

# INDLANDSISENS FORTID OG FREMTID

Indlandsisen rummer potentialet til at få vandstanden i verdenshavene til at stige med syv meter og trække den lune Golfstrøm væk fra Danmark, så det i fremtiden bliver hundekoldt her i landet. Derfor er det vigtigt, at forskere forstår både Indlandsisens nutid, fortid og fremtid.



Af videnskabsjournalist  
Kristian Sjøgren  
ksjoegren@gmail.com

**H**vis Grønlands Indlandsis en dag forsvinder helt, kan havniveauet i verdenshavene komme til at stige med op imod syv meter. Prøv selv at stille en tommestok i vandkanten på din lokale badestrand, og se så, hvor højt oppe havets overflade potentielt set kan komme. Du skal nok læne nakken tilbage. Læg dertil, at havet også udvider sig, når vandet bliver varmere, og det betyder, at vandstanden stiger endnu mere.

Når Indlandsisen smelter, har det desuden ikke kun betydning for vandstanden i verdenshavene. De enorme mængder ferskvand, som ligger bundet i isen, kan ændre på saltbalancen i den nordlige del af Atlanterhavet, og selvom det måske lyder som lidt tør forskersnak, kan resultatet blive, at Golfstrømmen ændrer sig og ikke længere sender varmt vand i retning af Danmark. Det vil med et hurtigt købmands-

overslag betyde, at gennemsnits-temperaturen i vores lille smørhul falder med syv til 10 grader.

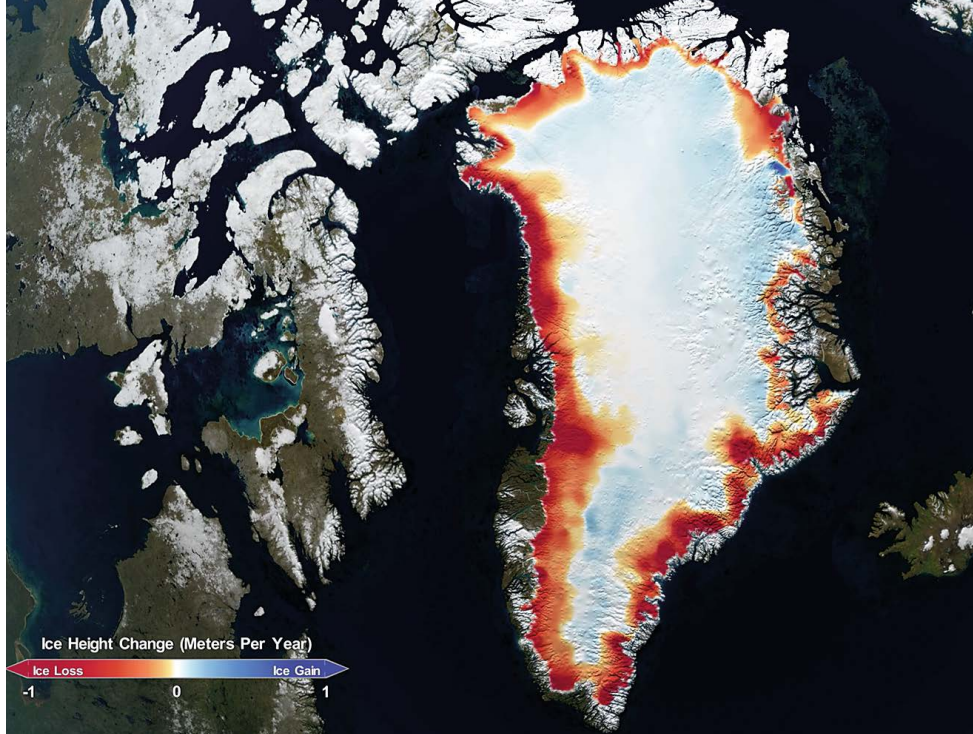
Der er altså rigtig mange både klimatiske, økologiske og samfundsrelaterede årsager til, at forskere er meget interesserede i at finde ud af, hvor hurtigt Indlandsisen i Grønland smelter, og hvad den umiddelbare effekt bliver for ikke bare Danmark, men faktisk for hele verden.

»Indlandsisen er særligt interessant i et klimaperspektiv, fordi den, hvis den smelter, kommer til at påvirke alt liv og alle mennesker på Jorden. Det gælder ikke bare i Nordatlanten, men i hele verden, hvor klimaet vil ændre sig til noget, som vi på nuværende tidspunkt ikke har det fulde overblik over. Nogle klimamodeller peger på, at det blandt andet kan betyde, at det bliver koldere og mere tørt i Europa, mens der falder mere regn i Nordafrika. Andre

modeller viser det modsatte, så vi ved det faktisk ikke, og derfor er vi nødt til at indsamle mere viden, så vores forudsigelser bliver bedre,« fortæller professor David Lundbek Egholm fra Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet.

## Vil ramme hårdest syd for ækvator

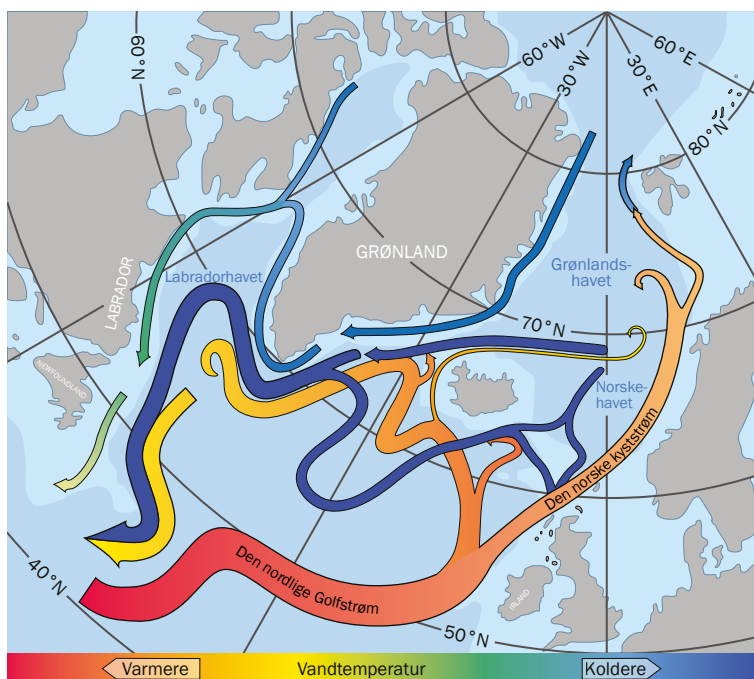
David Lundbek Egholm fortæller, at en kuriøs omstændighed ved den grønlandske Indlandsis er, at hvis den smelter, vil effekten på vandstanden faktisk ikke være størst i Danmark, selvom vi ligger så tæt på Grønland, som vi gør. Fordi Indlandsisen har en enorm masse, hvis massetiltrækningskraft trækker i oceanerne og dermed får vandstanden til at stige i den nordlige del af Atlanterhavet, vil denne tiltrækningskraft forsvinde, hvis isen smelter, og det vil til en vis grad udligne den potentielle vandstandsstigning, som den smeltende is afføder.



Figuren viser ændringer i istykkelsen af Grønlands Indlandsis målt over en 16 års periode (2003-2019) af NASA's satellit ICESat-2. Det fremgår, at der sker en kraftig udtynding i randen, mens isen bliver marginalt tykkere på midten.  
Illustration: NASA's Goddard Space Flight Center

I stedet vil små øer syd for ækvator drukne i vand, der kommer til at række op over hustagene i østater som Vanuatu. Et land som Bangladesh hænger både billedligt- og bogstaveligt talt med røven i vandskorpen, så her vil millioner af menneskers hjem blive slettet fra landkortet, hvis klima-udviklingen fortsætter.

Til gengæld kommer vi heroppe til at mærke effekten af, at Antarktis smelter, og mens Grønlands Indlandsis har potentialet til at sende syv meter ekstra havniveau i retning af den sydlige halvkugle, har Antarktis potentialet til at sende hele 58 ekstra meter havvand herop. Farvel til Rundetårn og for den sags skyld også til resten af Danmark, som vil blive reduceret til små atoller, der stikker op som græsklædte knolde i et koldt og ubarmhjertigt klima lige der, hvor Atlanterhavets rasende bølger rammer Østersøen.



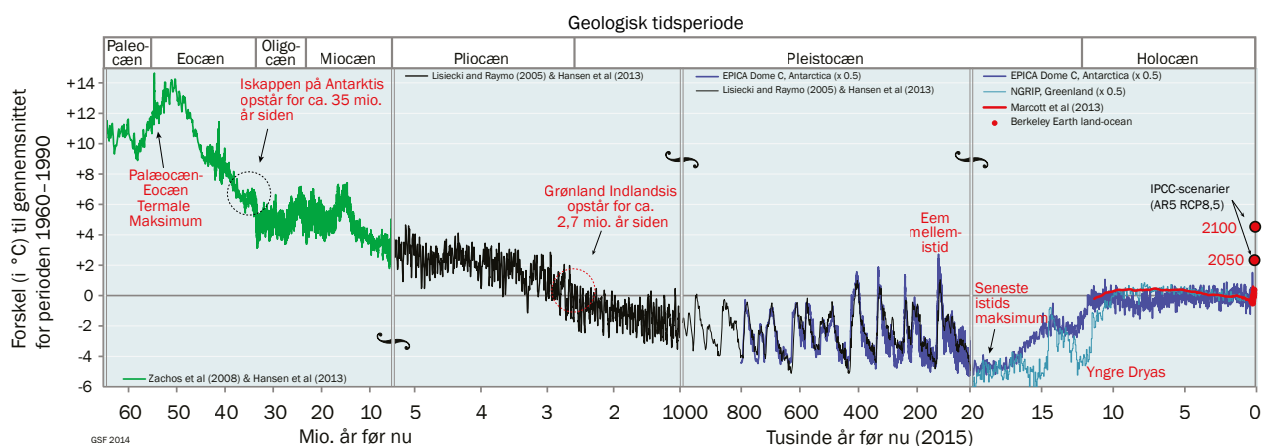
Havstrømme i Nordatlanten. Afkøling og nedsynkning af salt havvand er hovedmotoren for den termohaline cirkulation i verdens oceaner. Denne motor kan svækkes af store mængder fersk smeltevand fra Indlandsisen.

Kilde: Wikipedia & NASA, Goddard Space Flight Center.

Kommer dette scenarie så til at udspille sig lige så dramatisk, som det er malet her? Og i så fald hvornår? Det prøver forskere som David Lundbek Egholm og professor Nicolaj Krog Larsen fra Københavns Universitet at svare på. Det hurtige svar er, at klimaforandringerne effekt på Indlandsisen – og isen på Antarktis – er betydeligt

langsommere om at udspille sig end effekten af udledning af iskoldt ferskvand i det nordlige Atlanterhav.

Når ferskvand strømmer ud fra Indlandsisen, ændrer det ved den såkaldte termohaline cirkulation i verdens oceaner. Hurtigt beskrevet flyder havstrømme i tre dimensioner og bevæger sig rundt om hele kloden i et

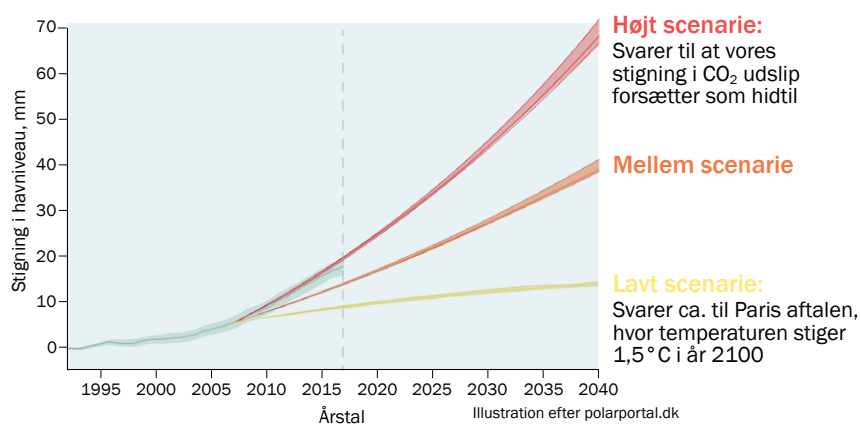


Rekonstrueret temperaturkurve for de seneste godt 60 millioner år af Jordens historie, hvor temperaturniveauet angives i forhold til et gennemsnit for perioden 1960-1990 (bemærk forskellen i tidsskala på x-aksen for de overordnede perioder). Temperaturniveauet er rekonstrueret ud fra såkaldte "proxy-data" – dvs. målbare fænomener som fordelingen af særlige isotoper i sedimenter eller iskerner.

Kilde: CC-BY-SA-3.0 commons.wikimedia.org

Den observerede og forventede havspejlsstigning på grund af afsmeltning fra Grønland og Antarktis ved forskellige klimascenarier. På trods af, at Antarktis rummer et meget større isvolumen (30,1 mio. km<sup>3</sup>) end Grønland (2,38 mio. km<sup>3</sup>), så har afsmeltningen fra Grønland hidtil stået for 2/3 af den observerede havspejlsstigning.

Afsmeltningen af Antarktis er dog ved at få momentum, og konsekvenserne af afsmeltning fra Antarktis forventes også at blive lang større i fremtiden, da den antarktiske is rummer en potentiel havspejlsstigning på hele 58 meter, mens Grønlands Indlandsis "kun" rummer 7,4 meter.



meget fastlåst mønster. Varmt vand fra troperne flyder mod nord, opvarmer blandt andet Danmark, før vandet afkøles, søger mod havbunden for derefter at forsvinde sydpå igen.

Indlagt i den dynamik er, at i Nordatlanten er den termohaline cirkulation til dels bestemt af den mængde ferskvand, som fosser ud fra Indlandsisen. Bliver den mængde større, mister det kolde vand ved Grønland delvist evnen til at synke, og det kan ændre ved dynamikken i havstrømmene. Så kan det i Nordatlanten være et farvel til Golfstrømmen med alt dens lune vand, som måske skifter bane og ikke længere flyder forbi Danmark.

»Mens vandstandsstigninger er langsommere og kommer til at foregå over mange hundrede eller endda tusinder af år, kan ændringer i den termohaline cirkulation godt komme til at ske hurtigere og inden

for århundreder eller måske endda årtier. Når Indlandsisen smelter, er der altså udsigter til ændringer i vandstandsstigninger og klima på både den korte og lange bane,« siger David Lundbek Egholm.

### Fortiden skal gøre os klogere på fremtiden

For at blive klogere på, hvad vi har i udsigt over de kommende 30, 100 eller 1.000 år, kigger forskerne tilbage i tiden til perioder, hvor verdenstemperaturen har lignet den, vi har i dag eller er på vej mod.

For 120.000 år siden var verden ligesom nu i en såkaldt mellemistid, hvor temperaturen i perioder var ca. en grad højere end, hvad temperaturen har været de seneste 10.000 år – altså lige indtil industrialiseringen, hvor vi mennesker gennem massiv CO<sub>2</sub>-udledning begyndte at sætte et stort aftryk på det globale klima. For 120.000 år siden var sid-

ste gang, at det var så varmt, som det er nu. Det kan forskere se ved blandt andet at kigge på udbredelsen af dyr og planter på forskellige kontinenter, hvor udbredelse af blandt andet skove afslører, hvor varmt det var i perioden.

Når forskerne ydermere kigger tilbage på, hvordan vandstanden i verdenshavene så ud dengang, ser de, at vandet stod seks til ni meter højere. Det kan man blandt andet se i kystområder, hvor det er tydeligt, at vandet har gnavet i kystlinjen i klipper, der i dag ligger langt over havets nuværende niveau.

»Vi kan se, at den temperatur, som vi har i dag, modsvarer en vandstandsstigning på yderligere seks til ni meter i forhold til det nuværende niveau. At vi alligevel ikke har det skyldes, at Indlandsisen og iskappen over Antarktis reagerer forholdsvist langsomt på klimafor-



## Kosmiske stråler afslører, om der var is i Grønland

Når David Lundbek Egholm og Nicolaj Krog Larsen sammen med deres kollegaer skal afgøre, om der i et givent område af Grønland har været is i fortiden, indsamler forskerne først nogle prøver af klipper fra den store ø. Disse klippestykker kan komme fra eksempelvis de strømme, som leder smeltevand ud fra under Indlandsisen, eller hvis forskerne er rigtige heldige, kommer de fra boringer hele vejen ned gennem iskappen.

Prøverne knuser forskerne til et pulver, som de opløser i syre for at frigive alle de indlejrede grundstoffer. Specielt er forskerne interesserede i isotoper af grundstofferne Beryllium og Aluminium. Når disse to grundstoffer ligger blottede for verdensrummets kosmiske stråler, bliver en del af grundstofferne lavet om til isotopene Beryllium-10 og Aluminium-26. Hvis der ligger en iskappe hen over klipperne, beskytter iskappen klipperne mod de kosmiske stråler, og så bliver forholdet mellem isotopene forskudt, fordi de henfalder med forskellige halveringstider.

Når forskerne har knust og opløst deres prøver, kan

de analysere prøverne med massespektroskopi, som fortæller dem, hvor stor en del af de to grundstoffer der findes som Beryllium-10 og Aluminium-26. Det afslører over for forskerne, om der har været isdække i millioner af år, eller om isen har været forsvundet, og klipperne har været eksponeret.

Nogle af disse målinger fra det centrale Grønland viser, at der inden for de seneste to millioner år har været isfrit ad flere omgange. Det betyder dog ikke, at hele Grønland har været isfrit. David Lundbek Egholm fortæller, at den østlige del af Grønland er præget af høje bjerge, der kan have beskyttet en iskappe fra at smelte. Ligeledes kan der også have eksisteret iskapper mod nord og mod syd, selvom midten af Grønland var blotlagt.

»Ved at lave flere og flere af denne slags undersøgelser kan vi få en idé om udbredelsen af Indlandsisen i fortiden, og det vil give os en indikation af, hvad der kommer til at smelte i fremtiden, hvis ikke temperaturen falder,« siger David Lundbek Egholm.

andringerne, så de har ikke endnu justeret ismængden til den nuværende temperatur. Men vi har med de menneskeskabte klimaforandringer lagt i kakkelloven til, at vandet kan stige til de niveauer en dag om flere hundrede år. Derfor er det nødvendigt, at vi bringer atmosfærens CO<sub>2</sub>-indhold ned igen inden da,« forklarer David Lundbek Egholm.

### Angriber problemet fra flere vinkler

Når forskere som Nicolaj Krog Larsen og David Lundbek Egholm skal blive klogere på Indlandsisens

udbredelse under den seneste mellemistid, griber de fat i forskellige metoder til at belyse spørgsmålet. Blandt andet undersøger forskerne iskerneboringer for at finde ud af, om der overhovedet var is i Grønland for 120.000 år siden. Hvis der ikke var det, er det en indikator på, at vi er på vej mod et isfrit Grønland og syv meter højere verdenshave, hvis vi bibeholder den nuværende temperatur.

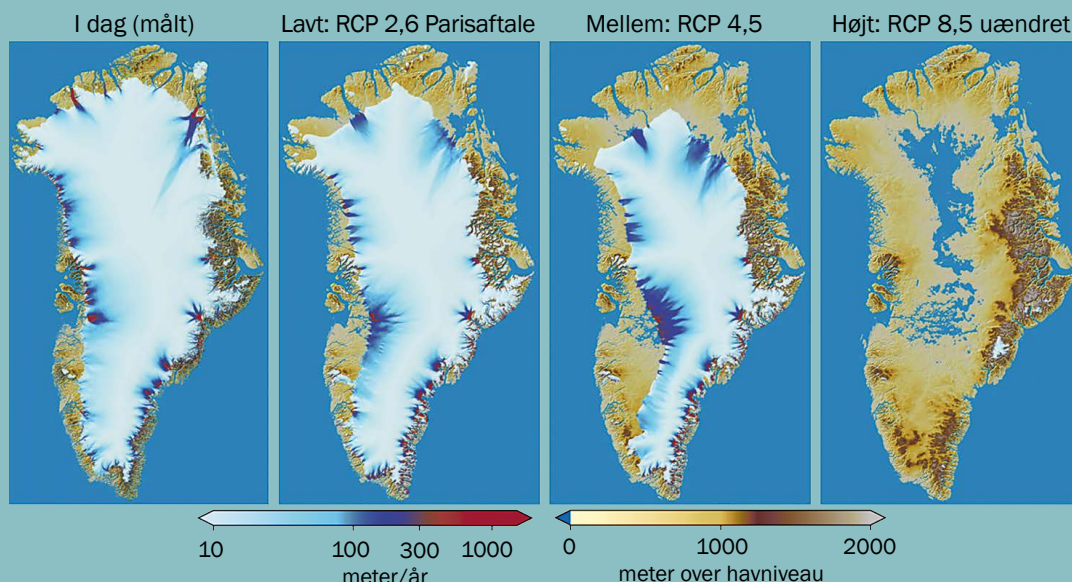
Når forskerne skal identificere, om der var is i Grønland i fortiden, borer de langt ned i iskappen og tæller meget simpelt antallet af

islag, som bliver dannet år for år. Her har danske forskere fra Københavns Universitet som eksempel fundet beviser for en iskappe over Grønland for 120.000 år siden, hvilket indikerer, at den nuværende temperatur i hvert fald ikke er høj nok til at få alt isen til at smelte.

Forskere kan også ved at analysere indholdet af forskellige isotoper i sten fra under iskappen bestemme, om der inden for de seneste par millioner år permanent har ligget is i et givent område, eller om der kan have været isfrit.

Figuren viser forskellige scenarier for Grønlands Indlandsis i fremtiden. Helt til venstre ses situationen i dag (2018), mens de øvrige er mulige scenarier om 3000 år ved forskellig klimapåvirkning. Scenariet RCP 2.6 er, hvis CO<sub>2</sub>-udledning følger Paris-aftalen, mens RCP 8.5 er det såkaldte "Business as usual" – altså, at der ikke gøres noget for at begrænse CO<sub>2</sub>-udledningen.

Illustration fra: Aschwanden, A. et al: Science Advances, Vol. 5, no. 6, eaav9396



## Grønland kan blive til én stor sø af ferskvand

David Lundbek Egholms forskningsmæssige hjertebarn, når det kommer til den grønlandske Indlandsis, er ikke isen i sig selv, men landskabet nedenunder isen.

Inden for de seneste 10 år har forskere med hjælp fra avancerede radartechnikker fået et indblik i, hvordan jordoverfladen ser ud under Indlandsisen. Her har de blandt andet set, at der er store kløfter, som smeltet vand har skabt i fortiden.

Et andet interessant perspektiv i den grønlandske undergrund er, at hele Grønland er trykket så meget ned af den kilometer tykke iskappe, at en stor del af den store ø faktisk ligger under havets overflade. Det betyder, at hvis man antager, at alt isen smelter, så vil en stor del af det faktisk ikke rende ud i havet med det samme, men vil i stedet danne en gigantisk ferskvandssø, hvor den nuværende grønlandske kyststrækning vil være søbredden. Denne sø vil langsomt dræne ud i havet, men det er muligt, at der i perioder kan

komme store skyl af ferskvand fra søen ud i havet, og det vil have katastrofale konsekvenser for havstrømme, havet, dyrene i det og det globale klima.

Når isen smelter, vil landjorden desuden begynde at hæve sig igen, så Grønland langsomt vil stige op af havet som et omvendt Atlantis. Denne proces er dog uhyggelig langsom, hvilket vi også kender til fra Danmark. For mere end 20.000 år siden var dele af Danmark også dækket af en kilometer tyk iskappe, som sidenhen smeltede. Iskappen trykkede vores landjord ned, og Danmark stiger stadig op af havet – dog ikke så hurtigt, som det har gjort tidligere.

»Det kan man blandt andet se ved, at vi i Nordjylland har havbund. Den stammer fra et tidspunkt, hvor Nordjylland endnu ikke var steget op over havets overflade, som det er nu. Sådan vil det også være i Grønland, hvis alt isen smelter. Så vil den fulde effekt også tage 10.000 til 20.000 år,« siger David Egholm.

Til sidst, men ikke mindst, prøver forskere også i borekerner, der går helt ned til jordoverfladen under Indlandsisen, at identificere spor efter planter og skove, som kun kan have vokset der, hvis der har været isfrit.

»Det gælder for os alle sammen om at finde ud af, hvor stor udbredelsen af Indlandsisen har været i sammenlignelige perioder med den, som vi lever i nu. Hvis vi kan identificere, hvor stor en del af isen, som

smeltede den gang, kan vi bruge det til at gøre vores modeller for fremtidens iskappedække endnu mere præcise og dermed også lave mere præcise beregninger af, hvordan klimaet og verden kommer til at se ud over de næste hundrede eller tusinde år,« siger David Egholm.

David Lundbek Egholm fortæller også, at forskere fra både den nordlige og sydlige halvkugle lige nu prøver at finde ud af, hvor meget Antarktis og Indlandsisen hver især

har bidraget til fortidens havniveau-stigninger. Her er der endnu ikke enighed.

»Forskere debatterer, hvor vandet kom fra: Antarktis eller Grønland? Forskere, der arbejder med Indlandsisen, mener, at det meste af vandstandsstigningerne måtte komme fra Antarktis, og forskere, der arbejder med Antarktis, mener, at hovedparten kom fra den Grønlandske Indlandsis. Det mangler vi også at få afklaret,« siger han. ■