eksempel på moræner. Det ved man, fordi området ikke var bebygget, da jordartskortlægningen rullede hen over Sjælland.

Omvendt er der ifølge Peter Roll Jakobsen også områder, som engang var utilgængelige, eksempelvis Lammefjorden på Sjælland, som på et tidspunkt blev inddæmmet og drænet. Derfor er det nu muligt at tage prøver derfra.

”Vi ved, at det tidligere var hav, for det kan vi se det på de



Det er nemt at få en prøve med op i rillen, når man undersøger leret jord, men mindre nemt med sandet jord, der ikke klistrer nær så godt.

“Vi er i mål med cirka 91 procent af Danmark, men der er stadig nogle pletter hist og her, som vi mangler.”

PETER ROLL JAKOBSEN

SENIORFORSKER, GEUS



Jordartskortlægning anno 1980'erne, som billedet er fra, foregik på samme måde som i 1880'erne og udføres fortsat på præcis samme måde.

Foto fra bogen 'En jordisk krønike'

gamle historiske kort. Det område skal vi jo have opdateret, så det er retvisende.”

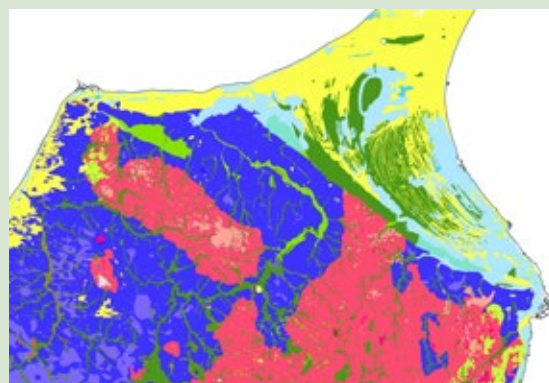
EN STRIBE TVÆRS IGennem

Og det er vigtigt at få det hele med, for jordartskortet er populært. Efter sigende er det et af GEUS' mest anvendte kort, fordi der er mange, som har brug for at vide noget om jordbundsforhold i forbindelse med byudvikling, grundvandsbeskyttelse, agerbrug og skovdyrkning, nybyggeri og anlægning af nye veje, jernbaner og vindmølleparker – simpelthen den grundlæggende udvikling af samfundet. Kort sagt er det helt nødvendigt at vide noget om jorden, hvis du skal gøre noget med den. Det gælder blandt for blandt andet private virksomheder og en række myndigheder, herunder for eksempel Vejdirektoratet.

”Da motorvejen fra Aarhus til Herning skulle laves, måtte vi kortlægge en stribe tværs igennem landskabet ved Silkeborg, fordi det var et af de områder, hvor vi ikke havde kortlagt endnu. Det kan man ret tydeligt se, når man ser på kortet. Kortlægningen afslørede blandt andet en lavning med tørvejord, som motorvejen skulle krydse, og det kunne de så tage hensyn til i planlægningen og undgå, at det blev et problem,” fortæller Peter Roll Jakobsen.

Jordartskortet er også godt at konsultere, hvis man skal plante en ny skov i et område. Så kan man tage sine forbehold og vælge træarter alt efter, hvad de skal gro i, så de får de bedste betingelser for at vokse. Og endelig kan kortlægningsarbejdet resultere i større forskningsprojekter. Det sker, når geologerne med deres jordspyd støder på interessante og uventede jordarter eller millioner af år gamle aflejringer, som kan fortælle om, hvordan der har set ud i Danmark, før der overhovedet var noget, der hed Danmark. •

FRA TREKANter OG PRIKKER TIL DIGITALT KORT



Efter feltarbejdet skal jordartskortet opdateres med de nye data, som Henrik Granat og hans kollegaer har indsamlet. Det sker ved, at det store 'masterkort', som er fyldt med de tegn, der viser, hvilken jordart geologerne har registreret – for eksempel trekanter, bølger og prikker – bliver afleveret hos Geologisk Datacenter, som er en del af GEUS. Der bliver de mange optegnelser digitaliseret, og computerprogrammet ArcGIS konverterer alle de indsamlede data til farvede områder, som gør det nemt at afkode, hvor de forskellige jordarter findes. Derefter genereres et digitalt kort, og voilà – så er kortet klart til, at kommunen kan få glæde af det, når den skal anlægge en ny vej eller bro, eller når de rådgivende ingeniører skal vurdere risikoen ved at opføre nye bygninger – eller når nysgerrige skoleelever får lyst til at vide mere om den jord, de går rundt på.

➤ LÆS MERE OM FORTIDENS DANMARK I GEOVIDEN-ARKIVET PÅ GEOVIDEN.DK

OPSKRIFT PÅ ET KORT

Når du kigger på et kort over f.eks. geotermiske reservoirer i Danmarks undergrund eller Grønlands geologi, er det ikke lige til at se, hvor meget arbejde der faktisk ligger bag det færdige produkt. Men ingredienslisten til et kort er lang: Utallige timers forberedelse, feltarbejde, data-analyse, bearbejdning og rapportering krydret med en masse overvejelser om, hvordan det hele præsenteres bedst muligt. Den fulde opskrift får du her!

ILLUSTRATION: LYKKE SANDAL

TEKST: JOHANNE UHRENHOLT KUSNITZOFF

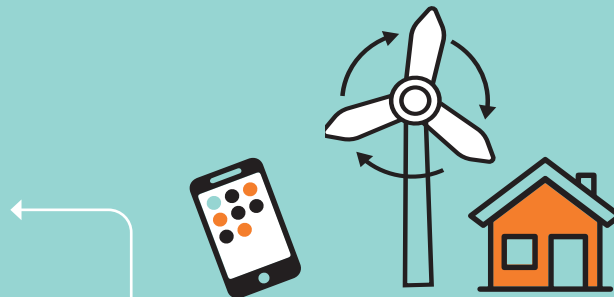


1 LOGISTIK

For at lave et geologisk kort over et område skal man typisk ud at tage prøver, observere, måle og vurdere. Afhængigt af hvor det foregår, kræver det mere eller mindre udviklet logistik at få sig selv, kollegaer, udstyr og bagage frem. Hedder det f.eks. Nordgrønland i en måned eller Sydøen en eftermiddag? Der er utrolig mange ting, der skal overvejes, og planlægningen kan tage måneder.



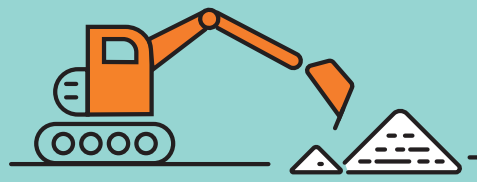
DU KAN SE
98%
AF JORDENS
OVERFLADE MED
GOOGLE
EARTH



6 VIDEN UD I HVERDAGEN



Den nye viden bliver rapporteret i medier og videnskabelige tidsskrifter, og andre kan få gavn af det nye kort. Det kan være mineselskaber, der fremstiller metaller til telefoner, byggesektoren, der skal bruge cement til vores huse, eller staten, der skal placere en vindmøllepark.



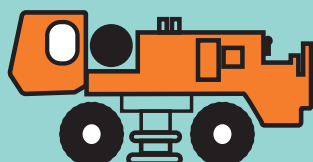


KUN
23%
AF HAVET ER
KORTLAGT



2 I FELTEN

Når både folk og udstyr er nået frem til området, der skal kortlægges, skal udstyret klargøres. Så kan selve arbejdet med at samle data gå i gang. Det kan være havbundsprøver, der skal indsamles med et skib, stenprøver der skal samles ind fra en specifik bjergside, akustiske målinger af undergrundens lag osv. Feltarbejdet kan være intenst og krævende på mange punkter, men det afhænger af, hvilke data der skal samles, hvor og hvordan.



3 HVAD HAR VI FUNDET?

Når de planlagte målinger, prøver, satellitfotos osv. er samlet ind, skal man finde ud af, hvad det hele betyder. Hvad viser de nye data? Hvor gammel er den målte bjergart i forhold til andre i området? Hvilke fossiler er der i havbundsprøven, og hvad fortæller det om havet i fortiden? Hvor stor en koncentration af guld er der i de forskellige bjergarter i bjergskrånningen? Hvordan passer det med, hvad andre tidligere har fundet?

MÅNEN ER
100%
KORTLAGT

5 NYT KORT

Al den nye viden bliver ofte samlet til en form for rapport eller artikel, men typisk også i et kort. På den måde kan man nemlig samle de mange forskellige data i én visuel figur, som f.eks. viser, hvor guldet er, hvor meget der er, hvilken type bjergart det ligger i osv. Eller grundvand, grus, kobber og hvad end man kortlægger.



4 NY VIDEN

Efterhånden som alle data er analyseret og sat i sammenhæng med det, kortlæggerne allerede vidste, giver det et nyt lag af viden om det kortlagte område. Måske har arbejdet vist en ny sammenhæng, som man ikke kendte før. Måske kan man nu se detaljer i de geologiske lag i området, som man ikke kunne se før. Måske bekræfter data, hvad man allerede troede. Eller også er der bare opstået nye spørgsmål ...



COMPUTERE

LYNTÆLLER TRÆER

ET HELT LAND

AD GANGEN



I løbet af en arbejdsuge i det tidlige forår 2023 fandt Martin Brandt en milliard træer i Indien, der ikke før var kortlagt. Vel at mærke uden at behøve at forlade sit kontor på Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) på Københavns Universitet. Martin Brandt er nemlig en af lederne af en forskergruppe, der forsker i kortlægning af træer. Det gør de over meget store områder, og de kan tælle alle træer, som er synlige på luftfotos, i et helt land. Altså hvert. Enkelt. Et. I princippet i hele verden.

Opskriften er en masse viden om træer og deres samspil med omgivelserne kogt sammen til avancerede regnestykker i computermodeller tilsat kunstig intelligens og en frygtelig masse fotos fra satellitter og fly. Plus mange timers manuelle optællinger og kortlægninger ude i skovene og foran computeren i forbindelse med træning og test af modellen.

LØBENDE CO₂-REGNSKAB

Træer og skovrydning er tilbagevendende emner i medierne, og der er mange grunde til, at vi bør holde bedre styr på klodens træer, forklarer Martin Brandt. Især fordi træer optager CO₂ fra luften, så længe de vokser, og på den måde fungerer som levende CO₂-lagre. De fleste lande har efterhånden temmelig stor interesse i at følge med i, hvor meget CO₂ der udledes til atmosfæren hvert år, og hvor meget udviklingen går i den ene eller anden retning. Herunder er det vigtigt at vide, hvor meget der optages igen af for eksempel træer og andre planter. Vokser der en masse nye træer op, gemmes der mere CO₂. Forsvinder der en masse træer, gemmes der mindre CO₂, og en stor del af den vil ryge tilbage i atmosfæren og bidrage til yderligere global opvarmning. Derfor er antallet af og især størrelsen (biomassen) på træer en meget vigtig del af det store klimaregnestykke. Et kilo træ svarer typisk til mellem halvandet og to kilo CO₂, som træet har indfanget

For nylig fandt ph.d.-studerende Sizhuo Li 91 millioner træer i Danmark, der ikke før har været kortlagt. Hendes kollega Martin Brandt har fundet en milliard ekstra i Indien. Ved hjælp af kunstig intelligens trænede til at skelne enkelte træer fra hinanden, bliver det snart muligt at lave løbende, præcise kortlægninger af verdens træer og deres klima-effekt i en skala, der tidligere var utænkelig.

TEKST: JOHANNE UHRENHOLT KUSNITZOFF LAYOUT: LYKKE SANDAL



Udsnit af danmarkskort, hvor kunstig intelligens har talt og kortlagt hvert enkelt synligt træ i hele landet.

Figur: Nord-Larsen et al. (2023). Forest Plan – pilot project on mapping of forest resources. Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen. IGN Report, March 2023.

fra luften. At holde tæt øje med træerne er derfor også at holde tæt øje med en del af klimaudviklingen.

”Med vores modeller kan vi relativt nemt og hurtigt tælle samtlige synlige træer i et helt land og følge med i, hvad der sker med dem over tid. For eksempel hvor meget de vokser

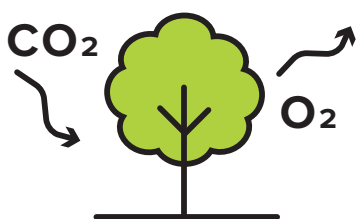
fra år til år, herunder hvor meget CO₂ de optager, eller om de pludselig bliver fældet,” siger Martin Brandt.

DE NYE, GAMLE TRÆER

Hvis man bare vil kende koncentrationen af CO₂ i atmosfæren, kan man godt bare måle den direkte i luften. Det

har et observatorium på Hawaii gjort siden 1958. Vil man også forstå, hvorfor koncentrationen ser ud, som den gør, må man måle på de forskellige dele af kredsløbet, CO₂ bevæger sig rundt i (kaldet kulstofkredsløbet) – herunder træer. I Danmark har myndigheder og forskere i mange år lavet >

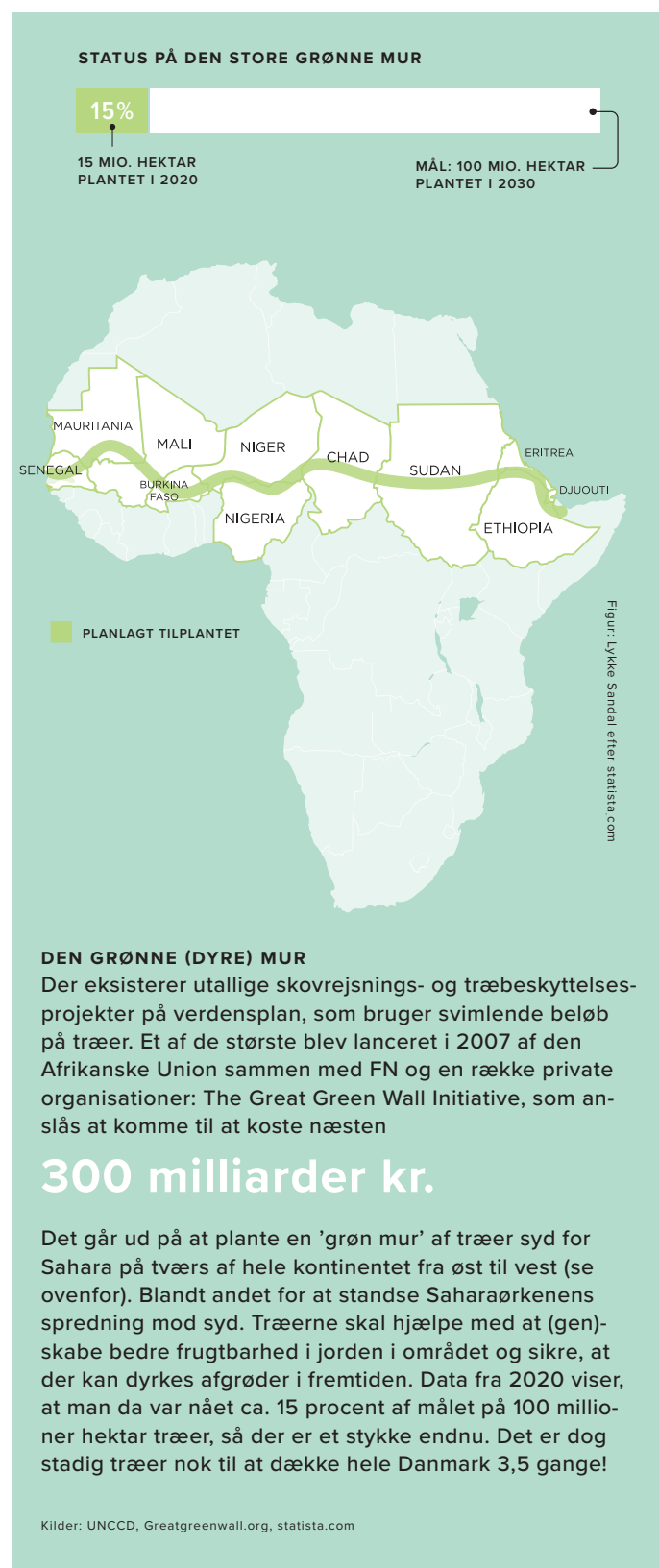
ET KILO TRÆ = TO KILO CO₂



Træer gror ved at optage CO₂ fra luften og sammen med vand og sollys omdanne det til bark, rødder osv. CO₂-molekylerne består af tre atomer: et kulstofatom (C) og to iltatomer (O). Træet beholder kulstofatomet, men sender ilt tilbage i atmosfæren. Når et træ er vokset med et kilo, har det derfor fjernet op til to kilo CO₂, fordi det kun beholder C'et fra hvert CO₂. På den måde fjerner træer store mængder CO₂ fra atmosfæren. Det hele frigives dog igen, hvis træerne brændes.

årlige optællinger af træer i de danske skove, men ikke af træerne uden for skovene. Det gælder for langt de fleste lande, hvis de da overhovedet kortlægger nogen træer.

”Generelt tælles træer uden for skove ikke med, selvom de kan udgøre en stor andel af et lands træer,” fortæller Martin Brandt.



Det er simpelthen for stort et arbejde at køre rundt og kortlægge samtlige træer, der står spredt rundt i landskabet. Historisk har man interesseret sig mest for udviklingen af skovene, fordi de har haft mere konkrete formål som for eksempel tømmer, adelige jagtområder eller værn mod sandfygning. Siden har der sneget sig flere natur- og miljøhensyn ind i kortlægninger, herunder hvor meget CO₂ de optager fra atmosfæren. Men stadig med fokus på skovtræerne.

Derfor kan forskerne nu kortlægge millioner eller endda milliarder 'nye' træer, og det er netop, hvad den omtalte ekstra milliard indiske træer er: træer, som ikke før er talt med, fordi de vokser alle andre steder end i en skov. Dermed er den kortlægning, som Martin Brandts talrige computere har tygget sig igennem, den første, der giver et egentligt overblik over træerne i hele det enorme land. Der er altså ikke tale om en milliard træer, der pludselig er vokset op, uden at nogen har lagt mærke til det. Man har godt vidst, at de var der, men bare aldrig talt eller kortlagt dem.

PROBLEMET MED USYNLIGE TRÆER

Som Martin Brandt forklarer, vokser træerne dog ikke ind i himlen. Der er stadig træer, der ikke kommer med. Mange endda. Computermodellerne fodres primært med satellit- og flyfotos, og her kan man ikke se mindre træer, der vokser under de store – kunstig intelligens eller ej. Helt unge træer er også et problem, da de er for svære at skelne fra andre planter. Derfor dækker forskernes nye kortlægning kun de øverste, større træer og er altså ikke 100 procent præcis. Det var nu heller ikke var forventningen, for en computermode vil altid give et lidt forsimplet billede af verden. Der er nødt til at være valg og fravalg af detaljer, for at modellen overhovedet kan komme til at give mening. Spørger man forskerne i forskergruppen, mener de dog, at den nye metode er et stort fremskridt i forhold til, hvor detaljerede trækortlægninger man kan lave. Desuden er det de store træer, der virkelig batter, når man snakker klimaeffekt, tilføjer Martin Brandt.

”Et enkelt stort træ i for eksempel en regnskov kan ofte lagre lige så meget CO₂ som en lille dansk skov, simpelthen fordi det har så stor en samlet biomasse. Så de store træer er meget vigtige at holde øje med, hvis man vil følge CO₂-lagringen.”

PENGE UD AD VINDUET?

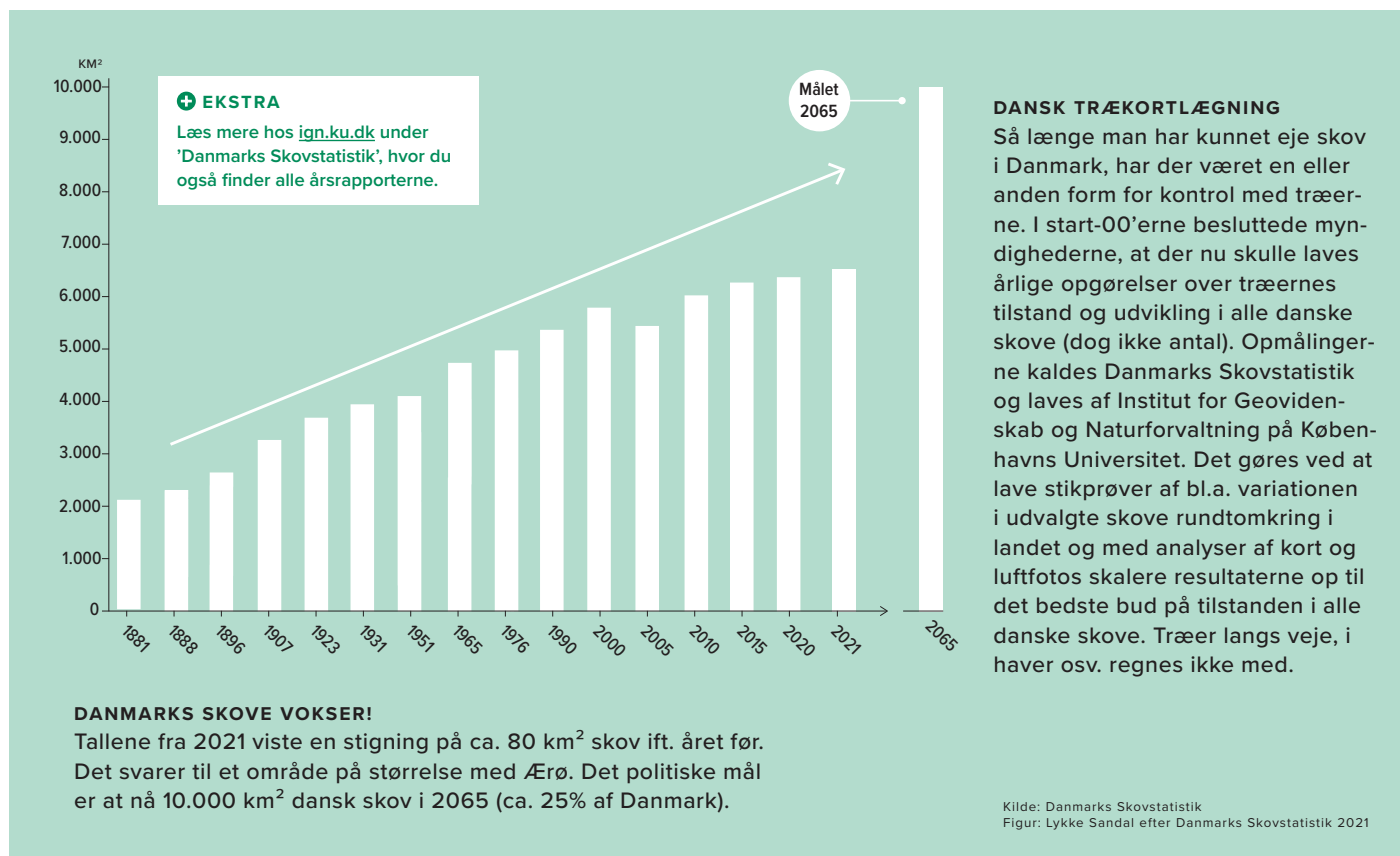
Computerkortlægningen er også vigtig af en anden grund. På verdensplan kastes der hvert år store summer af penge efter genrejsning og beskyttelse af skov. For eksempel via forskellige slags miljø- og klimabeviser, hvor man køber beskyttelse af eksisterende skove eller rejsning af nye som kompensation for miljø- og klimabelastningen – eksempelvis fra en flyrejse eller et par nye lædersko. Der mangler bare en effektiv og pålidelig måde at holde øje med udviklingen på og sikre, at beviserne rent faktisk gør en konkret forskel, fremhæver Martin Brandt.

I januar 2023 kom det frem i en artikel i det britiske medie >



Forskerholdet i færd med manuelt at opmåle træer. Det er et stort arbejde, men helt nødvendigt for at kunne træne computermodellen. Martin Brandt (i blå T-shirt) har sin søn med (i gul jakke), som hjælper lidt til.

Foto: IGN, Københavns Universitet



“Et enkelt træ i en regnskov kan ofte lagre lige så meget CO₂ som en lille dansk skov.”

MARTIN BRANDT

LEKTOR, KØBENHAVNS UNIVERSITET

The Guardian, at ni ud af ti klima- og regnskovsbeviser købt via Verra, en af verdens største miljøbevis-organisationer, ingen verdens nytte har gjort. Store firmaer som Shell, Disney, Gucci og Easyjet har købt beviserne og har dermed kunnet kalde deres produkter mere klimavenlige, men reelt har mange af dem blot været et meget dyrt stykke papir. På den måde kan beviserne måske endda have haft en skadelig effekt på klimaet, hvis folk har fløjet mere eller købt flere klimabelastende varer, fordi de troede, at det blev udlignet med træer. Men træerne havde i mange af regnskovsprojekterne godkendt af Verra lige så stor risiko for at blive fældet som dem, der ikke var beskyttede. Martin Brandt forklarer, at det netop er sager som den, der i en vis grad kan undgå med

løbende kortlægning af enkelttræer. Det gør det nemlig muligt at købe beskyttelse af helt specifikke træer, hvor firmaerne løbende kan dokumentere for køberen, at træerne faktisk stadig står der. Eller man kan bruge teknologien som forebyggelse mod træfældning på private grunde.

”Staten kunne for eksempel give en årlig skatterabat til folk, for hvert træ de lader være med at fælde på deres grund. Det forudsætter jo, at man rimelig nemt kan tjekke op på, at de bliver stående,” siger forskeren.

Om de enkelte lande vil bruge den slags ‘træovervågning’ er selvfølgelig helt op til landene selv, slår han fast. Han og kollegerne er bare i gang med at skabe værktøjet, der gør det muligt.

DANMARKS TRÆER TALT

Et af de lande, der planlægger at bruge forskernes teknologi, er forskningsprogrammets hjemland, nemlig Danmark. Her er det Miljøstyrelsen, der står for at holde regnskab med landets skove, og de arbejder på at kunne kombinere de nye, computerbaserede kortlægninger med de eksisterende skovkortlægninger, hvor der typisk ikke tælles enkelttræer (læs mere i **boksen side 21**). Derfor bad styrelsen Martin Brandt og forskerkollegerne om at teste

MODELLEN TÆLLER DE DANSKE TRÆER

1. Luftfotos uploades

Computermodellen blev fodret med luftfotos af Danmark i høj opløsning. Herunder ses et forenklet eksempel på kortlægningen af træer i en skov og uden for en skov.

2. Antal enkelte træer

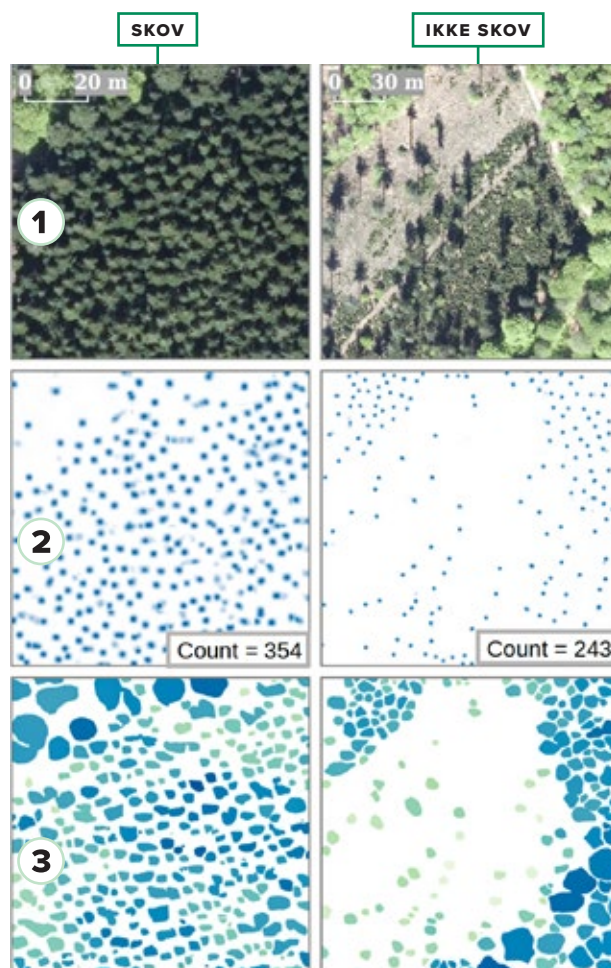
Centrum af de enkelte træer identificeres på baggrund af alle de data, modellen har fået om, hvordan enkelte træer ser ud oppefra modregnet lys/skygge, farveforskelle osv. Kortlagt antal = 312.504.933 træer

3. Træernes omfang

Modellen kortlægger de enkelte trækroner, som blandt andet bruges til at estimere træernes størrelse og masse.

4. Koncentration af træer

Kortlægningen af træer set som koncentration af træer i hele Danmark, også uden for skovene. Kortet viser antal træer per hektar.



Figurer: Nord-Larsen et al. (2023). Forest Plan – pilot project on mapping of forest resources. Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen. IGN Report, March 2023

deres forskellige udgaver af trækortlægningen med kunstig intelligens på danske træer og landskaber. Her kom blandt andre Martin Brandts ph.d.-studerende Sizhuo Li på opgaven. Hun fortæller, at modellen fungerede glimrende til formålet. På en landsdækkende serie af luftfotos fra 2018 kunne de måle antallet af træer, deres højde og placering og trækronernes størrelse. Analysen viste, at der det år var 312.504.933 træer i Danmark, hvis trækroner tilsammen dækker 4.672,57 km² eller lidt under halvdelen af Sjælland. Hvilket dog er en del lavere end myndighedernes egne tal, som det år var på ca. 6.200 km². Det havde forskerne dog forventet, fortæller Sizhuo Li:

”I den officielle skovkortlægning regner man nemlig også typer af skovområder med, hvor der ikke er træer. For eksempel hvis der lige er blevet fældet en del af skoven og plantet nye. Eller skovstier, skovveje og lysninger. De områder opfatter modellen ikke som trædækkede, da de jo reelt set ikke er det, eller også er de nyplantede træer for små til, at den kan ‘se’ dem.”

EN TREDJEDEL UKENDTE TRÆER

Netop derfor er tanken hos både forskere og myndigheder at prøve at finde frem til en blanding af metoderne og forhåbentlig komme endnu tættere på at kunne give et præcist tal



Foto: IGN, Københavns Universitet

✚ EKSTRA

TRÆMODELLEN LÆRTE AT SE I RWANDA

På geoviden.dk finder du artiklen om, hvordan IGN-forskerholdet har trænet computermodellen ved at kortlægge alle træer i Rwanda. Det foregik med flere ugers målinger af træer i og uden for skovene, som du også kan se masser af flotte fotos af online. Det er Martin Brandt i midten helt til venstre og ph.d.-studerende Shizuo Li nederst til højre.

for udviklingen fra år til år. Men Sizhuo Li og kollegerne fandt trods alt også lige utallige millioner ekstra træer, som ikke hidtil var talt med.

”Vores kortlægning viste cirka 91 millioner træer uden for skovene i Danmark, som de nationale træstatistikker ikke har talt med. Så det er helt nyt, og det er der ret lille usikkerhed omkring. Det svarer alligevel til godt en tredjedel af alle træer i Danmark, som først nu bliver kortlagt og bliver noget, vi kan holde øje med.”

Tidligere i 2023 meldte Miljøstyrelsen også ud i en pressemeddelelse, at forskernes projekt med trætælling viser ”det store potentiale, der er for nye metoder til kortlægning af skov,” og at de p.t. arbejder videre på at bruge kortlægningsmetoden til at få et bedre udgangspunkt for ”at forvalte skovene til gavn for biodiversitet, CO₂-lagring, ressourceanvendelse, grundvandsbeskyttelse, friluftsliv, planlægning af nye skove m.m.”

Alt i alt er der store forventninger fra mange sider i træ- og skovverdenen til den nye intelligente kortlægningsteknologi. Ikke mindst fra forskerne selv. Martin Brandt glæder sig til senere i 2023, hvor han mener, modellerne er klar til den ultimative opgave.

”Når vi har fået justeret modellen yderligere, bør det tage den et par uger eller tre at regne sig igennem satellitfotos af hele Jorden og give os det totale antal træer,” siger han. •



TEKST: FIE KRØYER DAHL LAYOUT: LYKKE SANDAL

I 1800-tallet drog den tyske videnskabsmand Alexander von Humboldt ud på lange ekspeditioner og kom hjem med kufferten fuld af oplevelser, opdagelser og et helt nyt syn på forbindelsen mellem natur og menneske. Hans forskning resulterede i en række innovative kort, som skubbede naturvidenskabelig forståelse og formidling i en retning, der skulle vise sig at have stor betydning for eftertiden. Og hans arbejde er stadig relevant i dag i forhold til klimakrise og tab af biodiversitet.

Brede gulddrammer med malerier af yndige blomster, fugle i flugt og hav i oprør. Naturen har inspireret kunsten i århundreder, og 1800-tallet var ingen undtagelse. Det var dog sjældent, at det gik den modsatte vej – altså at naturvidenskaben lod sig inspirere af kunsten. Var man for eksempel biolog og skulle præsentere sine resultater, var det i lange kolonner med tal, opmålinger og navne. Det kunne være registreringer af bestemte blomster eller skemaer over nedbør.

Den slags. Knastørt og ret kedeligt at se på – og umuligt at forstå for andre end fagfolk.

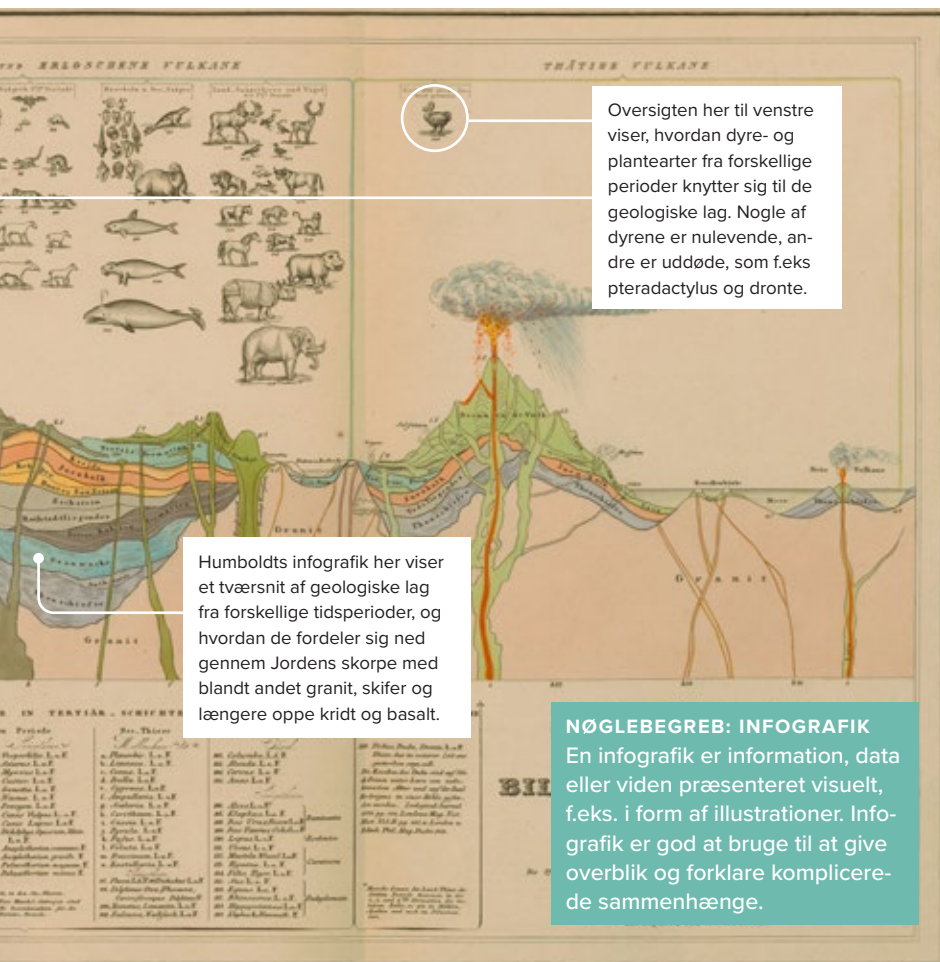
Men det ændrede sig, da den tyske videnskabsmand Alexander von Humboldt i 1799 ankom til Sydamerika. Der udforskede han blandt andet vulkanen Chimborazo i Ecuador og andre områder i Andesbjergene og studerede intenst naturen omkring sig; både flora og fauna, vejr og vind. Han målte og vejede alting systematisk og kom hjem

med bunker af håndskrevne noter om udbredelsen af forskellige arter og eksemplarer af planter, der aldrig før var registreret.

Humboldt holdt sig ikke til en enkelt disciplin, men var både botaniker, geolog, meteorolog og fysiker, når han var i felten. Og ud af alt hans hårde arbejde kom noget, der var nyt for hans tid. Humboldt valgte nemlig at formidle sine mange fund og optegnelser i en række kunstfærdige og informativt udformede kort, som han fik en billedkunstner til at tegne. På de kort samlede han en hel masse viden i én og samme illustration – et greb, der gjorde, at han for eftertiden blev kendt som den, der lavede verdens første infografik.

STORE OG SMÅ SAMMENHÆNGE

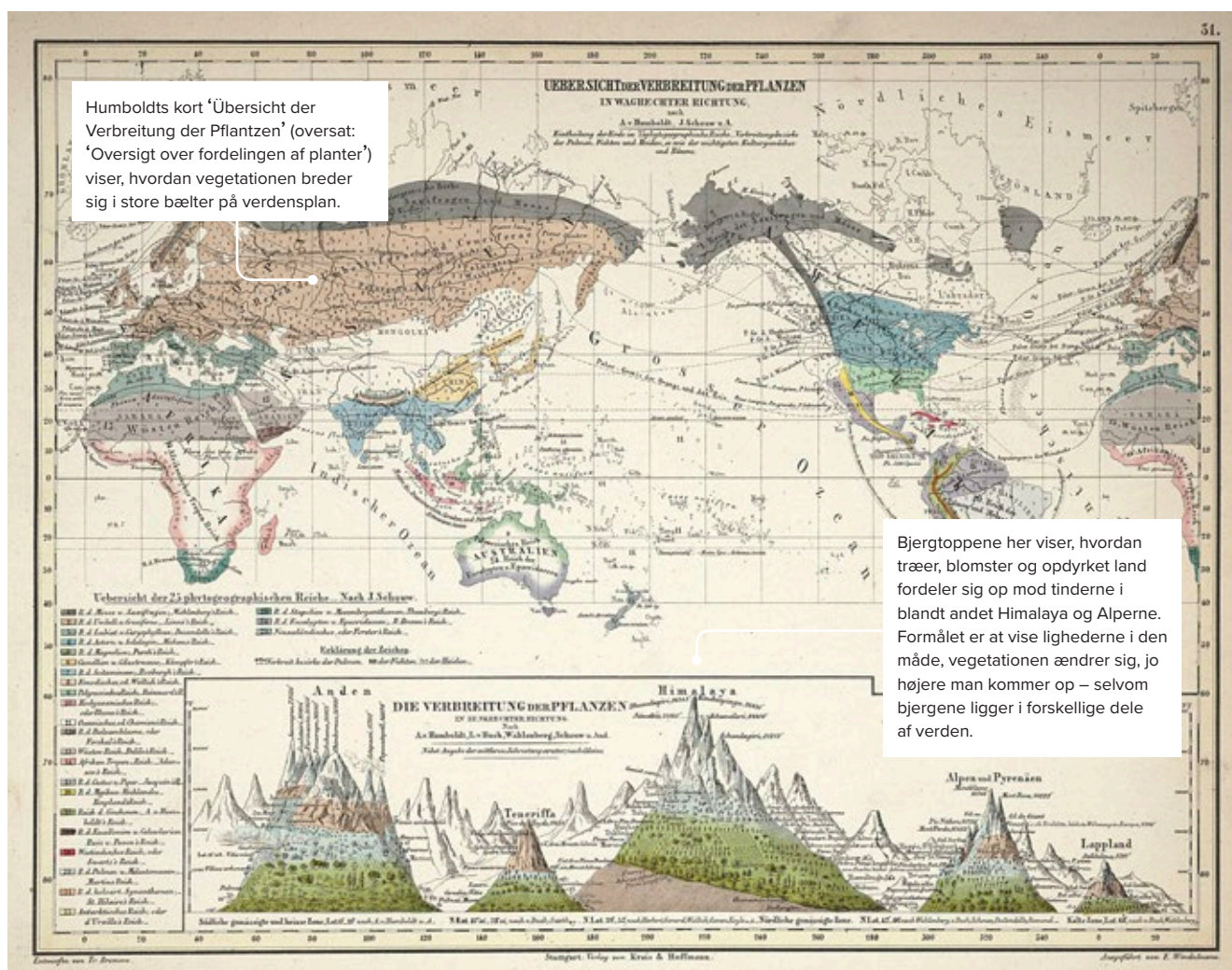
På Humboldts tid var den dominerende opfattelse af verden, at mennesket var i centrum og hævet over alt andet liv på Jorden. Den forestilling udfordrede >



“Humboldt forsøgte at forstå, hvordan alting er forbundet, ikke mindst naturen og mennesket.”

NAIA MORUETA-HOLME

BIOLOG OG FORSKER VED CENTER FOR MAKROØKOLOGI,
EVOLUTION OG KLIMA VED GLOBE INSTITUTE PÅ
KØBENHAVNS UNIVERSITET



Alexander von Humboldts forskning, og hans detaljerede kort var ikke kun noget nyt visuelt – de var også udtryk for en helt ny tankegang. Det fortæller Naia Morueta-Holme, som er ph.d. i biologi og adjunkt ved Center for Makroøkologi, Evolution og Klima på Globe Institute på Københavns Universitet:

”Humboldt var en af de første til at se holistisk på naturen. Han mente, at vi var nødt til at betragte hver enkelt plante og hvert enkelt dyr som en del af en større helhed og ikke uafhængigt af hinanden. Han forsøgte at forstå, hvordan alting er forbundet, ikke mindst naturen og mennesket.”

OGSÅ RELEVANT I DAG

Naia Morueta-Holme har sammen med et hold forskere fulgt i Humboldts fodspor i 2012, da hun som en del af sin ph.d. rejste til Ecuador. Her gentog de en del af de registreringer af planteliv, som Humboldt lavede på vulkanen Chimborazo. Ved at sammenligne deres egne fund med



Foto: Privat

NAIA MORUETA-HOLME

PH.D. I BIOLOGI
FRA AARHUS UNIVERSITET

Adjunkt, Center for Makroøkologi, Evolution og Klima, Globe Institute på Københavns Universitet, hvor hun forsker i menneskets indflydelse på naturen i relation til klimaforandringer etc. Har fulgt i fodsporene på Humboldt i Ecuador, da hun lavede ph.d. I sommeren 2023 har hun været i Grønland for at gå i fodsporene på danske botanikere.

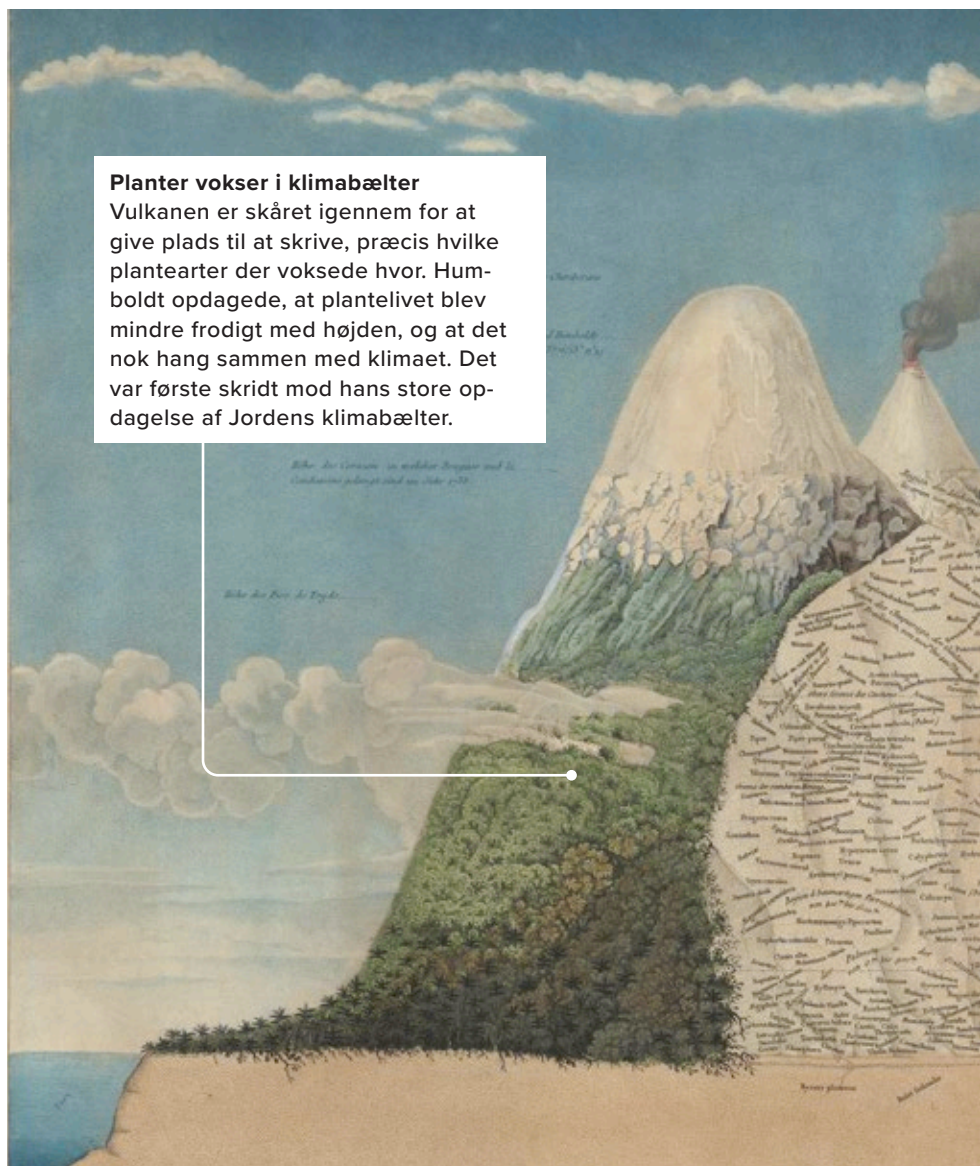
“Gode illustrationer kan vække vores interesse.”

NAIA MORUETA-HOLME

resultaterne fra dengang kunne Naia Morueta-Holme og holdet se, hvordan udbredelsen af visse arter havde ændret sig. Meget af vegetationen var rykket højere op i terrænet, hvilket formentlig skyldes klimaforandringer, i hvert fald til dels. Præcis som Humboldt kunne

de se de negative effekter, som menneskets handlinger havde på naturen. Hans forskning viste, at begivenheder ét sted på Jorden kan have konsekvenser et andet sted, fordi alting hænger sammen. Det er netop forståelsen af de små og store vigtige sammenhænge på Jorden – vejrsystemer, økosystemer, havstrømme og så videre – som kan forklare de klimaforandringer og det tab af arter, vi oplever i dag. Derfor er den tyske videnskabsmands forskning ifølge Naia Morueta-Holme stadig relevant her mange år senere:

”Vi kan bruge Humboldts arbejde direkte i form af de data, han har samlet ind. Dem kan vi genbesøge og se på, hvordan de har ændret sig over tid. Og så ligger hele hans holdning til grund



Planter vokser i klimabælter

Vulkanen er skåret igennem for at give plads til at skrive, præcis hvilke plantearter der voksede hvor. Humboldt opdagede, at plantelivet blev mindre frodigt med højden, og at det nok hang sammen med klimaet. Det var første skridt mod hans store opdagelse af Jordens klimabælter.

for den måde, vi i dag ser på naturen og dens systemer, og hvordan det hele hænger sammen.”

På sin vis kan man sige, at Alexander von Humboldt gav os nøglen til at forstå, hvilken effekt klimaforandringer har på biodiversitet, altså naturens mangfoldighed – men uden at han vidste, at det var det, han gjorde. Han gjorde det klart, at natur og mennesker påvirker hinanden indbyrdes, og påviste direkte eksempler på steder, hvor mennesker havde ødelagt hele økosystemer på ganske få år.

ÆSTETIK ER VIGTIG

Den nye viden, som Humboldt havde forsket sig frem til, arbejdede han hårdt på at få bredt ud til offentligheden. Han

skrev artikler i aviser og tidsskrifter og prøvede at oplyse befolkningen ved at tage ud for at fortælle om sine opdagelser.

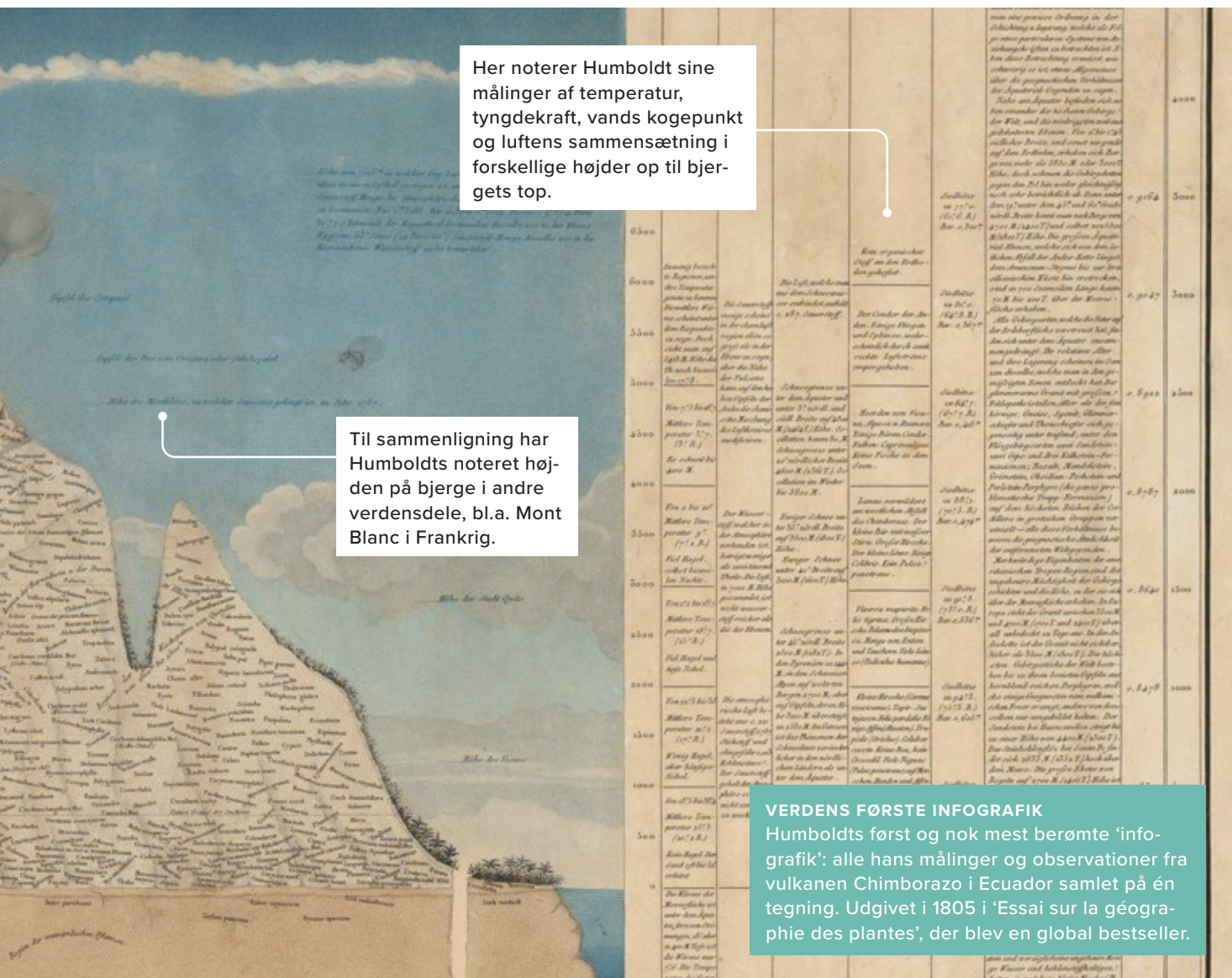
”Humboldt ville dele sin begejstring for naturen og de fantastiske væsner og planter, som den består af. Til det formål spillede hans omhyggeligt illustrerede kort en vigtig æstetisk rolle,” forklarer Naia Morueta-Holme.

Der sker nemlig noget med os, når vi får lov at opleve verden med flere sanser. Vi lærer og lagrer bedre, når vi mærker, lytter og betragter et materiale. Æstetik er derfor ifølge Naia Morueta-Holme et vigtigt redskab til at opleve og forstå sammenhænge i naturen, uanset om emnet er biologi, geologi eller fysik.



Er du blevet nysgerrig på Humboldt og hans naturvidenskabelige arbejde, kan du læse mere i bogen 'Opfindelsen af naturen' fra 2019 skrevet af Andrea Wolf.

”Gode illustrationer kan vække vores interesse. De kan få os til at se værdien i at værne om naturen og bevare den også for fremtidige generationer. Mennesker er meget styrede af følelser i beslutningsprocesser, og der kan kort, figurer og andre former for kunst være et godt greb til at hjælpe os med at forstå komplekse sammenhænge og samtidig røre os,” konkluderer Naia Morueta-Holme. •



SARA SALEHI FINDER USYNLIGE MINERALER I GRØNLAND MED ET HELT SÆRLIGT SLAGS KAMERA

En smuk fjeldside af marmor og granit får alle regnbuens farver, når seniorforsker Sara Salehi fra GEUS tager hyperspektrale fotos af den. Med computerkraft analyserer hun de store mængder data, som feltarbejdet genererer – og på magisk vis kan hun kortlægge, hvad klipperne gemmer på af eftertragtede mineraler. Bliv klogere på geologisk kortlægning i Grønland.

TEKST: FIE KRØYER DAHL LAYOUT: LYKKE SANDAL

I hjørnerne på Sara Salehis kontor står sorte fotokufferter og sølvfarvede metalkasser stablet flere meter op. Sara Salehi er ingeniør og seniorforsker i kortlægning og mineralske råstoffer, og indholdet af kasserne er essentielt for hendes forskning. I dem ligger blandt andet højteknologisk kameraudstyr, som kan tage det, man kalder hyperspektrale fotos.

Den type billeder bruges til at lave remote sensing – det vil sige registrering af noget på afstand. Netop det er smart at bruge til kortlægning i Grønland, som består af store områder med ufremkommeligt klippelandskab og stejle skrænter. Med de hyperspektrale billeder får geologerne et stærkt værktøj til at finde ud af, hvad landskabet består af, og påvise dyrebare mineraler på steder, hvor man ikke kan tage fysiske prøver. En del af mineralerne og grundstofferne, som den grønlandske undergrund gemmer på, er meget efterspurgt

i den grønne omstilling, hvor blandt andet kobolt, grafit og sjældne jordartsmetaller er vigtige ingredienser til vindmøllers og elbilers magneter og batterier.

”Grønlands fjelde består af mange

forskellige bjergarter, og i dem ligger tusindvis af forskellige mineraler. Nogle af bjergarterne er synlige og kan genkendes på almindelige billeder, men mineralerne kan man ikke se med det blotte øje. Det er her, de hyperspektrale fotos gør en forskel,” fortæller Sara Salehi.

Forskerne bruger også satellitbilleder til kortlægning, og med dem kan de se fjeldene lodret oppefra og måske med det



Ekspeditionen, som Sara Salehi var med på i sommeren 2023 sammen med andre forskere fra GEUS, foregik på Ymer Ø og Gauss Halvø i Østgrønland.



GEUS KORTLÆGGER DE ISFRI OMRÅDER

Kun cirka 20 procent af Grønland er isfrit, resten er permanent dækket af Indlandsis og gletsjere. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) kortlægger de isfrie områder på ca. 410.000 km², som svarer til Norge plus lidt til. De fleste områder kan kun nås med båd, fly eller helikopter.



Foto: Privat

Dagens arbejdsplads på toppen af et grønlandsk fjeld med udsigt til den fjeldside, som Sara Salehi kortlægger med særlige fotos. Den grønne ledning sender de data, som det hyperspektrale kamera indsamler, direkte ind i computeren, så hun kan kigge på resultatet af scanningerne. Al teknikken kræver strøm, så tunge kufferter med batterier skal fragtes med op på bjerget.

SARA SALEHI

SENIORFORSKER, GEUS

Ansæt ved GEUS i Afdeling for Kortlægning og Mineralske Råstoffer. Ph.d. fra Københavns Universitet. Uddannet ingeniør på K.N. Toosi University of Technology i Teheran, Iran.

blotte øje kortlægge nogle af de bjergarter, fjeldene består af. De kan dog ikke se meget stejle bjergsider og klippeudhæng, og derfor monterer Sara Salehi de hyperspektrale kameraer på en båd eller på snuden af en helikopter og sejler forbi eller flyver hen over det grønlandske landskab. Det giver hende billeder af klippesiderne fra andre vinkler, og på den måde får hun samlet set et grundigere billedmateriale af området. Hun er i øvrigt den første til at tage hyperspektrale fotos fra en helikopter i Grønland og den første til at teste og anvende teknologien på så store afstande netop der.

TUSINDVIS AF SKIVER

De hyperspektrale fotos er noget helt andet end de billeder, vi kan tage med for eksempel vores telefoner, hvor det er synligt lys, som registreres og skaber motiverne. De kameraer, som Sara Salehi bruger, registrerer både en del af det synlige

lys, men derudover registrerer det også også bølgelængder, som er usynlige for mennesker. Helt præcist opfanger de kameraer, som Sara Salehi bruger, to typer af infrarød stråling, som vi ikke kan se.

”Kameraerne optager, hvordan solens lys reflekteres i klipperne, og hver bjergart og hvert mineral ser ud på helt bestemte måder, når de registreres med de hyperspektrale kameraer, og man kigger på resultatet på computeren. Man kan sige, at de har hver sit fingeraftryk, og derfor kan vi skelne dem fra hinanden,” fortæller Sara Salehi.

De hyperspektrale billeder giver altså langt mere information om den geologiske sammensætning af klipperne, end hvad man kan se på billeder, der er taget med et almindeligt kamera. Motivet ligner heller ikke noget velkendt, for selvom >

“Vi behøver ikke knuse nogen sten for at undersøge dem, vi behøver faktisk ikke engang røre dem.”

SARA SALEHI

SENIORFORSKER, GEUS

Sara Salehi flyver forbi smukke fjeldsider med blå himmel som baggrund, er det overhovedet ikke det, der kommer med på et hyperspektralt foto. På computeren bliver det til en såkaldt datakube, som består af tusindvis af 'skiver' helt tæt sammen i en slags diagram. Det viser de forskellige elektromagnetiske bølgelængder, som kameraet har opfanget (se mere på geoviden.dk). Efter masser af databearbejdning ender det med et billede i alle regnbuens farver (se **side 35**.)

MED FIRE SERVERE PÅ FELTARBEJDE

Det lyder måske nemt at tage en bunke billeder, kigge på

dem og sige: "Der er noget grafit!". Men der ligger mange kræfter og flere års udvikling af metoden og teknologien bag – og der er langt fra at tage billederne til rent faktisk at kunne aflæse dem. Hver gang Sara Salehi er på feltarbejde, medbringer hun de tunge kufferter fra kontoret, som ud over kameraudstyr rummer store computere, der kan tygge sig igennem al den data, hun indsamler i Grønland. Det fylder mange terabyte, og derfor har hun også eksterne servere med, som hun hver aften sikkerhedskopierer dagens udbytte til.

"Selve feltarbejdet er jo kun en lille del af mit job. Resten af tiden går blandt andet med at bearbejde data på computeren, så vi kan få mening ud af det. Helt konkret programmerer jeg computeren til at scanne al data og lede efter specifikke kendetegn – eller 'fingeraftryk' – ved de forskellige mineraler, forklarer Sara Salehi.

Efterfølgende sammenholder hun de behandlede, hyperspektrale fotos med satellitbilleder og almindelige fotos, som hun tager sideløbende i felten, og analyserer det hele samlet. Ved hjælp af blandt andet 3D-modellering ender det med at danne et detaljeret digitalt kort over, hvilke typer bjergarter og mineraler klippeoverfladen består af, og hvor meget der er af hver enkelt (se **side 35**).

Det er viden, som er utroligt kostbar for blandt andet mineselskaber, som gerne vil udvinde de vigtige mineraler. Men det er ifølge Sara Salehi også en vigtig brik i kortlægningen, som hjælper os med at forstå, hvordan landskabet i Grønland er dannet, og hvordan forholdene har været før i tiden.

DET DRILSKE LAV

Vejen til det flotte og dyrebare kort med farvede felter har dog ikke været snorlige. Både vind og vejr, store afstande og rystelser fra båd og helikopter påvirker kameraets optagelser, og ret hurtigt fandt Sara Salehi også ud af, at bevoksningen kaldet lav, der ligger som grønne, orange og røde tæpper



ET LAV-PRAKTISK PROBLEM

Der er masser af lav i de arktiske egne, ikke mindst i Grønland. Den hårdføre blanding af en svamp og en plante vokser direkte på klipperne og er et problem, når man skal tage hyperspektrale fotos. Hyperspektrale kameraer opfanger nemlig infrarød stråling ved at opfange det sollys, som reflekteres i klippen, men når selve klippen er dækket af et andet materiale, vil refleksionen ikke være retvisende. Det løste Sara Salehi ved at identificere, hvordan forskellige typer lav reflekterer sollys og derefter identificere bevoksningen på de hyperspektrale billeder. Så fik hun computeren til at tage hensyn til den netop den type lav i forhold til, hvordan det påvirker klippernes hyperspektrale 'fingeraftryk'.

mange steder på klipperne i Grønland, var en udfordring, der kunne forstyrre resultaterne. Heldigvis kan hun lide at finde løsninger og tænke kreativt. Hver gang Sara Salehi møder et benspænd, begynder tandhjulene i hendes hoved at dreje for at finde ud af, hvordan hun kommer videre. Så hun udviklede en metode, hvor computeren lærte at korrigere for den drilske bevoksning (læs mere i boksen på **side 30**). På samme måde er det nødvendigt at korrigere for de andre forstyrrelser med avancerede udregninger på computeren, og når Sara Salehi har fået fjernet al 'støjen' fra lav, omskifteligt vejr og så videre, kan de hyperspektrale fotos indgå i den større analyse.

ÅBENLYSE FORDELE

Selvom det har været en lang proces og et omfattende arbejde for den 35-årige iranske forsker at optimere og finpudse dataindsamling, analyser og arbejdsgange, er der en mening med galskaben.

For fordelene ved at bruge den her type teknologi et sted som Grønland er åbenlyse:

"Det gode ved den her metode er, at den ikke er invasiv. Vi behøver ikke knuse nogen sten for at undersøge dem, vi behøver faktisk ikke engang røre dem. Vi tager bare billeder, og vi genererer viden meget hurtigt og skal for eksempel ikke vente på laboratorieprøver," fortæller hun.

Alt i alt kan man altså kortlægge større områder mere effektivt, hvilket ifølge Sara Salehi sparer tid og penge. Det gør metoden til et interessant værktøj for både forskerkollegerne ved GEUS, som laver geologiske kort over Grønland, for MMR (Ministry of Mineral Resources), som er det grønlandske ministerium for mineralske ressourcer, og for de private

firmaer, der specialiserer sig i at lede efter mineraler. Derudover kan det også bruges i planlægningsøjemed:

"Hvis vi først har undersøgt et område med remote sensing, så kan vi hurtigt vurdere, hvor det vil give mest mening at bore efter mineraler, eller hvor et forskningsteam fra GEUS vil få mest ud af at starte deres feltarbejde," forklarer Sara Salehi.

EN KÆMPE GAVE

Efter manges års forskning har Sara Salehi efterhånden fået løst de fleste problemer, hun har mødt på sin vej i arbejdet med de hyperspektrale billeder. Men der er stadig brug for at teste og finpudse metoden, så andre kan få mest mulig gavn af den. Derfor var hun i sommeren 2023 endnu en gang nordpå med sin store oppakning, denne gang til Ymer Ø og Gauss Halvø i Nordøstgrønland. Her lavede hun og de hyperspektrale kameraer i samarbejde med geologer fra GEUS en detaljeret geologisk kortlægning af områderne. Feltarbejdet er en del af GEUS' generelle kortlægning af Grønland i skalaen 1:100.000. Og turene nordpå er altid et højdepunkt for Sara Salehi:

"Jeg havde glædet mig meget til at være ude i naturen i tre uger og til at se endnu mere af det smukke landskab. Det er en kæmpe gave at få lov til at opleve helt uberørte dele af Jorden, hvor hverken telefon eller internet virker. Man opdager, hvor afhængige vi er af altid at kunne finde svar på alting. Men derude må jeg finde løsningerne selv, og det er virkelig fantastisk. Jeg føler mig meget heldig at få lov at opleve det." •

VIDSTE DU, AT ...
... remote sensing med hyperspektrale billeder bruges til meget andet end geologisk kortlægning? Teknologien anvendes blandt andet inden for astronomi, landbrug, molekylærbiologi, fysik og overvågning.



Foto: Privat

Feltarbejdet består også af mange timer i felthelikopteren med kameraerne på snuden. Sara følger med i resultaterne fra passagersædet.



Foto: Privat

Først afprøvede Sara Salehi de hyperspektrale kameraer på land, derefter til vands på en båd og til sidst i luften monteret på snuden af en helikopter. Sidstnævnte er hun den første til at gøre i Grønland.



GRØNLAND I DETALJEN

Der findes geologiske kort over Grønland i skalaen 1:500.000 og 1:250.000 (som det i baggrunden her på siderne), men kortlægningen i 1:100.000, som De Nationale Geologiske Undersøgelser (GEUS) arbejder på nu, er den mest detaljerede til dato.

Projektet har ligget stille i en årrække, men i 2017 genoptog GEUS arbejdet med at tilføje de manglende kortblade over de enorme områder (et kortblad er et udsnit af et større kort). Det er også nødvendigt at opdatere nogle af de eksisterende

kortblade, for selvom geologien typisk ikke ændrer sig over nogle få årtier, er der kommet ny viden og teknologi til, som kan gøre kortene endnu mere præcise.

Målet med at genoptage den geologiske kortlægning er at fokusere på områder, hvor der er brug for en bedre forståelse af de geologiske processer. Det er for eksempel vigtigt at vide mere om samspillet mellem specifikke bjergarter og magma (materiale fra Jordens indre, som er trængt ind mellem lagene af bjergarter og derefter er forstenet). Netop det samspil kan nemlig betyde, at der er potentiale for at finde værdifulde mineraler, som kan bruges i den grønne omstilling.

PRØV SELV

Klik ind på 'Grønlandsportalen' på geus.dk, og undersøg selv de mange interaktive kort over Grønlands geologi, herunder råstoffer, miner, felldata, havdybder, satellitfotos og meget, meget mere!

KORTLÆGNING AF GRØNLAND BIDRAGER TIL DEN GRØNNE OMSTILLING

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) udforsker Grønlands geologi for at kunne lave et kort i skalaen 1:100.000. Til det formål anvender geologerne flere forskellige metoder – lige fra klassisk feltarbejde til højteknologiske kameraer. Men hvordan kortlægger man egentlig så vidtrækt og ufremkommeligt et land? Og hvem er det interessant for? De spørgsmål har Geoviden stillet seniorforsker i GEUS Pierpaolo Guarnieri, som er leder af det store projekt.

TEKST: FIE KRØYER DAHL LAYOUT: LYKKE SANDAL

Hvorfor er det vigtigt at lave et geologisk kort over Grønland?

"Det er vigtigt, fordi kortlægningen giver os data til at lave detaljerede geologiske analyser og til at vurdere, hvor mineraler, som er vigtige for blandt andet den grønne omstilling, gemmer sig.

Teknologiske fremskridt har gjort, at vi har bevæget os langt videre end de traditionelle fysiske kortformater, og nu kan vi tilbyde omfattende tredimensionel digital information, som kan tilpasses en bred gruppe af brugere.

Geologiske kort giver også information, som kan bruges i planlægningen af, hvordan man udnytter landområder, og til at vurdere, hvilke geologiske ressourcer der er til stede. De er også vigtige i forbindelse med risikovurderinger af for eksempel fjeldskred og ikke mindst for den økonomiske vækst."

Hvordan kortlægger GEUS Grønland?

"Når vi kortlægger Grønland, bruger vi forskellige metoder. For det første tager vi ud på helt klassisk geologisk feltarbejde, hvor et hold på to eller flere personer bliver fløjet ud et sted, hvor der ofte aldrig har været nogen før. De laver en lejr og tager på ture ud i området for at undersøge og indsamle

“Mineraludforskning er vigtig for Grønland, som ikke længere tillader boring efter olie.”

PIERPAOLO GUARNIERI

SENIORFORSKER, GEUS

prøver af de forskellige bjergarter og mineraler.

Derudover bruger vi også det, som hedder fotogrammetri. Det går ud på, at vi fra helikopter tager en hel masse overlappende billeder med et almindeligt kamera af for eksempel en stejl klippeside eller et højt bjergmassiv. De mange billeder bliver sat sammen, så man får ét samlet billede af et stort område.

Derudover bruger vi satellitbilleder, og så tager vi også det, man kalder hyperspektrale fotos, som hjælper os med at kortlægge bjergarter og mineraler, som vi ikke kan se med det blotte øje. Ved hjælp af avancerede computerprogrammer kan vi sætte de forskellige typer data sammen – det kaldes 3D-fotogeologi. På den måde kan vi skabe 3D-modeller af det geologiske landskab og lave både trykte og digitale kort.”

Hvordan supplerer de forskellige metoder hinanden?

”Når vi kombinerer de hyperspektrale billeder med klassisk feltarbejde og 3D-fotogeologi, forbedrer vi vores mulighed for at undersøge og genkende

de bjergarter og mineraler, som det grønlandske landskab er skabt af.

Hvad bidrager de hyperspektrale fotos med i forhold til kortlægningen?

”Hyperspektrale fotos er ikke noget nyt, det har eksisteret i mange år. I GEUS startede vi med at teste metoden med et kamera, som stod på et stativ og blev rykket rundt i terrænet. I 2019 fik vi mulighed for at tage et hyperspektralt kamera med i en helikopter og på en båd. Nu kunne vi pludselig scanne store områder hurtigere end før og få billeder fra flere vinkler af de stejle klippesider. Med den type billeder får vi et værdifuldt indblik i, hvor der gemmer sig efterspurgte mineraler, og hvilke mineraler der er tale om.”

Kan du give et eksempel på, hvem der har glæde af kortlægningen?

”Mineraludforskning er vigtig for Grønland, som ikke længere tillader boring efter olie. Nu er der fokus på at finde mineraler og metaller som kobber og zink. Det er eftertragtede varer, fordi de blandt andet bruges i den grønne omstilling til for eksempel at lave batterier. Så når GEUS udvikler metoder, der gør det nemmere at finde mineraler og metaller, er vi med til at styrke den grønlandske økonomi. Samtidig bidrager vi til, at vi kan tilpasse os klimaforandringerne.

GEUS rådgiver og samarbejder også med private virksomheder og offentlige institutioner, og her bruger vi blandt andet vores boreprøvearkiv til at lave forskellige analyser, for eksempel for at finde ud af alder og sammensætning af specifikke bjergarter.

I 2022 samarbejdede GEUS eksempelvis med et mineselskab, som havde brug for en 3D-model af Maarmorilikminen, også kaldet Den Sorte Engel. Den ligger i det centrale Vestgrønland, og der kan udvindes blandt andet zink, jern og bly. Sammen med en forskningsinstitution i Dublin kunne vi bidrage med en virtuel model i høj opløsning af klipprefremspringene i området, som de kunne bruge til 3D-modelleringen.”•



PIERPAOLO GUARNIERI

SENIORFORSKER, GEUS

Ansæt ved GEUS i Afdeling for Kortlægning og Mineralske Råstoffer. Leder af den geologiske kortlægning af Grønland i 1:100.000. Ph.d. i geologi fra Università di Catania, Italien.

SÅDAN FUNGERER HYPERSPEKTRALE FOTOS

På de forgangne sider har du mødt nye og lidt svære begreber fra forskningens verden. Her kan du gå i mere dybden med dem og blandt andet blive klogere på det elektromagnetiske spektrum, få mere at vide om hyperspektrale fotos og om forvandlingen fra usynligt til synligt.

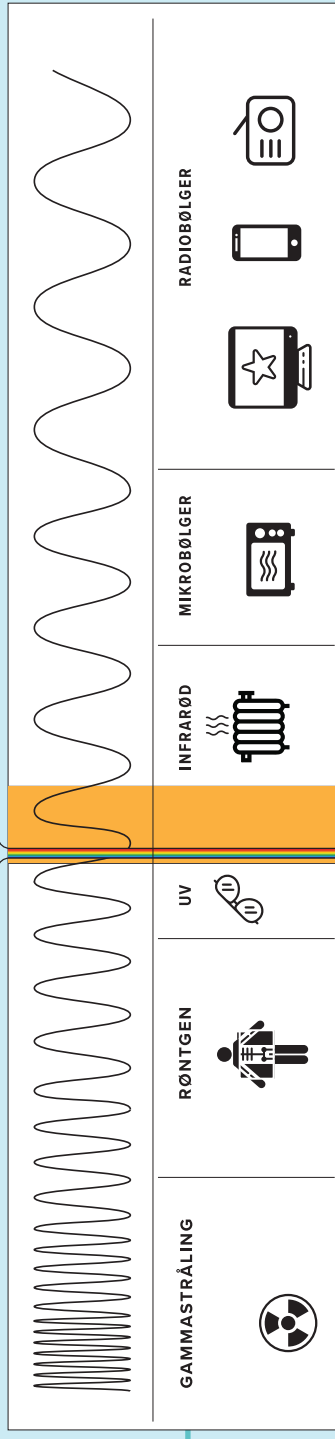


EKSPERT-
NIVEAU

OMRÅDET, MENNESKER KAN SE



BØLGELÆNGDE



TYPE AF STRÅLER

OMRÅDET, ET HYPERSPEKTRALT
KAMERA KAN "SE"



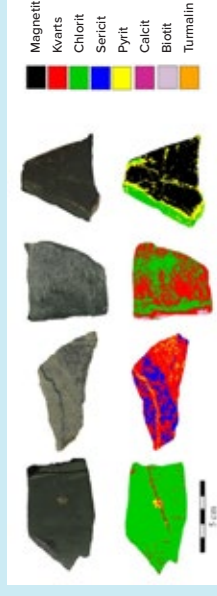
HYPERSPEKTRALE KAMERAER SER INFRARØDT
At et kamera er hyperspektralt betyder, at det indfanger en anden del af det elektromagnetiske spektrum, (det vil sige nogle andre bølgelængder) end et normalt kamera – og vi selv – kan se. Hyperspektrale kameraer som dem, der omtales på de forrige sider, indfanger bølgelængder fra henholdsvis en del af det synlige og en del af det infrarøde område på spektret.

MENNESKER KAN SE MEGET LIDT

Vores øjne kan kun se en lille bitte smule af det elektromagnetiske spektrum (cirka 3 procent). Det ligger i den del af spektret med mellemstore bølger og kaldes synligt lys. Resten af spektret er usynligt for os, men nogle dyr kan se andre dele af spektret, f.eks. kan bier se ultraviolet. Nogle bølger kan dog opfanges af vores sanser, f.eks. kan vi mærke infrarød som varme, og vores hud bliver brun af Solens ultraviolette stråler.

BYGSEMATERIALERNE BLIVER SYNLIGE

Øverste række: Fotos af sten, som mennesker ser dem.
Nederste række: Fotos af de samme sten optaget med hyperspektralt kamera. Her træder stenenes forskellige "byggematerialer" tydeligt frem.



DET ELEKTROMAGNETISKE SPEKTRUM – KORT FORTALT

HVOR FINDES ELEKTROMAGNETISK STRÅLING?

Det er lyset fra din natlampe og varmen fra din krop. Det er bølgerne, der giver lyd i radioen, og røntgenbilleder af dine tænder – ja, lidt groft sagt udsender alle ting i verden elektromagnetisk stråling, hvis de er varmere end minus 273 grader (det absolutte nulpunkt). Og det er de fleste ting på Jorden.

HVAD ER ELEKTROMAGNETISK STRÅLING?

Elektromagnetisk stråling udbreder sig som bølger i forskellige størrelser, som til sammen kaldes det elektromagnetiske spektrum. Størrelsen på bølgerne – det, man kalder bølgelængder – afgør, hvilken slags stråling der er tale om, og hvordan de påvirker det, de rammer. Bølgerne kan være helt enormt korte (gammastråling) og helt enormt lange (radiobølger).

VEJEN TIL EN 3D-MODEL, SOM VISER DET USYNLIGE

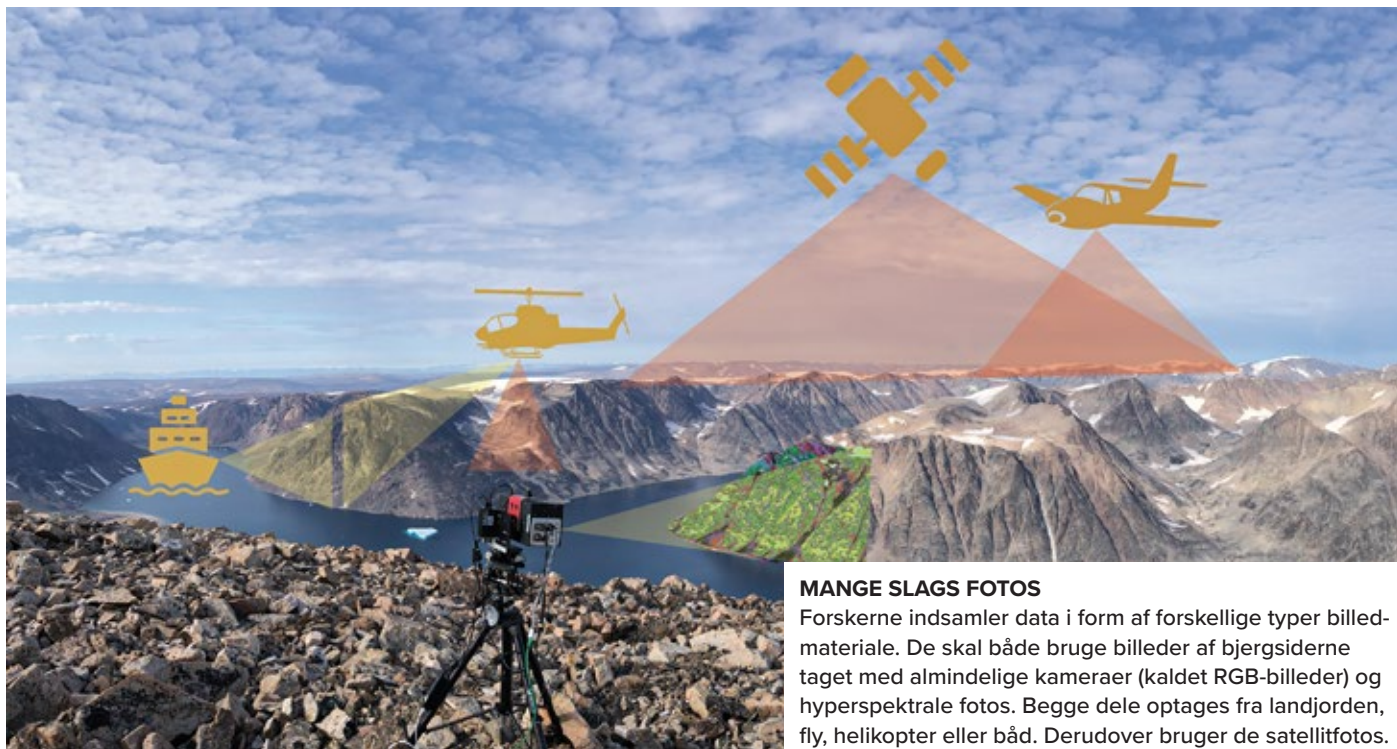


Foto: Sara Salehi

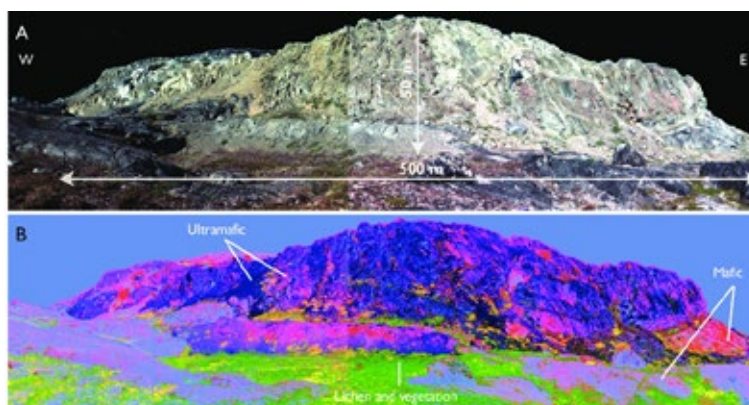
MANGE SLAGS FOTOS

Forskerne indsamler data i form af forskellige typer billedmateriale. De skal både bruge billeder af bjergsiderne taget med almindelige kameraer (kaldet RGB-billeder) og hyperspektrale fotos. Begge dele optages fra landjorden, fly, helikopter eller båd. Derudover bruger de satellitfotos.

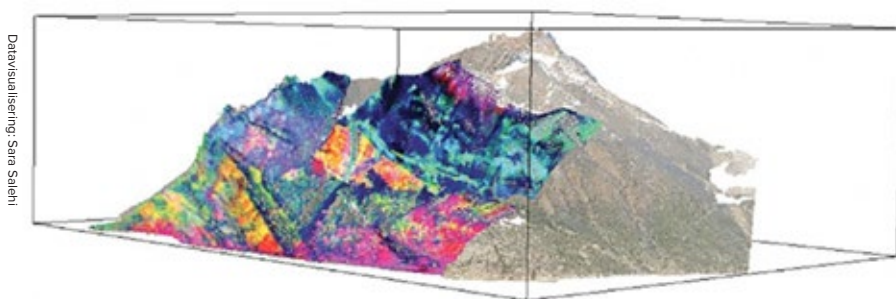
SE DET USYNLIGE!

De to billeder her til højre er samme motiv taget med et hyperpektralt kamera. Det opfanger bølgelængder fra bestemte typer infrarød stråling. Bølgelængden varierer fra bjergart til bjergart, og derfor kan forskerne skelne dem fra hinanden på et hyperspektralt foto. Dermed kan forskerne pludselig se, hvad klipperne består af – uden overhovedet at være i fysisk kontakt med dem.

Øverst er klippeformationen vist i almindelige farver, det vil sige de bølgelængder, vi kan se med vores øjne. Nederst vises de bølgelængder, som kameraet har optaget, men som vi ikke kan se. På klippeformationen træder forskellige bjergarter nu tydeligt frem i røde/pink og blå/lilla nuancer (ultramafic/mafic er magmatiske bjergarter). De grønne/gule nuancer er lav og anden vegetation, som dækker for klipperne og dermed i varierende grad blokerer strålingen fra den underliggende klippe.



Datavisualisering: Sara Salehi



3D-KORT OVER BJERGARTER OG MINERALER

Forskerne vil gerne have kortet af bjergsiden i 3D, da det giver en bedre fornemmelse af mineralernes udbredelse. På baggrund af RGB-fotooptagelser af klipperne fra flere vinkler (lavet ved f.eks. at sejle rundt om et stort bjergmassiv) genererer computeren en 3D-model af bjergsiden, som egentlig 'bare' er en frygtelig masse punkter i et rumligt koordinatsystem (tre akser). Fotomaterialet

indeholder (i form af gps-koordinater) information om, præcis hvor billederne er taget, og det samme gør de hyperspektrale fotos. Computeren kan så matche koordinaterne på de to slags billeder og regne ud, hvordan de passer i forhold til hinanden i bredden, højden og dybden. For at få 3D-kortet helt præcist tjekker forskerne, at særlige kendetegn som f.eks. klippefremspring er matchet korrekt på de to typer billeder. Man kan sige, at de hyperspektrale fotos er lidt som et stykke stof, der draperes over bjergsiden.

EN KUBE MED DATA

Den data, et hyperspektralt kamera indsamler, visualiseres i form af en såkaldt datakub. Klik ind på geoviden.dk, hvis du vil se, hvordan sådan en fætter ser ud og vide mere om, hvordan den er bygget op, og hvad den kan vise os.



KAN MAN PRINTE JORDEN I 3D? JA, DA!

Var det noget med en pangfarvet minimodel af Jorden? Så find den nærmeste 3D-printer, og download GEUS' opskrift, der ligger på onlineuniverset Thingiverse. Farverne bestemmer du selv, og vi siger bare: Det ser ret godt ud at sætte flere sammen og hænge dem op på væggen, som vi har gjort her på Geoviden-redaktionen. Jordkloden er baseret på digitale højdekort fra NASA Visible Earth. Scan QR-koden, og find den på www.thingiverse.com.

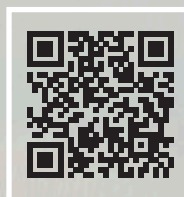


Foto: Geoviden



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
www.geus.dk



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

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

**geo
viden**

Udgiver: Geocenter Danmark

Ansvarshavende:
Kirstine Udenby, GEUS

Redaktør og skribent:
Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS

Design: Lykke Sandal, GEUS

Korrektur: Caroline Dea Rutter, GEUS

Tryk: Strandbygaard

Forsideillustration: GEUS

Eftertryk: Tilladt med kildeangivelse,
videresalg ikke tilladt

Kontakt: geoviden@geus.dk
www.geoviden.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

Undersøgelser 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.