



Indlandsisen i fremtiden

Illustration: NASA.

Nye modelberegninger af Indlandsisens udvikling viser, at op til 20 % af dens volumen vil smelte bort frem til år 2350. Dette vil alene kunne medføre en stigning i havniveauet på op til 2,5 meter.

Af Sebastian H. Mernild

■ Ændringer i Indlandsisen fortæller historien om klimaets indflydelse. I en tid, hvor klimaforandringer i stigende grad fylder vores bevidsthed samler en god del af interessen sig om den grønlandske indlandsis. Der er således stor interesse og behov for en bedre forståelse af klimaets indvirkning på og i samspil

med Indlandsisens overfladeafsmeltning, dynamiske processer og øget ferskvandsbidrag til det stigende globale havniveau. Indlandsisens volumen svarer til 8 % af klodens ferskvandsmængde. En fuldstændig nedsmeltning vil indebære en stigning af vandstanden i verdenshavene på 7,2 meter, og dermed

er Indlandsisen den største potentielle bidrager på den nordlige halvkugle til dels det stigende havniveau, dels til en svækkelse af Golfstrømmen.

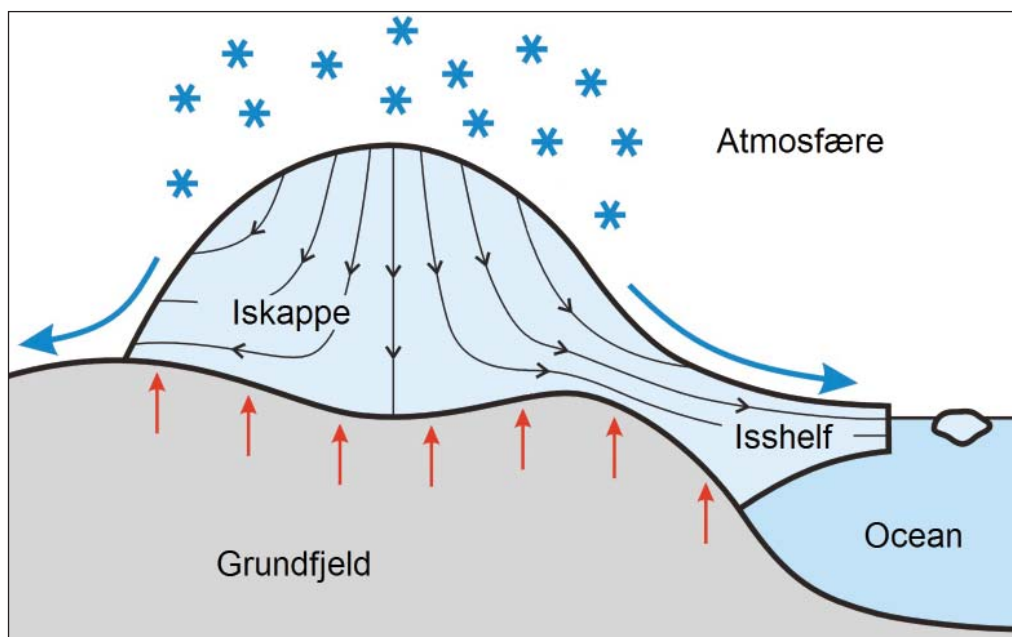
Forandringer i klimaet

De sidste 10 år har været det varmeste årti på Grønland siden varmeperioden i 1930–40'erne

med temperaturer på omtrent samme niveau som dengang. De stigende temperaturer er yderligere blevet efterfulgt af stigende nedbør på godt én procent pr. årti samt af stigende luftfugtighed på godt to procent i løbet af de sidste 30 år.

Situationen i dag er anderledes end i 1930–40'erne, og

← Grønland med Indlandsisen set fra oven. Indlandsisens areal er på omkring 1.730.000 km² svarende til næsten 40 gange Danmarks størrelse. Isens længde fra nord til syd er ca. 2.400 km. Den maksimale bredde og tykkelse på Indlandsisen er henholdsvis cirka 950 km og 3,2 km. Isen har et volumen på omkring 2.930.000 km³.



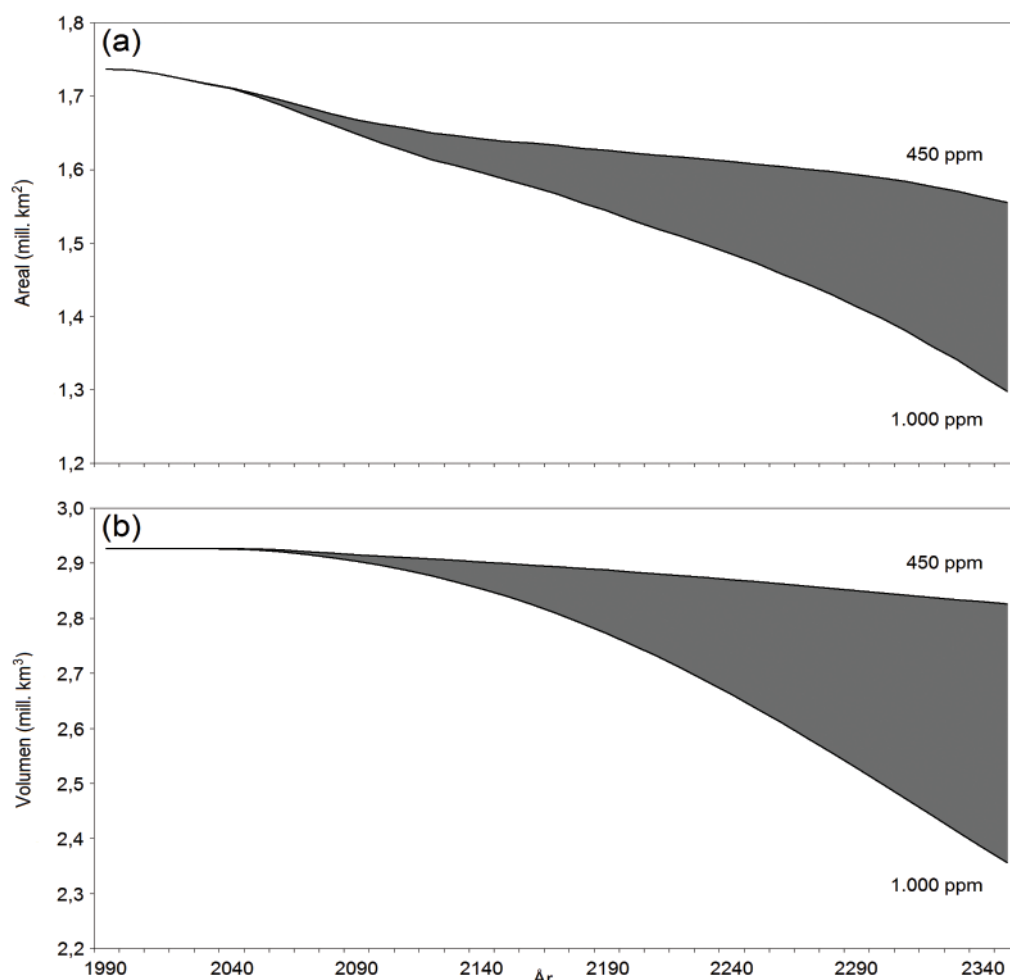
meget tyder på, at opvarmningen denne gang – i modsætning til tidligere – vil blive ved med at stige blandt andet på grund af det stigende menneskeskabte CO₂-udslip og den efterfølgende stigende CO₂-koncentration i atmosfæren.

Isen på skrump

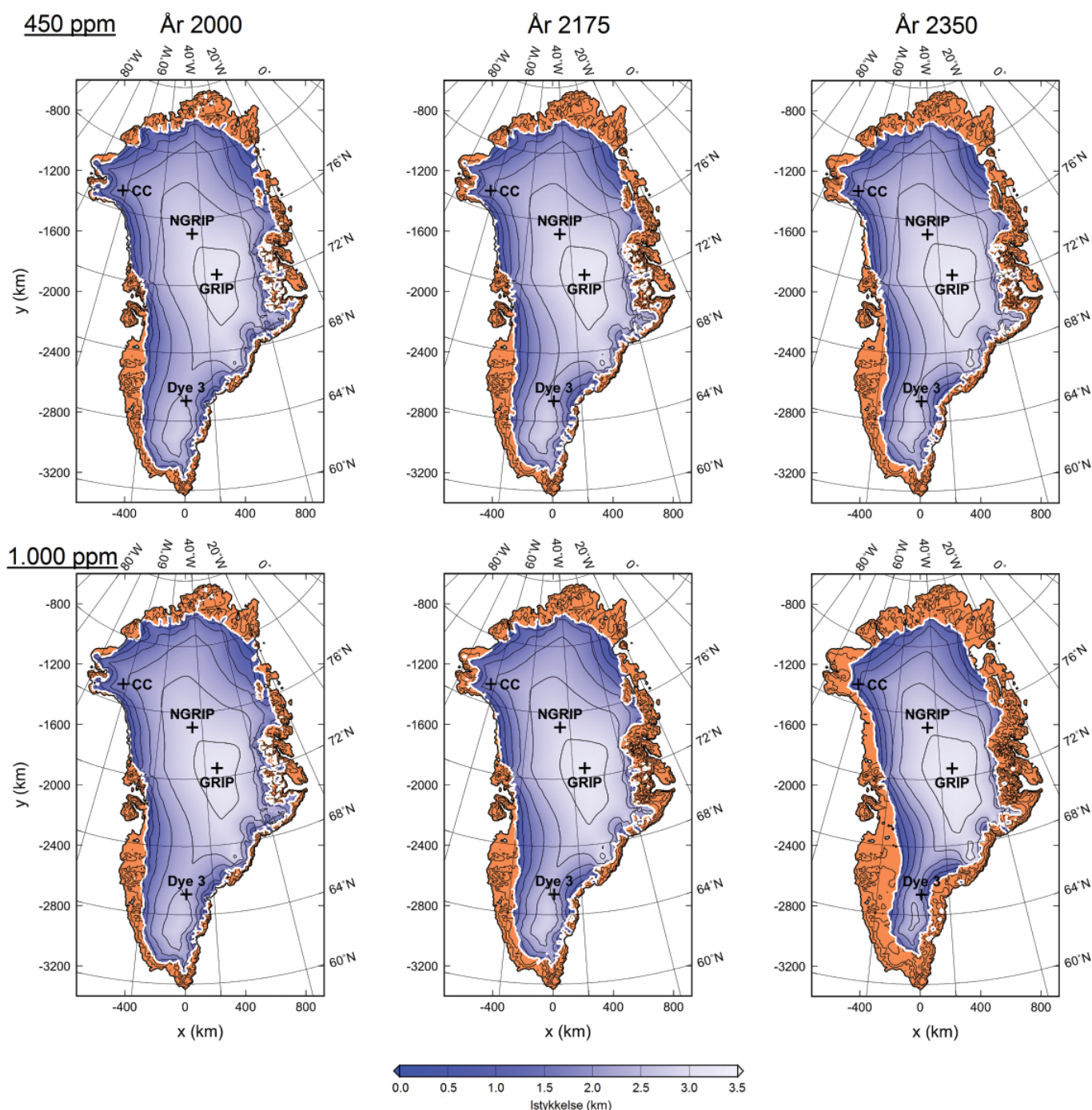
Hvordan Indlandsisen vil udvikle sig i fremtiden, kan vi nu give et bud på ud fra modelberegninger udført med SICOPOLIS, som er en 3-D dynamisk iskappemodel, der simulerer Indlandsisens dynamiske processer og ændringer i bl.a. isens areal, volumen og tykkelse. Med denne model har vi modelleret udviklingen for perioden 1990 til 2350 på baggrund af to scenarier for den fremtidige CO₂-koncentration i atmosfæren. I disse scenarier stiger den globale temperatur, og den stabiliseres ved en CO₂-koncentration på henholdsvis 450 og 1.000 ppm; repræsentativ for den forventede minimums- og maksimumsudvikling i atmosfærens CO₂-koncentration frem mod år 2350.

Her vil være tale om fremtidige forandringer af Indlandsisen, som påvirker den arktiske hydrologiske cyklus og vandbalancen, da Indlandsisen i et hydrologisk perspektiv kan betragtes som et reservoir af sne og is, hvor vand fra kredsløbet

Simplificeret principskitse af Indlandsisen og dens dynamiske flydestrukturer når isen dels flyder på grundfjeld, dels ud i oceanet. På den centrale del af Indlandsisen forekommer der en netto-pålejrning af sne, hvorimod der langs isranden sker et netto-tab af is og sne på grund af fordampning, sublimation og afsmeltning samt dannelsen af isbjerge. Ved bunden af Indlandsisen forekommer ligeledes et netto-tab af is på grund af bundsmeltningen som følge af geotermal varme (jordvarme).



Udviklingen i Indlandsisens: (a) arealudbredelse; og (b) volumen for perioden 1990 til 2350 baseret på CO₂-scenarierne for 450 og 1.000 ppm i atmosfæren. Overkanten af det grå område viser ændringer i areal og volumen for 450 ppm og underkanten for 1.000 ppm scenariet.



Indlandsisen for år 2000, 2175 og 2350 baseret på temperaturscenarierne med 450 og 1.000 ppm CO₂ i atmosfæren. Lokalteten af iskerneboringerne: Dye3, GRIP, NorthGRIP og Camp Century er angivet.

kan opmagasineres i kortere eller længere tid.

Modelresultaterne viser, at Indlandsisens areal for fremtiden vil formindskes, hvad enten atmosfærens CO₂-indhold stiger med omkring 15 % til 450 ppm eller omkring 150 % til 1.000 ppm i år 2350. Isens areal vil derved formind-

skes med henholdsvis 10 % (181.000 km², cirka fire gange Danmarks areal) eller 25 % (439.000 km², cirka ti gange Danmarks areal) i forhold til det nuværende areal. Dette vil hovedsageligt finde sted i den sydlige, østlige og nordøstlige del af Indlandsisen, hvilket vil forøge afstanden fra isranden

og til kystområdet med op til 150 km. Netto-tabet af Indlandsisen vil primært finde sted i et smalt randområde, hvorimod netto-pålejrningen af sne vil finde sted på den centrale del af isen. For Indlandsisen vil det betyde, at den øges i maksimal højde på henholdsvis 63 og 80 meter frem mod år 2350,

hvilket svarer til en gennemsnitlig maksimal tilvækst på 18 til 22 cm om året.

Stigende havniveau

Indlandsisens volumen vil ligeledes skrumpe ind frem mod år 2350. Dette med henholdsvis 4 % (103.000 km³) eller 20 % (573.000 km³) i forhold til

det nutidige volumen, såfremt atmosfærens CO₂-indhold stiger til henholdsvis 450 eller 1.000 ppm. Ændringer i Indlandsisens volumen, altså nettotabet, vil i fremtiden bidrage til stigningen i det globale havniveau. Allerede ved udgangen af dette århundrede vil Indlandsisen bidrage med en samlet stigning i det globale havniveau på omkring 8 cm ved begge CO₂-scenarier. Samtidigt vurderer FN's klimapanel, at der vil være en stigning fra gletschere kloden rundt på omkring 20-60 cm; heri er bidraget fra Indlandsisen dog ikke medtaget.

Siden 1993 har observationer vist, at den globale vandstand er steget med en gennemsnitlig rate på omkring 3 mm om året, hvilket er langt hurtigere end de 1,7 mm, som var stigningen i sidste århundrede. Modelscenarierne viser, at det årlige bidrag fra Indlandsisen vil stige fra det nuværende 0,5 mm om året til 1,7 mm om året for 450 ppm CO₂-scenariet og til 6,2 mm om året for 1.000 ppm CO₂-scenariet i år 2350. Det samlede bidrag fra Indlandsisen til og med år 2350 vil medføre en stigning i det globale havniveau på henholdsvis 47 cm for 450 ppm CO₂-scenariet og 125 cm for 1.000 ppm CO₂-scenariet.

Effekten af klimaforandringer kan vise sig at forøge stigningen af det globale havniveau yderligere. Da havvandet samtidig bliver varmere, kan vandstandsstigningen vise sig at blive endnu større – omkring det dobbelte, idet vand udvider sig i takt med, at det bliver varmere. Bidraget alene fra Indlandsisen kan derfor risikere at forøge stigningen i det globale havniveau med op til omkring 250 cm frem mod år 2350.

Forventninger til fremtiden

De igangværende og vurderede fremtidige klimaforandringer samt effekten af disse taler sit tydelige sprog – en op til 20 % bortsmeltning af Indlandsisens volumen ved udgangen af år 2350 er, hvad vi kan forvente. Det øgede fremtidige bidrag af ferskvand fra Indlandsisen giver ikke blot anledning til en stig-

En dynamisk iskappemodel: SICOPOLIS

Modellen SICOPOLIS (*Simulation COde for POLythermal Ice Sheets*) er en 3-D dynamisk iskappemodel, der simulerer dynamiske processer og ændringerne i for eksempel isens volumen, tykkelse, alder og temperatur. Modellen har været afprøvet og testet i Grønland og Antarktis i for-, nu- og fremtid samt afprøvet på planeten Mars. I dette studie er modellen anvendt med en opløselighed på 10×10 km og med smelterutiner for henholdsvis overfladeafsmeltningen og afsmeltningen ved bunden af Indlandsisen på grund af variabel geothermal varme (jordvarme).

For at opnå et realistisk grundlag for simuleringen af Indlandsisens udvikling i fremtiden, er de topografiske og temperaturmæssige forhold i Indlandsisen blevet modelleret for en periode, der går 250.000 år tilbage og frem til i dag. Disse beregninger er bl.a. baseret på data fra iskerneboringerne GRIP (som dækker perioden fra i dag og til 105.000 år før nu) og Vostok fra Antarktis (for at dække tiden fra 105.000 år før nu og tidligere). For de fremtidige modelberegninger – for perioden 1990 til 2350 – er den globale temperaturudvikling baseret på en CO₂-koncentration i atmosfæren på henholdsvis 450 og 1.000 ppm. For 450 og 1.000 ppm-scenarierne er den globale temperatur vurderet til henholdsvis at stige 2,2 og 4,9 grader celsius ud fra gennemsnittet af syv forskellige klimamodeller: dog vil temperaturudviklingen over Indlandsisen være en faktor 2 større. Den fremtidige nedbør er formodet at stige 5% pr. grad celsius. Resultaterne er fremkommet i samarbejde med Indlandsisforskere ved Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Japan.

Stigning i havniveau

År	450 ppm CO ₂ i atmosfæren	1.000 ppm CO ₂ i atmosfæren
2000	0,5 mm	0,5 mm
2050	0,8 mm	0,8 mm
2100	1,5 mm	1,9 mm
2150	1,5 mm	3,3 mm
2200	1,6 mm	4,6 mm
2250	1,6 mm	5,7 mm
2300	1,7 mm	6,2 mm
2350	1,7 mm	6,2 mm

Tabel: Beregnet årlig stigning af det globale havniveau på grund af ændringer i Indlandsisens volumen.

ning i det globale havniveau, men også til forekomsten af ekstreme vandstandssituationer som eksempelvis stigende bølgepåvirkning af kyster og diger samt hyppigere oversvømmelser af lavtliggende kystområder. Ændringerne formodes yderligere at øve indflydelse på strømningsforholdene i Nordatlanten, herunder energitransporten fra troperne til Nordeuropa. Det vil i yderste konsekvens bevirke, at den varme strøm (Golfstrømmen) ikke længere når op til Nordeuropa og Østgrønland, hvilket i så fald kan medføre,

at klimaet efterfølgende bliver betydeligt koldere.

En Indlandsis på skrump er blevet en af de væsentligste øjenåbnere og nærmest et symbol på klodens klimaforandringer. Indlandsisens ændringer suger som fluepapir forskere og politikere til et af klodens koldeste områder. Der er ingen tvivl om, at Indlandsisen i fremtiden vil komme mere i fokus end den er i dag, da de regionale ændringer, vi forskere ser på Indlandsisen, vil forårsage en række globale effekter, blandt andet i form af et stigende globalt havniveau. ■

Om forfatteren:



Sebastian H. Mernild er ph.d. og post doc. ved International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, USA.

Skype tlf.: +45 36 99 27 03
E-mail: fscm@uaf.edu
www.uaf.edu

Ekstra litteratur:

Climate Change 2001, The Scientific Basis (IPCC Report), Chapter 9: Projections of Future Climate Change.

Greve, R. 1997., *Application of a polythermal three-dimensional ice sheet model to the Greenland ice sheet: response to a steady-state and transient climate scenarios*, *Journal of Climate*, 10(5): 901–918.

Greve, R. 2005. *Relation of measured basal temperatures and the spatial distribution of the geothermal heat flux for the Greenland Ice Sheet*. *Annals of Glaciology*, 42: 424–432.

Mernild, S. H. 2008. *Indlandsisen sveder. Aktuel Naturvidenskab*, nr. 2: 7–10.