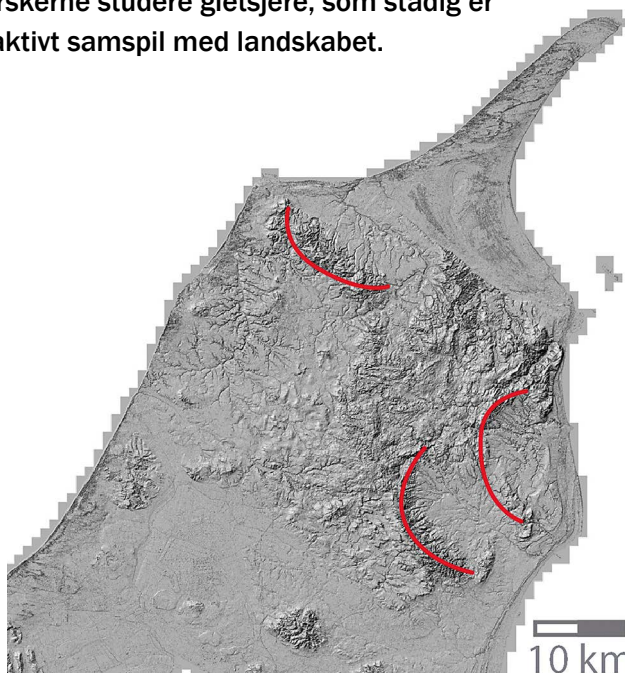


FORTID OG NUTID MØDES PÅ SVALBARD

Hvis man gerne vil opleve, hvordan det danske landskab kunne have set ud, da den seneste istid sluttede, er Svalbard et godt sted at besøge. Her kan forskerne studere gletsjere, som stadig er i aktivt samspil med landskabet.

Hvis du bor i Nordjylland, har du måske bemærket de stejle bakker og skrænter omkring Frederikshavn, eller hvis du bor i Aarhus, har du måske stærke lårmuskler takket være cykling op ad alle bakkerne omkring byen. Har du nogensinde undret dig over, hvorfor vi egentlig har så mange bakker i Danmark? Forklaringen findes tilbage i sidste istid, da Danmark var dækket af tykt lag is, der som en bulldozer skubbede rundt på en masse materiale og formede vores landskab. På et tidspunkt forsvandt al isen, og vi stod tilbage med det kuperede/bakkede landskab, som vi kender i dag. Hvordan det præcist foregik, og hvorfor al isen forsvandt, er svært at sige uden at rejse tilbage i tiden.

Tidsmaskiner findes endnu ikke, men man kan gøre noget andet for at forstå, hvordan det danske landskab er skabt, og hvordan gletsjere egentlig opfører sig i et klima under forandring. Det gælder om at finde et sted i verden, der ser ud, som Danmark gjorde under istiden. Grønland er en god analog, men øgruppen Svalbard, der ligger kun cirka tusind kilometer fra



Terrænmodel over Vendsyssel, hvor tre eksempler på randmoræner er vist med rødt. Kilde: Dataforsyningen

Nordpolen, er næsten endnu bedre. En fordel ved Svalbard er, at det er relativt let at komme derop med fly fra vores nabolands hovedstad (Oslo), og at der på Svalbard findes et universitetscenter, hvor man kan indskrive sig som studerende og dermed få adgang til en masse arkiver med gammelt materiale fra tidlige ekspeditioner til øgruppen.

Jeg studerede på Svalbard fra 2013-2016, og i løbet af min tid deroppe var jeg ude på mange gletsjereventyr og lærte meget om, hvordan gletsjerne opfører sig, når verden bliver varmere, og hvordan

de former et landskab. Denne artikel handler om min yndlingsgletsjer: Nordenskiöldbreen.

Hvad skete der med Nordenskiöldbreen?

I 2013 fandt jeg et i et arkiv på universitetsbiblioteket på Svalbard et gammelt kort over Nordenskiöldbreen. Gletsjeren ligger i Adolfbukta inderst i Billefjorden på Svalbard. Det er en meget smuk gletsjer, og den kælder højlydt, det vil sige, at der brækker større eller mindre stykker af, flere gange hver dag. Det gamle kort befandt sig i en over hundrede år gammel bog fra 1910

Om forfatteren



Lis Allaart er geolog
lis.allaart@glacialis.net
Fra august bliver hun ansat ved GEUS samt ved Institut for Geoscience, Aarhus Universitet.



Sydsiden af Adolfbukta. Personen midt i billedet står på spor efter gletsjeren: lave, aflange rygge og store sten, som er spredt ud over landskabet. De lave rygge er dannet under isen, mens de store sten blev transporteret inde i eller på gletsjerens overflade, da den bevægede sig frem. I baggrunden ses en mørk gletsjerfront: Sand, grus og sten er skredet ned på gletsjeren længere inde i landet og er blevet transporteret med gletsjeren ud til Adolfbukta. Foto: Lis Allaart

skrevet af ekspeditionslederen Gerard de Geer, der havde været på flere ekspeditioner rundt omkring det dengang stadig relativt ukendte Svalbard. På kortet var der tegnet to forskellige frontpositioner til gletsjeren, en fra 1896 og en fra 1908. Jeg ledte videre i arkivet og fandt også et par luftfotos af det samme område, men de var fra 2009 og dermed næsten hundrede år yngre. Ved første øjekast så der ud til at være stor forskel på gletsjerfrontens position fra 1896 til 2009.

På flybillederne fra 2009 bemærkede jeg endvidere nogle mærkelige, aflange striber i landskabet foran gletsjeren på begge sider af bugten. Striberne havde retning omtrent fra øst mod vest. Mod vest endte striberne i en stor, bueformet ryg nærmest vinkelret på striberne. Alle disse observationer gjorde mig mistænksom, og en ny mission startede for gletsjerdetektiven: Hvad var der mon sket med Nordenskiöldbreen fra 1896 og frem til i dag?

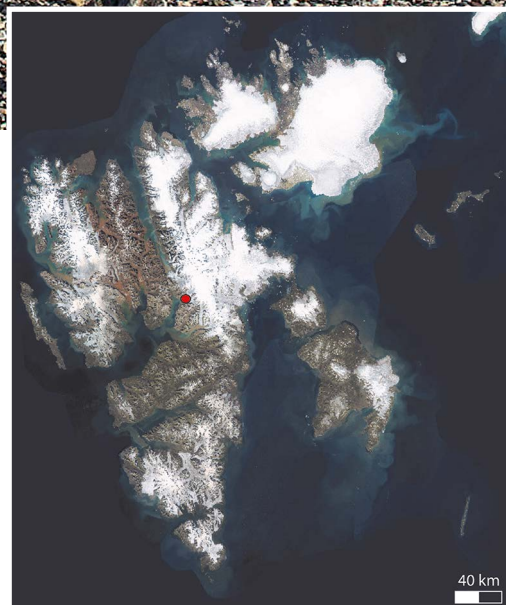
Samlede alle flybilleder

Først samlede jeg alle de luftfotos, gamle kort og satellitbilleder, som jeg kunne finde af Nordenskiöldbreen.

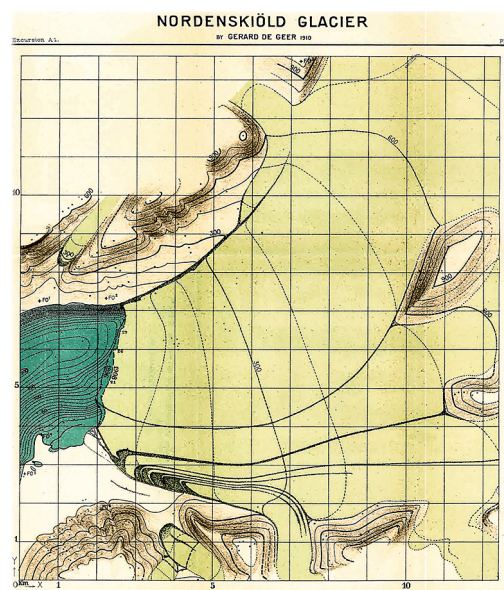
en. Jeg fandt også en scanning af fjordbunden fra 2009. Alle dataene analyserede jeg med mit gletsjerdektivværktøj: ArcMap – et program hvor man kan arbejde med stedfæstet data og lave kort. Først lagde jeg et almindeligt topografisk kort af Adolfbukta og Nordenskiöldbreen, som jeg fik af Norsk Polarinstitut, ind som baggrundskort. Derefter importerede jeg alle flybilleder og scanninger af de gamle kort et efter et og lagde dem ovenpå baggrundskortet. Indimellem måtte jeg justere kortene/billederne lidt ved at vælge nogle faste punkter på dem og så strække dem i forhold til baggrundskortet, sådan at alle kort/billeder blev lige store og passede med baggrundskortet. Dette kaldes at georeferere.

Da alle kort og billeder endelig lå korrekt, tegnede jeg en linje langs gletsjerfronten på hvert billede/kort. Hver "ny" front befandt sig længere og længere mod øst. I alt blev det til otteogtyve forskellige gletsjerfrontpositioner.

Senere satte jeg scanningen af fjordbunden og flybillederne fra 2009 sammen i ArcMap. Jeg stu-



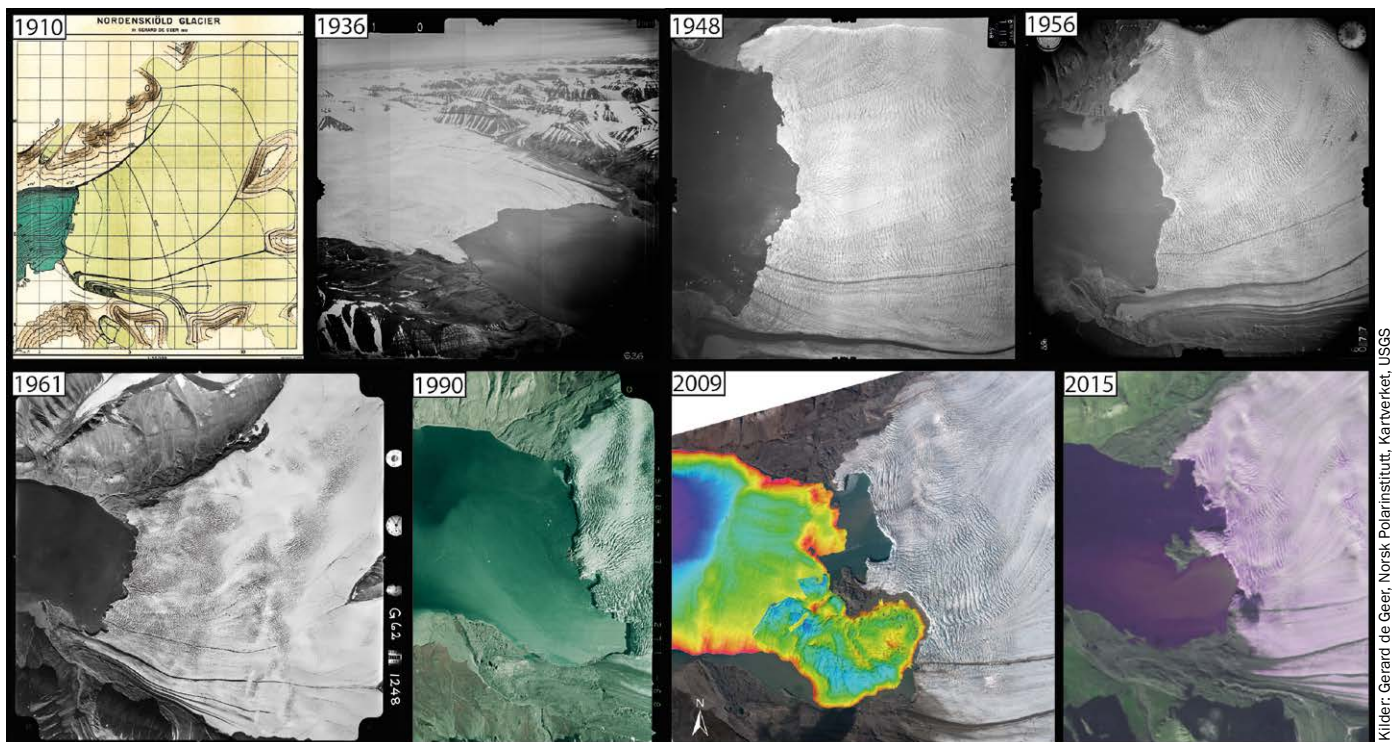
Satellitbillede af Svalbard. 60 % af landskabet er i dag dækket af is og gletsjere. Den røde prik midt i billedet viser, hvor Nordenskiöldbreen ligger.



Kort over Nordenskiöldbreen optegnet af Gerard de Geer i 1910. Det gulgrønne område er gletsjere, det brune er bjerge, det hvide er sletter og det blågrønne er fjorden.

Kilde: toposvalbard.npolar.no

Kort: Gerard de Geer 1910



Kilder: Gerard de Geer, Norsk Polarinstittut, Kartverket, USGS

Historisk og nyere materiale dokumenterer gletsjerens tilbagetrækning. Fra 1896 til 2015 er Nordenskiöldbreen smeltet 2,3 – 3,5 km tilbage.

Korrigerig af flybilleder

Prøv at tage et billede af noget ovenfra – der sker noget med størrelsesforholdet af tingene på billedet. For at kunne bruge et flybillede som baggrund for kortlægning, er størrelsesforholdet mellem det højeste og laveste punkt på flybilledet nødt til at være ens, ellers bliver kortet forkert og høje bjergtoppe vil ende med at tage meget mere plads, end de egentlig skal. Flybilledet korrigeres for dette og processen kaldes opretning/orthoprojektion og udføres i dag ved hjælp af et billedbehandlingsprogram på en computer.

derede flybillederne og havbund-scanningen nøje og identificerede mange forskellige landskabsformer alle dannet af gletsjere. I ArcMap findes der også forskellige tegnefunktioner, og jeg tegnede alle de forskellige landskabsformer op til et samlet kort over fjordbunden og landskabet (på land). Et sådant kort kaldes et geomorfologisk kort.

Datering med ^{14}C -metoden

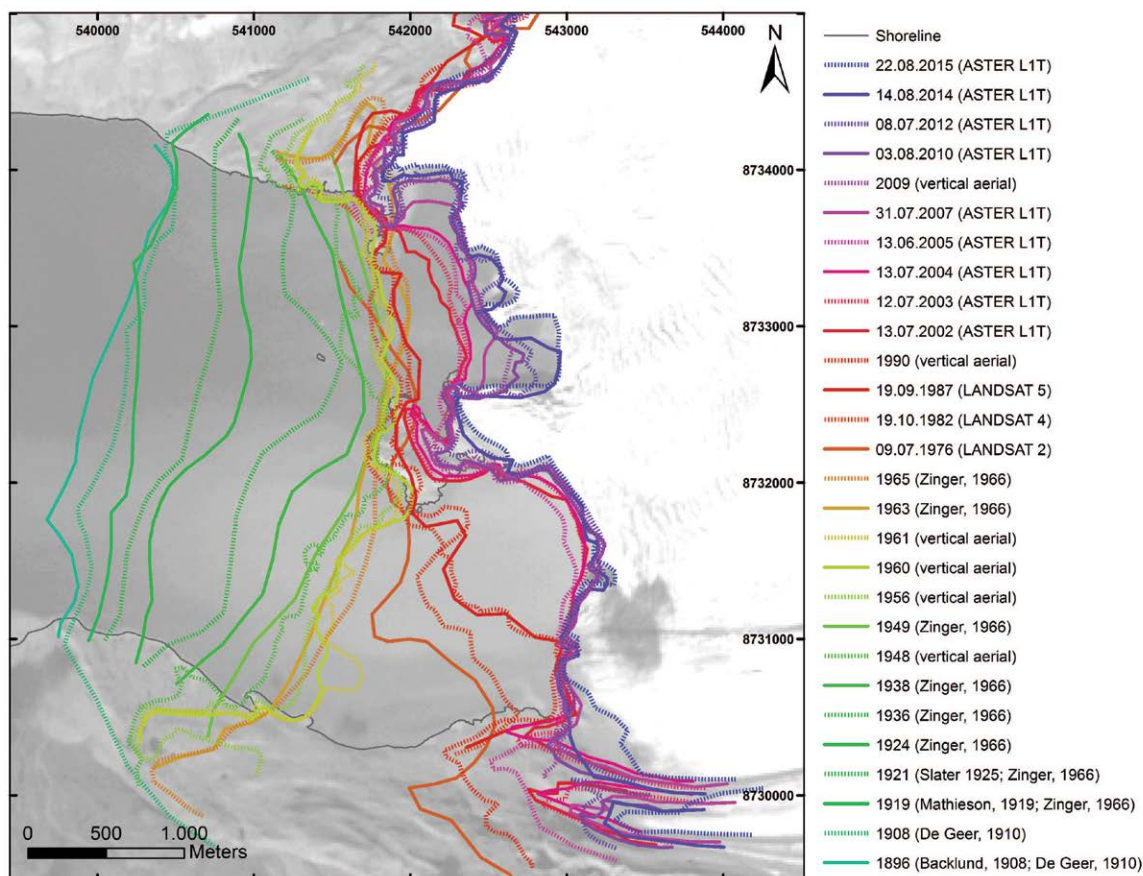
I atmosfæren findes tre forskellige isotoper af kulstof ^{12}C , ^{13}C og ^{14}C . De to første er stabile, men ^{14}C er radioaktiv og henfalder med en halveringstid på 5730 år. Dette kan man udnytte til at aldersdatere materiale, der engang har været levende. Levende organismer udveksler CO_2 med atmosfæren og afspejler derfor også det aktuelle ^{14}C -indhold i atmosfæren. Så længe en plante, et dyr eller et menneske er levende, vil forholdet mellem antallet af de forskellige isotoper være stabilt. Optagelsen af ^{14}C ophører, når organismene dør, hvorefter indholdet af ^{14}C langsomt vil aftage i takt med, at ^{14}C -atomerne henfalder til kvælstof-atomer. Ved at måle den tilbageværende mængde af ^{14}C i forhold til mængden af de andre kulstofisotoper, kan man således regne sig frem til, hvor gammelt materialet er og på den måde for eksempel bestemme en maksimumalder for en landskabsform, man har fundet materialet i.

Da forholdet mellem kulstofisotoperne i atmosfæren varierer en smule over tid, har man konstrueret en universel kalibreringskurve over sammenhængen mellem de målte ^{14}C -aldre og de kendte kalenderaldre. Den er baseret på målinger af ^{14}C i træringe, der rækker mere end 12.000 år tilbage i tiden.

Rekonstruktion af klimahistorien

For at kontrollere at det digitale kort stemte med virkeligheden, planlagde jeg en feltinspektion til Nordenskiöldbreen i august 2014. Heldigvis havde to gletsjerdetektiv-kollegaer lyst til at tage med.

Hen over ti dage undersøgte vi landskabet på den nordlige side af Adolfbukta, tjekkede kortet, fotograferede landskabsformerne, holdt isbjørnevagt og udvalgte et par af de aflange rygge og gravede tværsnit i dem. I tværsnittene kunne vi se forskellige lag af sediment (sand, ler, grus), og der dukkede også nogle muslingskaller op i nogle af lagene. Dette var meget overraskende, fordi det materiale, vi



Satellitbillede fra 2015 af Adolfbukta og Nordenskiöldbreen med alle de otteogtyve rekonstruerede gletsjerfrontpositioner for Nordenskiöldbreen fra 1896 til 2015. Satellitbillede: USGS 2015

gravede i, lå femogtyve meter over dagens havniveau og mindst firehundrede meter fra den nuværende kyst. Sydsiden af Adolfbukta blev undersøgt i 2015, og det geomorfologiske kort blev færdiggjort i løbet af efteråret 2015.

Da vi kom tilbage fra ekspeditionen, fik vi dateret nogle af skalfragmenterne med ^{14}C -metoden (kulstof-14-metoden), og skalfragmenterne viste sig at være omkring ti tusind år gamle. Baseret på vores observationer fra tværsnittene, det udarbejdede geomorfologiske kort og dateringerne af skalfragmenterne, kunne vi rekonstruere områdets klimahistorie og Nordenskiöldbreenens historie fra sidste istid og frem til i dag.

Striberne i landskabet stammer fra, da isen bevægede sig fremad, og de forskellige sedimentlag fortæller, at den har gjort det flere gange siden slutningen af sidste istid. Striberne er dannet under isen

og fortæller desuden, at gletsjeren ikke var frossen til bund, men derimod kunne glide ubesværet over området. Muslingskallen, som vi fandt inde i en af striberne, fortæller, at der for omkring ti tusind år siden var højere havniveau, og at gletsjerfronten faktisk stod længere tilbage mod øst, end den gør på nuværende tidspunkt. Den buede ryg for enden af striberne er en randmoræne og viser, hvor gletsjeren stoppede op sidste gang. Den er skabt af materiale, som isen har bulldozet op foran sig. Hvis man kigger på de Geers historiske kort over Nordenskiöldbreen, kan man se, at positionen på randmorænen stemmer med positionen for gletsjeren i 1908. De mange store sten, der ligger spredt overalt i landskabet foran Nordenskiöldbreen, blev fragtet inden i eller ovenpå selve gletsjerisen og er blevet "lagt" direkte på de andre landskabsformer, da gletsjeren smeltede tilbage.

Man ved, at klimaet for cirka



Inde i de aflange rygge i landskabet fandt vi en del skalfragmenter af flere muslingskaller. Ved hjælp af ^{14}C -metoden blev disse bestemt til at være omkring ti tusind år gamle. Foto: Nina Friis

10.000 år siden var naturligt varmt, fordi den nordlige halvkugle på grund af egenskaberne ved jordens bane omkring Solen og rotationsaksen hældning (som varierer over tid beskrevet ved de såkaldte Milankovitch-cykler) modtog mere solindstråling per kvadratmeter, end den gør i dag. Den naturlige opvarmning



Tydelige gletsjerspor i form af aflange, lavryggede striber ses i landskabet både på den nordlige og sydlige side af Adolfbukta. Foto: Nina Friis

skete gradvist over flere tusind år og peakede for cirka 10.000 til 8.000 år siden. Vores fund ved Nordenskiöldbreen (at gletsjeren da var mindre og havniveauet var højere) stemmer godt overens med det naturligt varme klima.

Formen på de otteogtyve gletsjerfrontpositioner indikerer, at isen trækker sig hurtigere tilbage, der hvor den har vand under sig. Gletsjeren er derfor meget følsom overfor havniveauanstigninger og temperaturændringer i vandet. Mange andre gletsjere på Svalbard har, akkurat som Nordenskiöldbreen, også en kombineret front (de har både land og vand under sig) og har opført sig på samme måde. Kortet, som er produceret i løbet af denne

detektivmission, kan danne basis for fremtidige undersøgelser af ændringer i landskabet som resultat af den globale opvarmning. Det store spørgsmål er stadig, hvor hurtigt Nordenskiöldbreen vil smelte tilbage i løbet af de næste hundrede år?

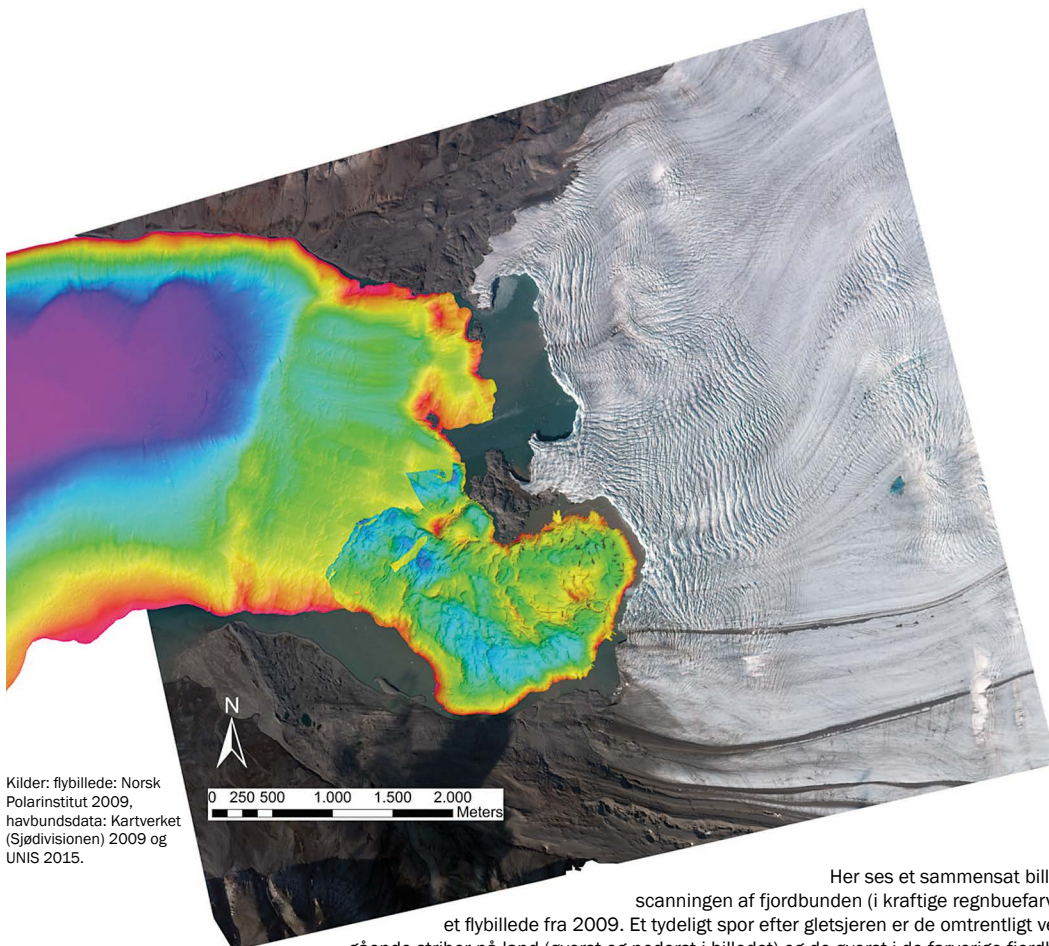
Hvad så med Danmark?

Bakkerne omkring Frederikshavn og Aarhus blev skabt under et isfremstød for cirka 19.000 år siden og er dannet på samme måde som den buede ryg (for enden af de aflange striber mod vest) ved Nordenskiöldbreen. Begge sæt landskabsformer er randmoræner skabt af, at isen har bulldozet materiale op foran sig. Landskabsformer som de aflange striber, som ses ved Nordenskiöldbreen mellem randmorænen og da-

gens gletsjerfront, er generelt svære at finde i Danmark i dag, fordi de ofte er mindre, og derfor hurtigere bliver eroderet væk af vind og vejr. Ved Nordenskiöldbreen er det kun lidt mere end hundrede år siden, at isen dækkede hele landskabet og senest byggede på ryggene, og de står derfor tydeligt frem stadigvæk. På Lolland og Falster findes der dog nogle danske giganteksempler på aflange rygge, som stammer tilbage fra istiden, men som stadig er synlige i dag. Isdækket, som formede Danmarks landskab under sidste istid, forsvandt også på grund af den tiltagende solindstråling og deraf følgende opvarmning. Ændringerne i solindstråling følger en naturlig cyklus, og siden peaket for 10.000 til 8.000 år siden har vi bevæget os ganske sagte tilbage mod mindre solindstråling per kvadratmeter og skulle derfor alt andet lige gå mod et køligere klima. Udover solindstrålingen er der dog også en masse meget følsomme feedback-mekanismer i vores klimasystem (albedo, drivhuseffekten, hvor meget varme havet absorberer, osv.), der påvirker hvordan det reelle klima er, og hvordan jorden responderer på variationen i solindstråling. Det er disse processer, vi er i fuld gang med at påvirke med CO₂-udslip, afskovning

Alexander (feltassistent) står på randmorænen ved Nordenskiöldbreen. Ryggen fortsætter ned til kysten (midt i billedet). Foto: Lis Allaart





Kilder: flybillede: Norsk Polarinstitut 2009, havbundsdata: Kartverket (Sjødivisionen) 2009 og UNIS 2015.

Her ses et sammensat billede af scanningen af fjordbunden (i kraftige regnbuefarver) og et flybillede fra 2009. Et tydeligt spor efter gletsjeren er de omtrentligt vest-øst gående striber på land (øverst og nederst i billedet) og de øverst i de farverige fjordbundsdata. Et andet tydeligt spor er de ujævne rygge i nord-syd gående retning på fjordbunden.

med mere, således at klimaet reelt bliver varmere, på trods af, at vi langsomt burde bevæge os mod et kølligere klima.

Ved at undersøge landskabet på

Svalbard har jeg lært mere om, hvordan en gletsjer ændrer sig og former landskabet som følge af klimavariationer. Du kan selv prøve at tage "gletsjerbrillerne" på, næste gang du befinder dig i et bakket

landskab i Danmark. Se på bakkerne og luk derefter øjnene og forestil dig en hundrede meter høj væg af is, der står på den ene side af bakkerne og presser sand, ler og grus op med et næsten usynligt tempo. ■

Videre læsning

Rejs selv til Svalbard ved hjælp af hjemmesiden: toposvalbard.nplar.no og gå på opdagelse i et moderne istidslandskab (ved at højreklikke kommer flybilledversionen frem).

Om Milankovitch-cykler: Tre cykler, sommer og en istid: *Aktuel Naturvidenskab* nr. 3-2007.

Om ^{14}C -metoden: Isotoper fortæller om fortidens kost: *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4-2008

Nu kan du booke en lærerig ud-af-klassen-oplevelse

Hvis du underviser i Matematik, Fysik, Kemi, Bioteknologi eller Biologi, kan du benytte dig af vores mange undervisningsforløb, som er tilrettelagt til at supplere gymnasiernes kernestof.

Hvert år har vi besøg af hundredvis af gymnasieelever, der dykker ned i emner som:

- **Mikroplastik i havet**
- **Havets bæredygtige fødevarer**
- **Uendelighedsbegrebet**
- **Idé til pille – prøv at udvikle et lægemiddel**
- **Matematiske modelleringsforsøg med M&M's**

Læs mere om forløbene og book på sdu.dk/brobygning

Du kan også booke ved at kontakte brobygningskoordinator Allan Haurballe Madsen på tlf. 65502988 eller alhm@sdu.dk

