

# Når isen “går i sort”

Gletscherisen i Grønland er blevet mørkere. Det er med til at øge afsmeltningen af gletscherne, da de på grund af den mørkere overflade reflekterer mindre af solens stråling tilbage ud i verdensrummet.

Siden 1850 er klodens gennemsnitstemperatur steget med cirka 0,8 grader celsius – det første årti i det nye årtusinde var i gennemsnit det varmeste i den hen ved 150-årige periode, hvor systematiske temperaturmålinger har fundet sted. Også i Grønland var det første årti i det nye årtusinde det varmeste, og det var samtidig det årti, hvor de fleste ekstreme varmetemperaturhændelser fandt sted. Effekten af det varmere klima har sat sine klare spor på gletscherisen i Grønland. En kombination af bl.a. en højere beliggende snelinje, tiltagende algevækst, luftbårne aerosoller fra fossile brændstoffer og sod fra naturlige skovbrande i Alaska, Canada og Sirbien, der er ført med vindsystemerne rundt i Arktis, har således gjort gletscheroverfladerne mørkere siden år 2000.

Effekten af en mørkere is- og sneoverflade er ikke uden betydning. Den mørkere overflade medfører, at gletscherne i fx indlandsisens randområde bliver dårligere til at reflektere solens stråler tilbage ud i verdensrummet og i stedet bedre til at optage solvarmen, da mørke flader absorberer solens stråler lettere end lyse flader.

Forholdet mellem mængden af solenergi, der reflekteres, og mængden, der rammer jordoverfladen, kan videnskabeligt udtrykkes som *albedo*. Et fald i albedo kan karakteriseres som en *positiv feedback multiplikator*. Det vil sige, at et fald i albedo forstærker en proces, der i forvejen er selvforstærkende. Vi kan altså forvente, at de mørkere gletschere vil medføre en tiltagende afsmeltning og dermed tab af ismasse.

## Grønland under lup

De grønlandske gletschere beliggende i indlandsisens randområde – mellem indlandsisen og oceanet – er blevet sat under lup, da størstedelen af smeltvandsbidraget til den globale havniveaustigning for tiden kommer fra gletschere. Det kan synes paradoksalt, da gletschere rundt om i verdenen kun udgør en potentiel global havniveaustigning på 0,6

meter. Til sammenligning udgør Indlandsisen og det Antarktiske Is skjold en potentiel global havniveaustigning på henholdsvis 7,4 meter og 56 meter. At de langt mindre gletschere alligevel leverer mest smeltvand til oceanerne skyldes ikke overraskende, at gletschere netop på grund af deres mindre størrelse har en hurtigere tilpasningsevne – kortere responstid – i forbindelse med forandringer i klimaet end de større is skjolde.

I Grønland findes en betydelig andel af klodens samlede gletschere. Her er tale om ca. 20.000 gletschere, som vi har et yderst begrænset kendskab til hvad angår albedo og massebalance, da hovedparten af gletscherne ligger i utilgængelige egne, hvor feltarbejde er yderst vanskeligt at udføre.

## Øjne i himlen og observationer på jorden

I et EU-financeret projekt forsøger vi i samarbejde med forskere fra University of Sheffield i England at kortlægge og dermed skabe bedre forståelse for processerne bag den tidsmæssige og rumlige variation i albedo. Til det formål kombinerer vi satellitbilleder, fotoer fra droner (octocopters), og albedo-observationer direkte fra gletscherisen i Grønland.

I første omgang har vi kigget på Mittivakkat-gletscheren med dens forskellige forgreninger (med et areal på 26,2 km<sup>2</sup>) beliggende i Sydøstgrønland, der er den gletscher i Grønland, hvor man i længst tid har observeret massebalancen. Her er gletscheroverfladen siden år 2000 i gennemsnit blevet ca. ti procent mørkere i slutningen af smeltesæsonen (slutningen af juli til medio august) med en ændring i albedo fra 0,43 til 0,33. Til sammenligning faldt den gennemsnitlige albedo for indlandsisen syv procent fra 0,75 i 2000 til 0,68 i 2012. Det betyder, at gletscherens evne til at reflektere og tilbagekaste sollys i gennemsnit er blevet mindre og mere solenergi er nu tilgængelig til at smelte gletscheren end tidligere. Enkelte steder er albedoen endog faldet med op til 25 procent, specielt de steder, hvor gletscheroverfladerne siden 2000 er overgået fra at være

### Forfatterne:



Sebastian H. Mernild er klima- og polarforsker (ph.d.) ved Climate Change and Glaciology Department, Center for Scientific Studies, Valdivia, Chile. mernild@cecs.cl



Jeppe K. Malmros er ph.d.-studerende ved Climate Change and Glaciology Department, Center for Scientific Studies, Valdivia, Chile og Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. jeppe@cecs.cl



Mittivakkat-gletscheren, Østgrønland, ved den øverste beliggende del af gletscheren (870 m.o.h.). Variationer i gletscherens overfladeforhold medfører variationer i albedoen. I forgrunden ses Professor Edward Hanna, University of Sheffield og i baggrunden Irminger-havet.

Overfladen af Mittivakkat-gletscheren i august 2014, Østgrønland. Her ses en af "vådzonerne" med løbende overfladesmeltevand (supraglaciale vandløb). →

Fotos: S. H. Mernild.



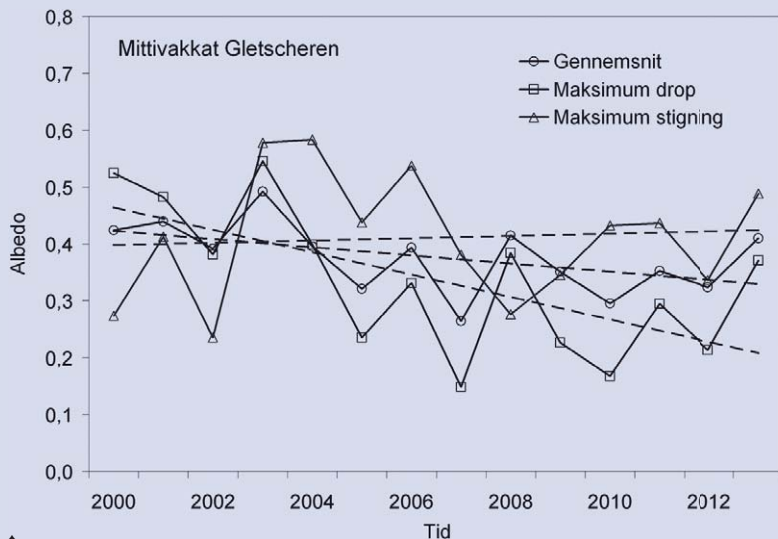
## Albedo

Ordet *albedo* kommer fra latin og betyder "hvidhed". Albedo er et udtryk for, hvor meget af solindstrålingen, der reflekteres tilbage ud i verdensrummet (se formel). Når solen sender sine stråler gennem atmosfæren, reflekteres de af skyer, støvpartikler og i særdeleshed af Jordens overflade. Albedoen er dimensionsløs og måles på en skala fra nul (refleksion af en helt sort overflade) til 1 (refleksion af en hvid overflade). Jordoverfladens albedo varierer i størrelse, hvor nyfalden sne har en albedo på 0,75–0,98 (hvilket betyder, at 75-98 procent af solindstrålingen bliver reflekteret, mens kun

2–25 procent bliver absorberet på overfladen og dermed kan medvirke til at smelte sneen). Gammel sne har en albedo på 0,46-0,85, gletscheris uden udsmltet materiale på overfladen har 0,30-0,46, gletscheris rig på udsmltet materiale 0,06-0,30, grundfjeld omkring 0,20 og vandoverflader omkring 0,10.

Formel for albedo ( $\alpha$ ):  $\alpha = S_u / S_j$

hvor  $S_j$  er lig indkommende kortbølget solindstråling og  $S_u$  reflekteret solstråling.



↑ Tidsserier af satellitbestemt (MODIS) albedo for Mittivakkat-gletscheren. Her er vist den gennemsnitlige, maksimalt stigende og maksimalt faldende albedo fra 2000 til 2013 for slutningen af smeltesæsonen (28. juli til 16. august).

Gennemsnitlige satellitbestemte (MODIS) albedotendenser fra 2000 til 2013 for Mittivakkat-gletscheren med dens forskellige forgreninger for slutningen af smeltesæsonen (28. juli til 16. august). →

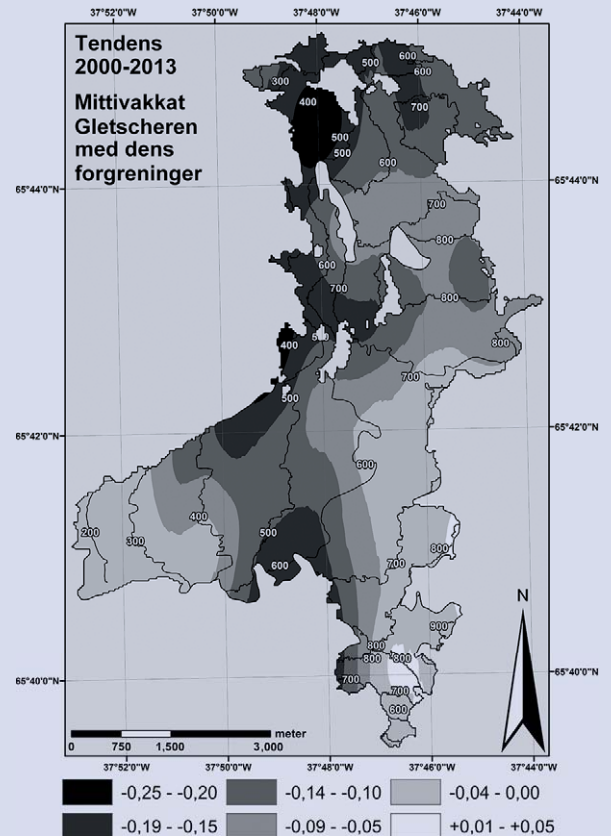
### Albedomåling fra satellit

Til at måle albedo fra satellit udnytter vi NASA's TERRA- og AQUA-satellitter. Som navnene antyder, er TERRA fyldt med sensorer, der har med observation af landoverfladen at gøre, mens AQUA har særlige sensorer til monitorering af oceanerne. Begge satellitter er udstyret med sensorsystemet MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), der er velegnet til formålet. Det er en såkaldt multispektral-sensor med en opløsning på

snedækkede til at være isdækkede. De steder, hvor gletscheren permanent havde snedække eller permanent isdække har vi observeret et gennemsnitligt albedofald på omkring fem procent. På steder på den snedækkede gletscherdel (dækkende et areal omkring 0,2 km<sup>2</sup>) blev der observeret en mindre stigning i albedoen på omkring to procent.

Mere interessant er, at vi observerede albedoværdier ned til 0,3 og 0,1 ved slutningen af smeltesæsonen på de steder, hvor gletscheren netto nedsmelter 2,5–3,5 meter pr. år. Disse observerede albedoværdier ligger omtrent på niveau med albedoværdier målt for grundfjeld.

Det generelle fald i albedo, vi observerer, kan meget vel være medvirkende til, at afsmeltningen i gennemsnit sker hurtigere end forventet, og hurtigere end regionale klima- og ismodeller indikerer. Sandsynligvis fordi de anvendte modeller – eksempelvis nogle af dem, som FN's klimapanel anvendte i deres femte vurderingsrapport (AR5) fra 2013 – benytter



jorden på 250–500 meter i de visuelle bølgelængder (dvs. de bølgelængder, der kan opfattes af det menneskelige øje), hvor også albedo måles. Systemet har fungeret næsten problemfrit siden 1999 og har været et af de vigtigste instrumenter til observation af jordoverfladen og dermed til vores viden om jordens dynamik gennem de seneste 15 år.

sig af simplificerede fysiske og matematiske beregningsmetoder af udviklingen i såvel sneens som isens albedoforhold. Derved er de ikke i stand til at reproducere de tidsmæssige og rumlige albedoprocesser og -variationer, som reelt forekommer.

### Albedo og algevækst

Sådanne processer og variationer har vi denne sommer forsøgt systematisk at kortlægge i forbindelse med feltarbejde i Østgrønland i randzonen omkring indlandsisen, bl.a. på Mittivakkat-gletscheren. Her viser vore observationer, at der kan forekomme markante variationer i albedo indenfor blot få meters afstand, men også at albedoen generelt stiger med højden for snefaner (0,04 pr. 100 m) og bare isoverflader (0,03 pr. 100 m) mens albedoen er konstant med højden for "vådzoner". Her er vådzoner defineret som områder, hvor der løber smeltevand på overfladen (supraglaciale vandløb).

Variationer i albedoforholdene ses også at være afhængige af snelinjens beliggenhed (der nu i slut-

Albedoer blev målt detaljeret over forskellige overfladetyper gentagne gange gennem feltperioden. Billederne her er fra begyndelsen af august og viser mørkfarvning af isen, der har betydning for overfladens albedo. De fire øverste fotos viser en isoverflade med forskellige grader af dække af materiale udsaltet fra gletscheren (kvadraterne har en sidelængde på en meter).



Fotos: S. H. Mernild

#### Videre læsning:

Mernild, S. H., m.fl. 2014. Albedo decline on Greenland's Mittivakkat Gletscher. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.4128.

Mernild, S. H., m.fl. 2014. Northern Hemisphere glaciers and ice caps surface mass balance and contribution to sea-level rise. *Journal of Climate*, 27(15), 6051–6073, doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00669.1.

Mernild, S. H., m.fl. 2014. Coastal Greenland air temperature extremes and trends 1890–2010: Annual and monthly analysis. *International Journal of Climatology*, 34, 1472–1487, doi: 10.1002/joc.3777.

Mernild, S. H., m.fl. 2014. Greenland precipitation trends in a long-term instrumental climate context (1890–2012): Evaluation of coastal and ice core records. *International Journal of Climatology*, doi:10.1002/joc.3986.

Dark Snow Project: [www.darksnowproject.org](http://www.darksnowproject.org) (et crowd funded projekt om albedoforholdene på indlandsisen).

Reflecting on Earth's albedo: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Reflecting\\_on\\_Earth\\_s\\_albedo](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Reflecting_on_Earth_s_albedo)



Til venstre ses et såkaldt *kryokonithul* (*kryos* betyder "kulde" eller "frost" på græsk og *konis* betyder "støv"). I disse huller findes helt specielle forhold med temperaturer målt op til cirka 5 °C, hvilket kan fungere som habitat med en rig mikrofauna af bakterier og alger. Nederst til højre ses is farvet med rød-alger. Rød-algerne er typisk et mix af forskellige algetyper og er ofte svære at skelne fra hinanden i et lysmikroskop. Letherman-kniven (10 cm lang) kan anvendes som skala.

ningen af smeltesæsonen i gennemsnit ligger cirka 200–250 hundrede meter højere på gletscheren end i 2000), vandindholdet i sneen, ændringer i snekrySTALLERNES form, udsaltet materiale fra gletscheren (ler, silt, sand), nedfalden sod og algevækst. Netop alger synes at spille en betydelig rolle i albedoforholdene, da algevæksten (fra tusindevis af alger fra hver opmålt milimeter) tager til i omfang i takt med, at solindstrålingen øges henover smeltesæsonen. Herved skifter algerne pigment (farve) for at beskytte sig mod det direkte sollys, så de fx får et mørkerødt skær. Et pigmentskifte, der nemt kan spottes med det blotte øje, og som gør, at overfladen bliver mørkere, hvorved mere sollys absorberes.

### Fremtiden med stigende vandstand

At forstå og kortlægge de fysiske processer, der involverer klimaets effekt på overfladerne af de mange gletschere rundt om i Grønland og Arktis, er en videnskabelig udfordring. Stadig er der en del vedrørende gletschernes albedoprocesser og de positive feedback mekanismer, vi skal have under-

søgt: Hvad er fx algernes indflydelse på albedoforholdene og efterfølgende på smeltningsraten, da hver algetype forventeligt har sine egne karakteristika. Jo bedre, vi bliver i stand til at forstå og beskrive albedoprocesserne og disses variationer i tid og rum, jo bedre vil vi blive til at opstille nøjagtige beregningsmodeller for albedoforholdene og for gletschernes massebalancer. En bedre forståelse af albedoforholdene og deres samspil med fx sneforholdene, materiale udsaltet på overfladen samt algevæksten vil med andre ord gøre os bedre til at beregne isens tilstand og i sidste ende massetabet og dermed bidraget til det stigende, globale havniveau. Et stigende havniveau, der er vurderet til at være én af de største fremtidige klimarelaterede udfordringer, vores samfund står overfor.

I den forbindelse vil "havniveau tilpasning" blive et uundgåeligt problem, især for lavtliggende lande som Danmark. Det skyldes i særdeleshed, at vi kan forvente endnu varmere temperaturer i fremtiden og mere ekstremt klima end det, vi har været og til stadighed er vidne til. ■