

Vendepunkt for Indlandsisen

Selv med det internationale klimapanelers mere moderate fremtidsscenarier, vil den grønlandske indlandsis senest i begyndelsen af 2040'erne nå til det afgørende punkt, hvor der konstant smelter mere sne og is bort fra Indlandsisens overflade om sommeren end der akkumuleres af sne om vinteren.



Foto: Lis Grzegorz, Bristol Glaciology Centre, University of Bristol, UK.

Hastigt strømmende smeltevand fra Indlandsisen ved Kangerlussuaq.

Af Sebastian H. Mernild

■ Gennem de sidste par år har diskussionen i de arktiske videnskabelige kredse i høj grad omhandlet Indlandsisens nuværende og fremtidige tilstand. Det skyldes blandt andet bekymringen for et stigende havniveau, hvor Indlandsisen er den største potentielle bidragsyder på den nordlige halvkugle – sammenholdt med den effekt, der skyldes at havvandet udvider sig på grund af højere temperaturer. Desuden havde Indlandsisen i 2007, for første gang siden 1979, hvor satellitobservationer af Indlandsisen påbegyndtes, en negativ overflademassebalance. Det vil sige, at der i sommerperioden i 2007 bortsmeltede mere sne og is fra

Indlandsisens overflade, end der blev akkumuleret som sne gennem den forudgående vinterperiode. Skal fremtidens effekt af den forventede fortsatte globale opvarmning forstås nøjere, er det nødvendigt med en bredere og bedre forståelse af processerne på og i Indlandsisen. I særdeleshed af begrebet *"tipping point"*, som betegner et afgørende vendepunkt i udviklingen.

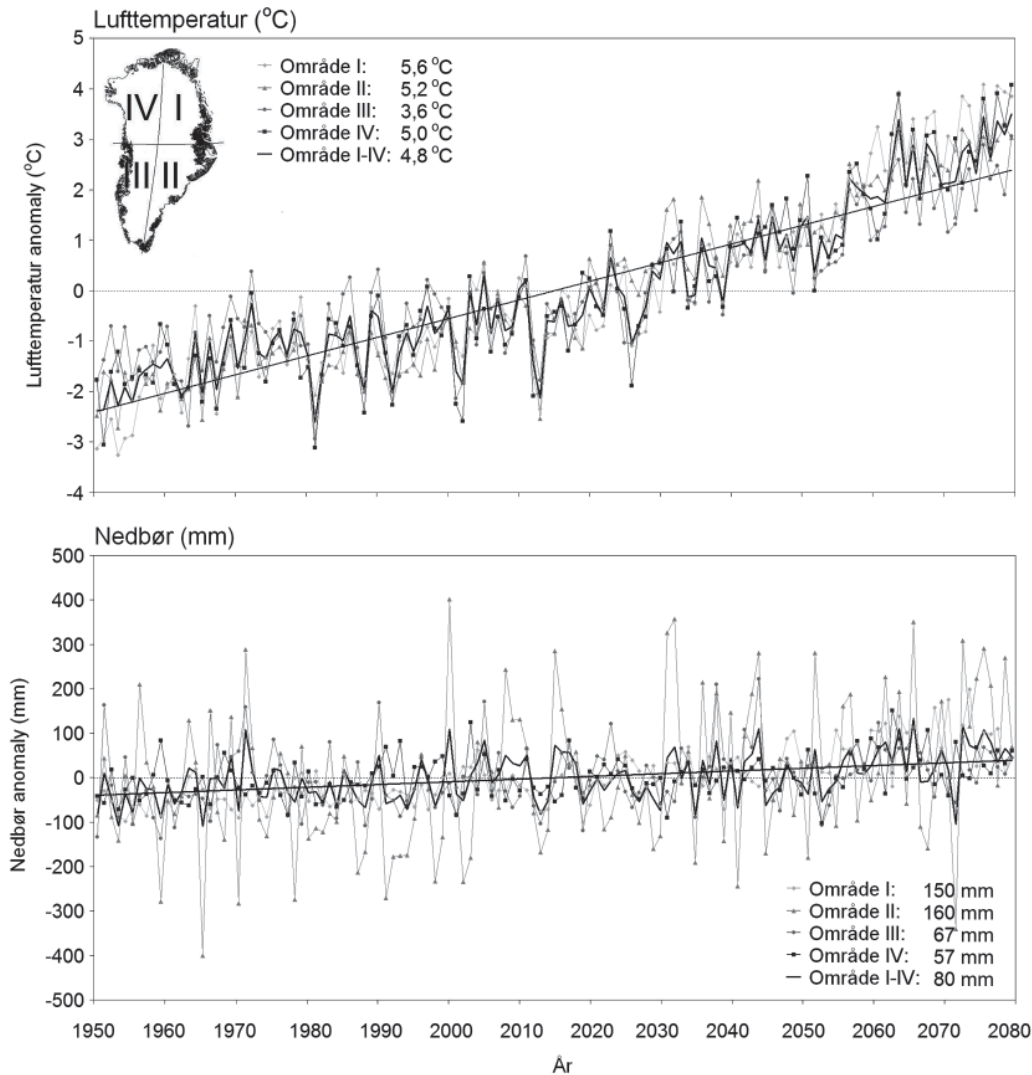
Indlandsisens tipping point indtræffer, når dens overflademassebalance i en årrække er negativ. Da Indlandsisen løbende mister masse dels ved den dynamiske aktivitets store produktion af isbjerge, f.eks. ved Jakobshavn i Vestgrønland

Indlandsisen

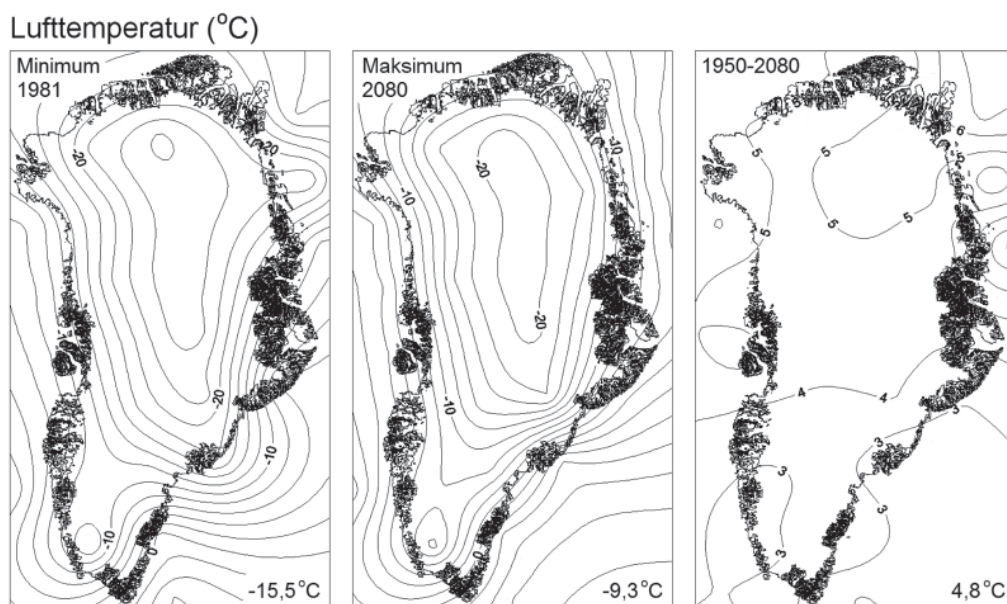
Indlandsisens areal er på omkring $1,83 \times 10^6$ km² svarende til cirka 85 % af Grønlands areal og næsten 43 gange Danmarks størrelse. Fra nord til syd strækker Indlandsisen sig over ca. 2.400 kilometer svarende omtrent til afstanden fra Danmark til det nordlige Afrika. Den maksimale bredde på Indlandsisen er cirka 950 kilometer svarende omtrent til afstanden fra København til Bruxelles. På det tykkeste sted er Indlandsisen over 3.200 meter høj. Isen har et volumen på omkring 3.000.000 km³, som svarer til omkring otte procent af Jordens samlede ferskvandsmængde. Smelter Indlandsisen helt, vil det medføre en global stigning af havoverfladen på syv til otte meter. En fuldstændig nedsmeltning vil tage adskillige tusinde år.



Digital terrænmodel af Indlandsisen.



Figur 1. Relativ lufttemperatur- og nedbørsudvikling for Indlandsisen for perioden 1950 til 2080. Modelberegningerne er baseret på FN's klimapanel (IPCC) klimascenarie A1B og simuleret af DMI's regionale klimamodel HIRHAM4.



Figur 2. Rumlig fordeling af lufttemperatur for året med minimum og maksimum værdier. Den gennemsnitlige ændring er desuden vist for perioden 1950 til 2080. Der ses en stigende gennemsnitlig værdi: 4,8°C.

og ved Helheim Østgrønland, og dels ved bundsmeltning og ved smeltning i grænsefladen mellem gletscheris og varmere havvand, har isen på ingen måde mulighed for at genopbygge sit volumen, når overfladmassebalancen vedbliver at være negativ. Spørgsmålet er med andre ord, om Indlandsisen er ved at nå sit tipping point.

Den nutidige forandring

De sidste årtiers temperaturobservationer i Arktis har dokumenteret en gennemsnitlig støt stigende temperatur. Sammenlignet med den globale middeltemperaturstigning gennem de seneste 50 år på 0,6 °C, har stigningen for Arktis som helhed været omkring dobbelt så kraftig og for blandt andet Alaska og det vestligste arktiske Canada op til fire gange så kraftig. Dette har medført en stærkt øget sne- og gletscherafsmeltning. Gletschere beliggende i Nordamerika og Grønland, inklusive Indlandsisen, formindskes i udstrækning og volumen, hvorved øgede mængder af ferskvand strømmer til oceanet.

For tiden mister Indlandsisen netto omkring 250 km³ vand pr. år, mens den samlede ferskvandstilstrømning fra Indlandsisen til oceanerne fra smeltvandsafstrømning, regn og fra produktion af isbjerger er i størrelsesordenen tre gange så stor, omkring 800 km³ pr. år. Indlandsisens nettotab bidrager således markant til den igangværende stigning af det globale havniveau, der for tiden er cirka 3 millimeter om året, hvilket er næsten dobbelt så meget som de 1,7 millimeter pr. år, der var den gennemsnitlige stigning i forrige århundrede. Indlandsisens tab på de 250 km³ om året bidrager med cirka 25 procent af den pågående globale havniveauanstigning.

Af yderligere delbidrag til den nutidige stigning i det globale havniveau kan nævnes bidrag fra lokale gletschere kloden rundt (omkring 65 procent) og fra Antarktis (10 procent).

Fremtiden, et spejlbillede af nutiden

Den igangværende klimaten-dens synes at fortsætte i fremtiden – nærmest som et spejlbillede af de nutidige forhold. Beregninger med DMIs klimamodel HIRHAM4 for perioden fra 1950 til 2080 viser, at temperaturen og nedbøren for hele Grønland i gennemsnit vil stige med henholdsvis 4,8 °C og 80 mm (se figur 1). Temperaturen vil i Nordøstgrønland i gennemsnit stige mest med 5,6° C, primært på grund af den forstærkende effekt ved en forventet tilbagemelting af havisen. Nedbøren forventes derimod at stige mest i Sydøstgrønland med 160 mm på grund af ændrede lavtrykspassager i det grønlandske område. Kort sagt forventes det fremtidige klima i Grønland at blive både varmere og vådere.

Scenariet tager udgangspunkt i det internationale klimapanel (IPCC) såkaldte A1B scenarie, der beskriver en fremtidig verden i fortsat hurtig økonomisk vækst. Scenariet er baseret på brug af både fossile og vedvarende energikilder og forudsæt-

ter en hurtig introduktion af nye og mere effektive teknologier. Uanset hvilke modeldata der anvendes er udviklingstendensen i det grønlandske klima den samme. Effekterne af det ændrede klima er ej heller til at tage fejl af. Indlandsisen vil i gennemsnit årligt miste stadig mere masse og dermed fortsætte med at øge sit bidrag til stigningen i det globale havniveau.

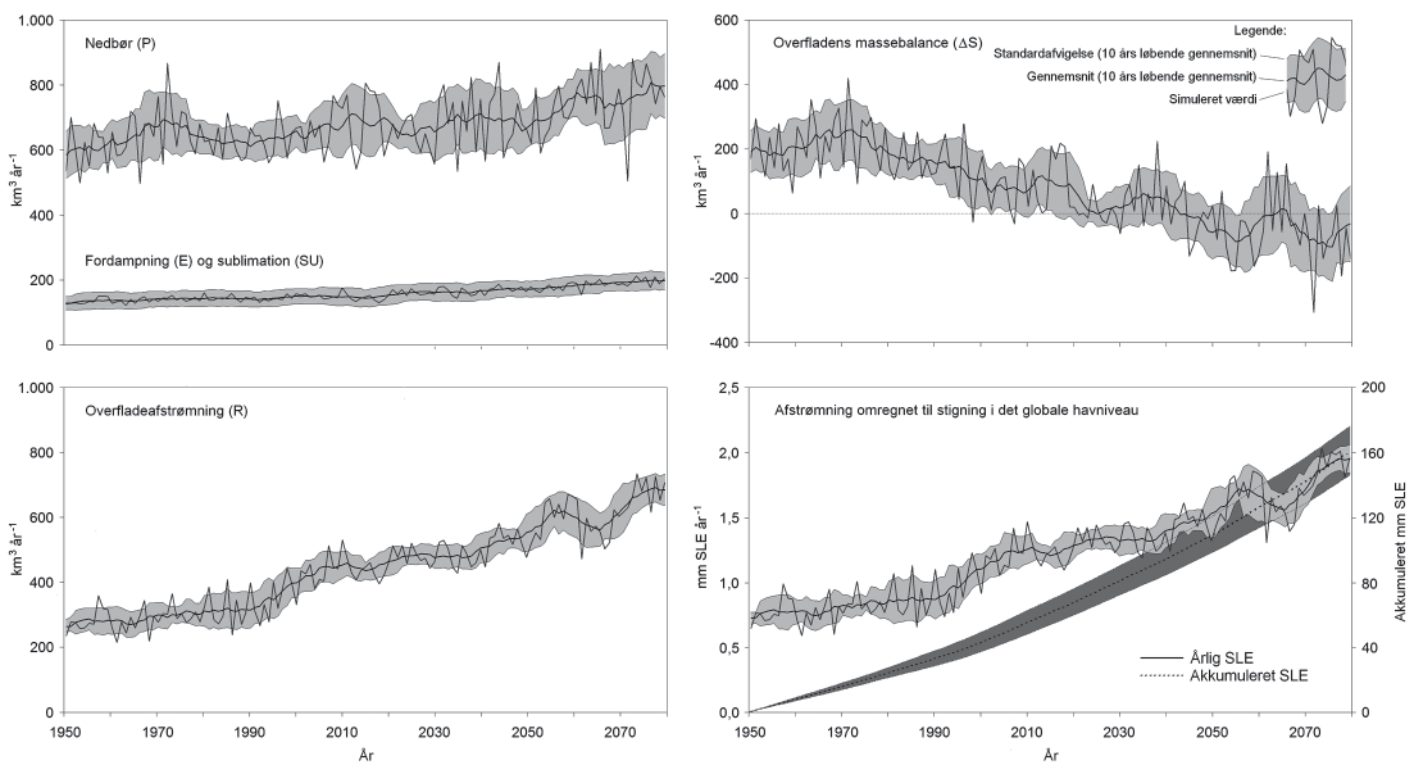
Tipning point senest i 2040'erne

Simuleringer af Indlandsisens overflade fra 1950 til 2080 ved hjælp af energibalancemodellen SnowModel og baseret på A1B klimascenariet viser, at Indlandsisen i slutningen af 2020'erne vil komme tæt på at overskride tipping point. Fra begyndelsen af 2040'erne synes tendensen derimod klar: Indlandsisens overflademassebalance vil derefter være negativ. De hidtidige erfaringer med IPCC's klimascenarier er, at de nutidige observerede tendenser som følge af det ændrede klima generelt set udvikler sig hurtigere, end modelberegningerne indikerer. Derfor er det realist-



Foto: Colourbox

Floder af smeltevand på overfladen af indlandsisen. Det fremtidige klima i Grønland forventes at blive både varmere og vådere – og de største ændringer vil ske i Østgrønland.



Figur 3. Simuleringer af en række relevante vandbalanceparametre for Indlandsisen med SnowModel i perioden 1950-2080 på baggrund af input data fra DMI's HIRHAM4 klimamodel.

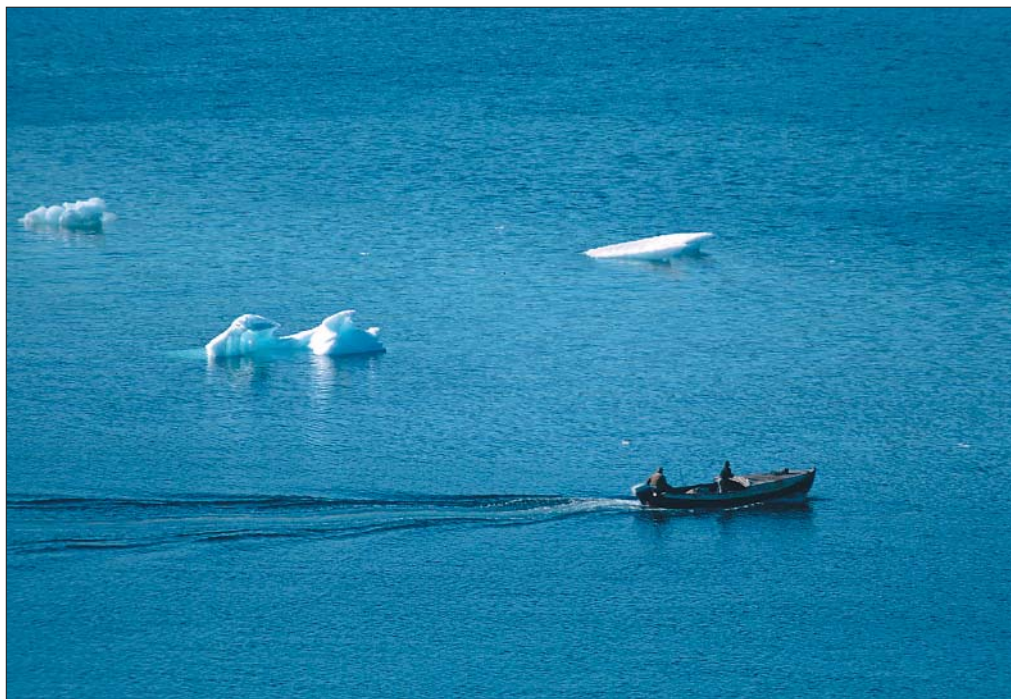


Foto: Colourbox

Temperaturen vil i Nordostgrønland i gennemsnit stige mest primært på grund af den forstærkende effekt ved en forventet tilbagemelting af havisen.

tisk at antage, at en overskridelse af tipping point i begyndelsen af 2040'erne, altså om 35 år, er det seneste tidspunkt for, hvornår Indlandsisen ikke længere er i stand til at genopbygge sig selv.

DMI's klimamodel anvendt i SnowModel viser, at tipping point vil indtræde i begyndelsen af 2040'erne ved en temperaturstigning for Grønland på blot 1,2 °C, i forhold til nutidige temperaturforhold. Da temperaturstigningen for Arktis, inklusive Grønland, i gennemsnit

har været dobbelt så kraftig de seneste mange årtier sammenlignet med den globale temperaturstigning, er der grund til at forvente, at tipping point allerede vil indtræde ved en global middeltemperaturstigning på omkring 0,6 °C. Det er noget lavere sammenlignet med forudsigelser baseret på simple, mindre fysiske korrekte klimamodeller (graddagsmodeller). Disse graddagsmodeller viser, at tipping point først vil indtræde ved en global temperaturstigning på omkring 3 °C. Valg af

modelkoncept og rammebetingelser kan således åbenlyst have stor betydning.

Men da modelgrundlaget er mere fysisk korrekt ved brug af simulerede klimadata fra HIRHAM4 og anvendelse af disse som input i energibalancemodellen SnowModel, er det sandsynligt, at tipping point nærmere vil indtræde ved en global temperaturændring på 0,6 °C end ved 3 °C.

I perioden 1950–2080 indikerer modelsimuleringerne ligeledes, at afstrømningen af ferskvand alene fra Indlandsisens overflade i gennemsnit vil stige fra omkring 280 km³ pr. år (1950–1959) til 670 km³ pr. år (2070–2080). Alene den øgede afstrømning af ferskvand fra isens overflade vil brutto samlet over perioden bidrage med 160 mm til stigningen i det globale havniveau. ■

Indlandsisen under sidste mellemistid

For 130.000 år siden afløstes Saale-istiden af mellemistiden Eem, der varede omkring 13.000 år. I den varmeste del af Eem antages klimaet at have været op til 5 grader varmere og mere fugtigt end i dag, og Indlandsisen var formentlig omkring 30 procent mindre end i dag.

Man må gå ud fra, at Indlandsisen under Eem-mellemistiden også havde overskredet sit "tipping point", således at dens overflademassebalance over længere tid har været negativ. At Indlandsisen ikke nedsmeltede totalt skyldes at både Eem-perioden som sådan og Eem-periodens varmeste fase var relativt kortvarige og blev efterfulgt af en væsentlig koldere periode, Weichsel-istiden (117.000 år til 11.500 år for nu), hvor isen igen voksede.

Resultaterne i artiklen er fremkommet i samarbejde med forskere ved henholdsvis Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, Colorado State University, USA, og ved Danmarks Klima Center, Danmarks Meteorologiske Institut.

Om forfatteren:



Sebastian H. Mernild, er klima- og polarforsker (ph.d.) ansat ved Climate, Ice Sheet, Ocean, and Sea Ice Modeling Group, Department of Computational Physics and Methods, Los Alamos National Laboratory, New Mexico, USA.

Arbejdstelefon:

+1 (505) 665-2838

Skype tlf.: +45 36 99 27 03

E-mail: mernild@lanl.gov

Videre læsning:

Christensen, J. H. m.fl. 1996: *The HIRHAM4 Regional Atmospheric Climate Model. DMI Scientific Report*, 96–4.

Mernild, S. H. m.fl. 2009. *Greenland Ice Sheet surface mass-balance modeling and freshwater flux for 2007, and in a 1995–2007 perspective. Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.7354.

Mernild, S. H. m.fl. 2009. *Greenland Ice Sheet surface mass-balance modeling in a 131-year perspective 1950–2080. Accepted Journal of Hydrometeorology*.

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

Mernild, S. H. 2008. *Indlandsisen i fremtiden. Aktuel Naturvidenskab*, nr. 5: 4–7.

Stendel, M. m.fl. 2008. *Arctic Climate and Climate Change with a Focus on Greenland, Adv. in Eco. Res.*, 40, 13–43, DOI: 10.1016/S0065-2504(07)00002-5.