



# Satellitterne spotter den smeltende is

Foto: Jeppe K. Malmros

*Billeder fra Landsat-satellitterne, der siden 1972 har fotograferet Jorden, har vist sig som en værdifuld kilde til information om, hvordan gletschere i afsides beliggende områder i Arktis har forandret sig gennem tiden.*

Af Jeppe K. Malmros og Sebastian H. Mernild

■ For tiden er den globale havniveaustigning i gennemsnit på omkring 3,2–3,3 millimeter om året. En del af denne stigning skyldes smeltende gletscheris på grund af et varmere klima. Det største gletscherbidrag til havniveaustigningen kommer mod forventning ikke fra hverken indlandsisen eller det antarktiske isskjold – de største ismasser i verden – men derimod fra lokale gletschere og isskjolde. Bidraget til det globale havniveau fra sådanne lokale gletschere og isskjolde udgør alene mere end en tredjedel af den

samlede årlige havniveaustigning.

I Arktis alene forekommer to-tredjedele af klodens gletschere og isskjolde – hovedparten er beliggende i det østlige Canada, arktiske Rusland og i Grønland. F.eks. findes i Grønland udenfor Indlandsisen tusindvis af mindre lokale gletschere og iskapper, som vi har et yderst begrænset kendskab til. De fleste af disse ligger nemlig i utilgængelige egne, hvor det er yderst vanskeligt at udføre feltarbejde med direkte observationer af isens udbredelse og tilstand.

I vores bestræbelser på at kortlægge disse utilgængelige gletschere og deres forandringer gennem de sidste årtier har vi i et nyt studium taget et “nyt” værktøj i brug – nemlig billeder fra det amerikanske satellit-program Landsat.

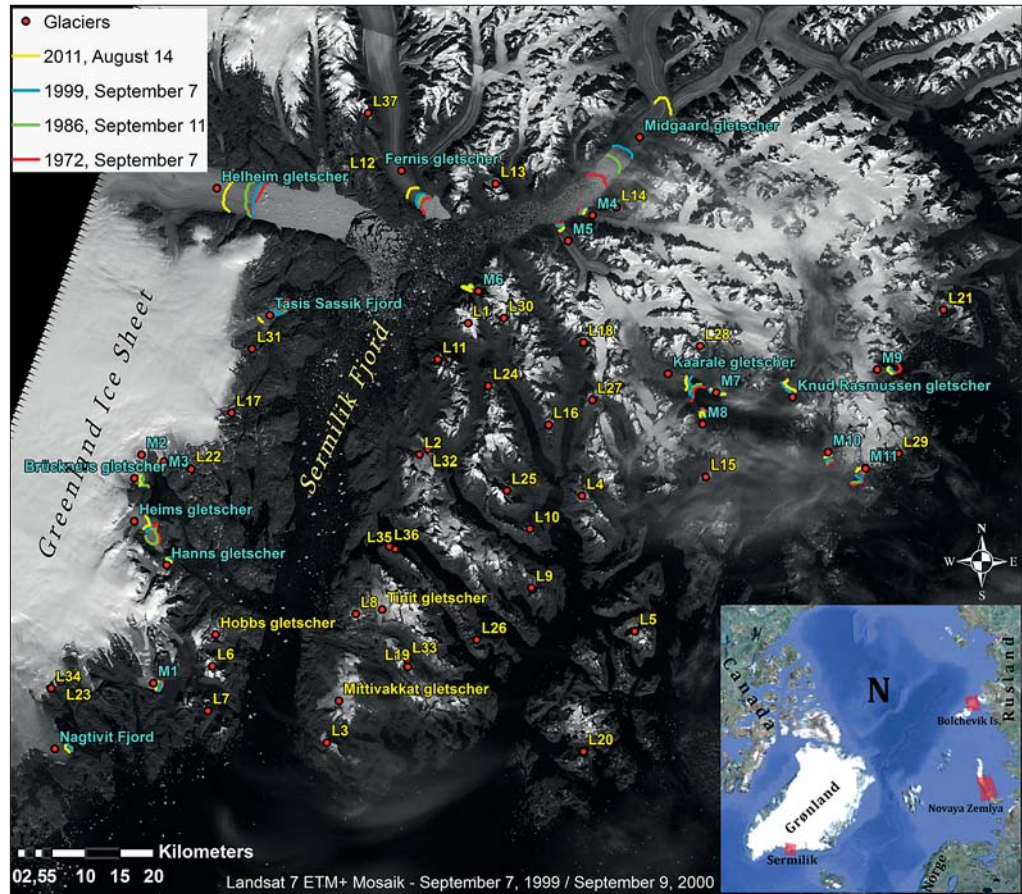
#### **Landsat-satellitten**

Landsat-satellitterne er ikke just nogen nyhed, idet dette jordobservationsprogram har opereret siden 1972. Billeder derfra er dog ikke tidligere i større omfang blevet analyseret systematisk med det formål at

kortlægge forandringer i lokale gletschere. Satellitbillederne er faktisk meget velegnede til formålet, og de kan være de eneste brugbare kilder til information, når det gælder afsides beliggende områder.

Landsat-billeder dækker enorme områder. F.eks. er Danmark dækket af blot to Landsat-scener. Satellitobservationerne gør, at man kan spotte ændringer på jordoverfladen mere effektivt og langt billigere, end hvis man skulle foretage observationerne på stedet eller fra fly. Landsat-satellitterne kredser om

Figur 1. Oversigtskort over Sermilik Fjord regionen i Østgrønland med placeringen af de 35 lokale gletschere (markeret med gul farve), de 21 udløbsgletschere (tyrkis farve) samt den del af indlandsisranden, der er undersøgt. På oversigtsfiguren (nederst til højre) ses placeringen af Sermilik Fjord regionen, Bolchevik og Novaya Zemlya.



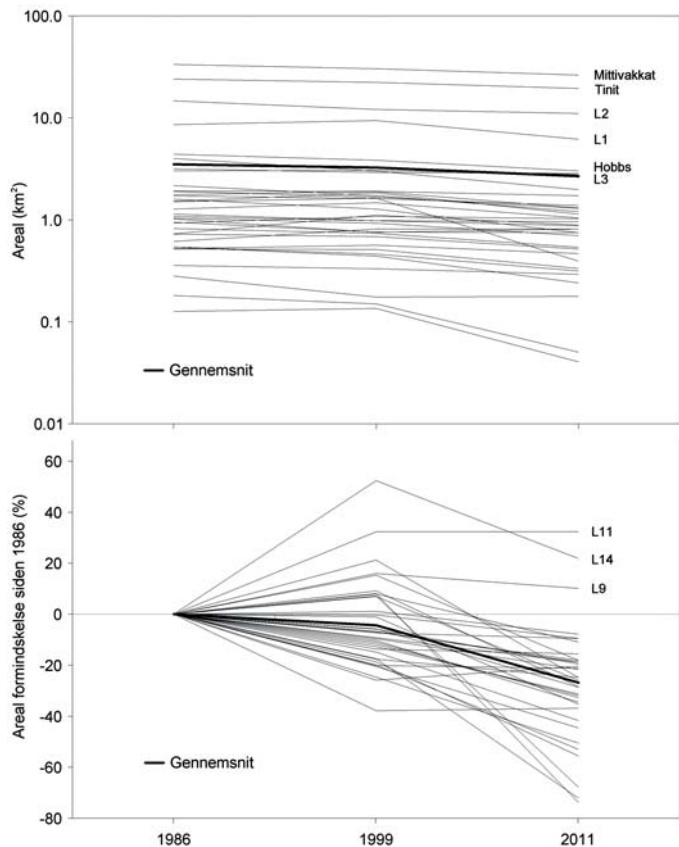
Jorden i en bane, der går over begge poler, og tager billeder af hele kloden hver 15. til 16. dag så langt nordpå som 82°N. Sensorerne på Landsat-satellitten er multispektrale, hvilket vil sige, at de er inddelt i flere farvebånd (spektra). For eksempel har Landsat 7 ETM Plus otte bånd (blå, grøn, rød, nær infrarød, kortbølge infrarød, termisk, mellem infrarød og pancromatisk). De mest anvendte bånd har en horisontal pixelopløsning på 30 meter, mens det pancromatiske bånd har et bredere spektrum og derfor kan præsentere en pixelopløsning på 15 meter. Fordi Landsat-programmet har opereret siden 1972, giver det os mulighed for at beskrive udviklingen af gletschere i de polare egne i en tidlig og størrelsesmæssig skala, som ellers ikke ville have været mulig.

### Genkendelse af is på satellit-billeder

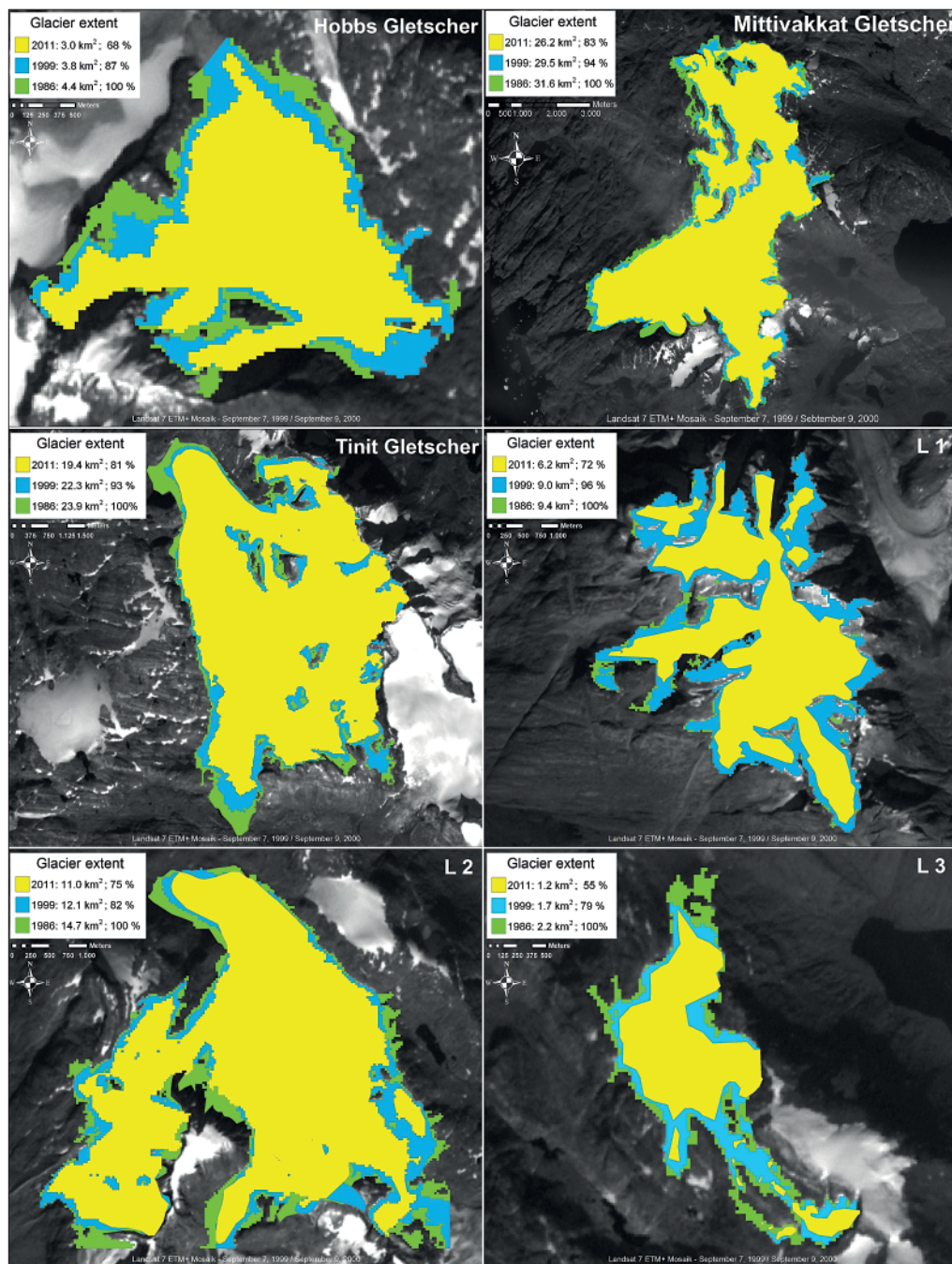
Jordens forskellige overfladetyper kan klassificeres som værende f.eks. is, vegetation,

vand og jord ved at kombinere data fra de forskellige farvebånd, da de reflekterer og absorberer solens stråling på forskellig vis. For at klassificere gletscherne har vi anvendt en række indekser, som udnytter disse forskelle. Den mest anvendte indekseringsmetode er NDSI (Normalized Difference Snow Index), som udnytter, at sne reflekterer næsten alt indgående stråling i det synlige spektrum og absorberer stråling i det nærinfrarøde spektrum. Fejlklassifikation kan forekomme. Specielt søer med nærliggende vegetation ses ofte klassificeret som is. For at minimere denne fejlklassifikation har vi anvendt to andre indekser – dels et vandindeks, der udnytter forskellen mellem det synlige og infrarøde-spektrum – og dels et vegetationsindeks, som udnytter, at planter absorberer infrarød stråling, mens de reflekterer strålingen i det røde spektrum.

De automatiserede klassifikationer er ikke perfekte, hvorfor det er nødvendigt manuelt at gennemgå data før en endelig klassifikation ligger klar. I stu-



Figur 2. Tilbagegang i arealet for de 35 observerede gletschere i Sermilik Fjord regionen siden 1986, angivet i absolutte ( $\text{km}^2$ ) og relative værdier (%). De seks gletschere markeret på den øverste figur er vist på figur 3.



Figur 3. Eksempel på arealtilbagegang af seks forskellige lokale gletschere i Sermilik Fjord regionen. Den geografiske placering af de enkelte gletschere ses på figur 1.

diet her er der anvendt satellitbilleder fra 1986, 1999 og 2011.

### Gletscher-tilbagegang

På baggrund af satellitbilledanalyse har vi kortlagt arealudviklingen af en række gletschere og iskapper i Østgrønland og i det arktiske Rusland (bl.a. på øerne Bolchevik (80°N) og Novaya Zemlya (75°N)). Kriterierne for udvælgelsen af lokale gletschere og iskapper har været, at de ikke er i kontakt

med havet og dermed ikke er under indflydelse af oceanografiske forhold, men kun under indflydelse af den atmosfæriske påvirkning.

I Østgrønland, i regionen omkring Sermilik Fjorden (65°N), viser vores observationer af 35 gletschere (i størrelsesordenen fra cirka 0,1 km<sup>2</sup> til 31 km<sup>2</sup>), at de i gennemsnit har mistet omkring en fjerdedel (27 %) af deres areal siden 1986 – enkelte dog op imod 70

km<sup>2</sup> til 127 km<sup>2</sup> på Bolchevik 9 %, mens den var 15 % for 21 observerede gletschere og iskapper fra 3,6 km<sup>2</sup> til 132 km<sup>2</sup> på Novaya Zemlya. For Bolchevik og Novaya Zemlya havde henholdsvis 30 % og 5 % af de observerede gletschere og iskapper arealtilvækst. At gletscherne gennemsnitligt er skrumpet mindre i de to områder i arktisk Rusland end i Østgrønland skyldes kombinationen af deres noget nordligere geografiske beliggenhed nær Ishavet og et anderledes regional-klima.

På grund af de ensartede temperaturvariationer i Øst- og Sydøstgrønland som helhed, kan vi konkludere, at de gletscherforhold, vi har observeret ved Sermilik Fjord regionen, formodentlig er repræsentative for en bredere region indeholdende hundredevis af gletschere og iskapper.

### Indlandsisen på skrump

Indlandsisens rand og dennes udløbsgletschere er ligeledes skrumpet gennem de seneste årtier. I Sermilik Fjord – regionen har vi på baggrund af satellitbillederne kortlagt samtlige 21 udløbsgletschere, inklusive Helheim, Fenris og Midgård (figur 1). De viser den kraftigste gennemsnitlige tilbagetrækning på omkring 100 meter om året for perioden 2000–2010 – en tilbagetrækning, der er omkring det dobbelte sammenlignet med tidligere årtier.

Tendensen ved Sermilik Fjord regionen er ligeledes kendetegnet for indlandsisens 210 kortlagte udløbsgletschere, hvor den gennemsnitlige tilbagetrækning for de sidste 10 år var på 110 meter om året. Eksempelvis trak alene Midgård-gletscheren sig omkring 350 meter tilbage om året, hvilket har betydet, at Midgård siden 1972 har trukket sig mere end 14 kilometer tilbage op gennem en af sidefjordene (figur 1). Tilbagetrækningen af disse udløbsgletschere menes at skyldes forekomsten af varmere oceanisk dybde- og bundstrømmende havvand ind i fjordene kombineret med et varmere klima; årtiet (2001–2010)



Foto: Jeppe K. Malmros

Gletscherranden og -porten ved Mittivakkat gletscheren.

sluttede som det varmeste årti i den ca. 150 år lange periode, hvor systematiske temperaturmålinger har fundet sted.

Den del af indlandsisens rand, som er beliggende på land imellem udløbsgletscherne, har ligeledes over de seneste årtier trukket sig tilbage. For Sermilik Fjordregionen var randtilbagetrækningen for indlandsisen i gennemsnit 26 meter om året i det seneste årti og betydeligt lavere i forudgående årtier, omkring 10 meter om året. Tilsvarende frontværdier er observeret for indlandsisens rand omkring Jakobs-havn-Isbræen i Vestgrønland.

### Flere satellit-undersøgelser i fremtiden

Undersøgelserne er en del af et transatlantisk forskningsprojekt, hvor satellitbilleder i kombination med computersimuleringer af isdynamiske forhold er anvendt til at bestemme bidraget til det stigende havniveau fra arktiske gletschere og iskapper. Vi har ud fra en empirisk sammenhæng mellem arealet af gletscherne og deres volumen beregnet, hvor stort et volumen is, der er forsvundet (se boks). Beregningerne viser, at de 35

## Fra gletcherareal til -volumen

Gletscherarealet er en af de nemmeste gletscherparametre at måle, mens det er betydeligt sværere at måle deres volumen. Globalt er det mindre end 200 gletschere, som har fået opmålt deres volumen. Derfor udregner man ofte gletscherens volumen ud fra en empirisk – dvs. iagttagelsesbaseret – sammenhæng mellem deres areal og volumen. Her bruger man formlen:  $V = kA^\gamma$ ; hvor  $V$  er volumen,  $A$  er areal samt  $\gamma$  og  $k$  er empiriske konstanter. For Mittivakkat Gletscheren (figur 3) har den observerede volumenreduktion siden 1986 været 34 %, og til sammenligning var reduktionen bestemt til 31 % ud fra empirien.

gletschere i det østgrønlandske område i gennemsnit har mistet en tredjedel af deres volumen. Til sammenligning var det gennemsnitlige volumentab for de observerede gletschere på Bolchevik og Novaya Zemlya hhv. 11 og 19 %.

Senest med opsendelsen af ESA's Cryosat-2 og NASA's Ice-sat har vi ligeledes mulighed for at estimere meget præcise værdier for volumentabet på gletschere og iskapper ud fra satellitdata alene. Dette vil ske på baggrund af kombinationen mellem arealudmåling og præcise vertikale gletscherændringer

bestemt fra satellitterne. I fremtiden vil det give os mulighed for at lave endnu bedre modeller til simulering af gletscherændringerne i polare egne, da de netop kan valideres mod observationer fra rummet.

NASA har planer om at sende en ny Landsat-satellit i omløb i december 2012 (Landsat 8), og da anvendelsen af satellitbilleder er en nem og billig måde at tilvejebringe gletscherinformationer fra afsidesliggende områder på, vinder brugen af satellitbilleder mere og mere frem inden for forskningen i gletscherforhold. ■

### Om forfatterne



Jeppe K. Malmros er naturgeograf (cand. scient.) fra Institut for Geografi og Geologi, Københavns Universitet. [jkmalmros@gmail.com](mailto:jkmalmros@gmail.com)



Sebastian H. Mernild er klima- og polarforsker (ph.d.) ansat ved Climate, Ocean, and Sea Ice Modeling Group, Dep. of Computational Physics and Methods, Los Alamos National Laboratory, USA, og contributing author på den kommende FN klimarapport. [mernild@lanl.gov](mailto:mernild@lanl.gov)

### Videre læsning

<http://landsat.usgs.gov>

Bahr, D. B. 2011. Estimation of glacier volume and volume change by scaling methods, 278–280. I *Encyclopedia of snow, ice, and glaciers*, Ed. V. P. Singh, P. Singh, and U. K. Haritashya. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1253.

Howat, I. M. og Eddy, A.: Multi-decadal retreat of Greenland's marine-terminating glaciers, *Journal of Glaciology*, 57, 389–396, 2011.

Mernild, S. H. m.fl. 2012. Multi-decadal marine and land-terminating glacier retreat in Ammassalik region, Southeast Greenland. *The Cryosphere Discussion*, 6, 531–561, doi:10.5194/tcd-6-531-2012.

Mernild, S. H. m.fl. 2012. Velocity and volume recession at Mittivakkat Gletscher and adjacent glaciers, Southeast Greenland, during recent decades. *The Cryosphere Discussion*.