

1. Tema

Klima- ændringer

15

Danmark bliver varmere i disse år. Siden 1980 er årsmiddeltemperaturen steget godt 1°C. Det har bl.a. muliggjort vinavl, og der er over 1.300 vinavlere i Danmark.

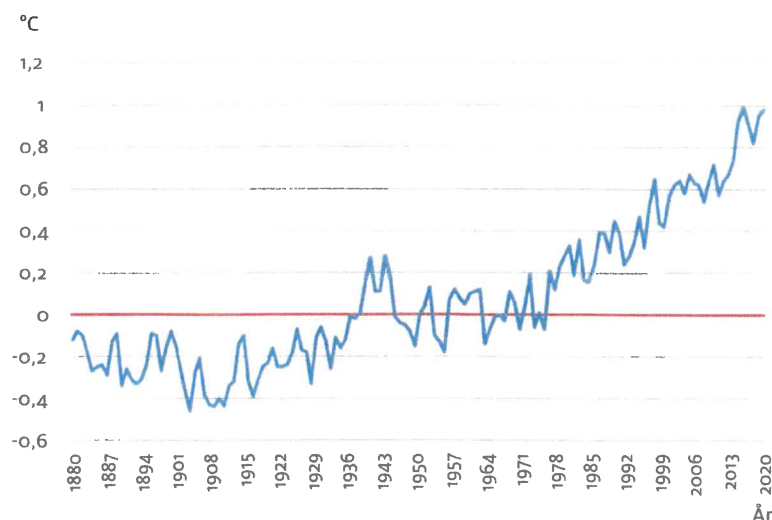
De stigende temperaturer i Danmark er del af en global opvarmning, som kommer til at påvirke alle mennesker på jorden. I den rige del af verden vil boliger, produktionsvirksomheder, transportmidler, forbrugsmuligheder og fritidsaktiviteter sandsynligvis blive anderledes i fremtidens varmere verden. Blandt verdens fattige bliver der ikke kun tale om tilpasning til et varmere klima, men også om kamp for overlevelse og måske flugt fra et ødelagt naturgrundlag. Særligt udsatte er de mange millioner i den fattige verden, der lever i kystområder. Et stigende havniveau vil fjerne deres livsgrundlag.

Hvor stor en global opvarmning er der egentlig tale om? Og hvad er menneskets rolle i den opvarmning?

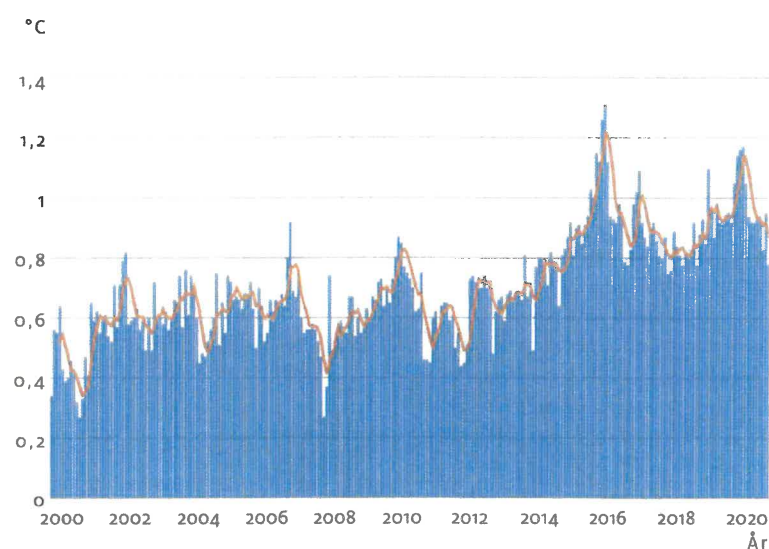
Det internationale samfund har siden FN's første miljøtopmøde i 1992 i Rio de Janeiro haft klimapolitik på dagsordenen. Men hvorfor har de internationale klimaforhandlinger været så konfliktfyldte og ikke gjort en større forskel?



Figur 1.1: Global gennemsnitstemperatur i perioden 1880-2020 med afvigelser fra gennemsnittet af perioden 1961-1990 (angivet som 0,0 grader celcius) Kilder: NOAA og NCDC



Figur 1.2: Månedlige afvigelser fra den globale middeltemperatur i perioden 1961-1990. Kilder: NOAA og NCDC.

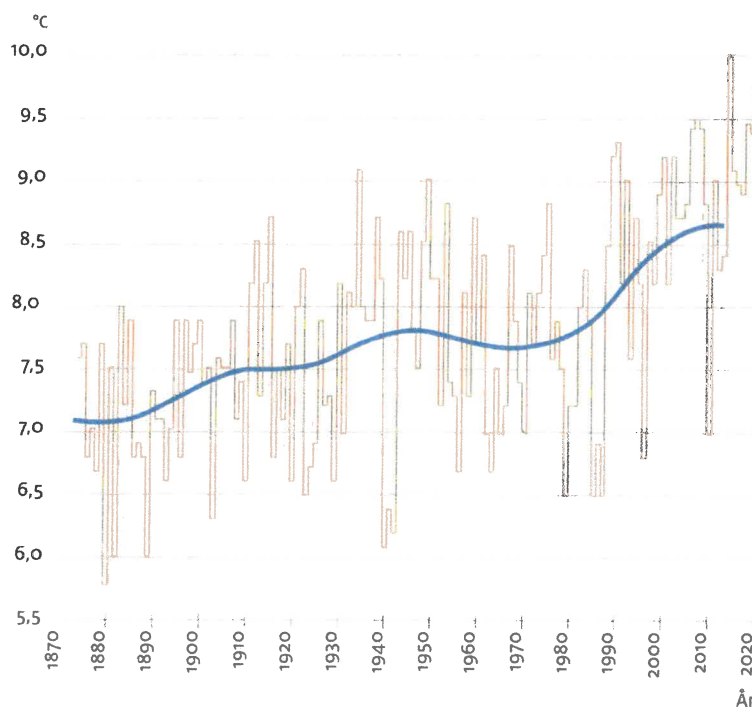


Global opvarmning

I Danmark varierer vejret fra år til år. En varm sommer kan blive efterfulgt af en kold sommer. Nogle år eller måneder er særligt varme eller kolde. Men er der i disse variationer mere vedvarende ændringer, eller er det blot tilfældige variationer?

For at kunne vurdere om klimaet har ændret sig og fortsat ændrer sig, er man nødt til at have en referenceperiode, noget man opfatter som det normale klima. Her kan bruges forskellige referenceperioder. Figur 1.1 viser udviklingen i den globale middeltemperatur med 1880-2020 som referenceperiode. Det ses, at jordens middeltemperatur i 2020 ligger omkring 1°C højere sammenlignet med 1880.

Jordens gennemsnitstemperatur bygger på temperaturmålinger på målestationer fordelt over jordens overflade. Nettet af målestationer er ikke jævnt fordelt, fx er der langt mellem målestationerne i oceanerne og



Figur 1.3: Middeltemperaturen i Danmark 1873-2020. Den blå kurve angiver udjævnet temperaturudvikling. Bemærk, at 2010 var et relativt koldt år i Danmark i modsætning til på kloden som helhed. Danmarks middeltemperatur ud fra referenceperioden 1961-1990 er 7,7 °C. Den nye referenceperiode 1991-2020 har en middeltemperatur på 8,7 °C. Kilde: DMI, 2022

i tyndtbefolkede områder. Et andet problem er *urbaneffekten*, der gør, at målinger i byområder giver for høje værdier. Begge dele bliver der så vidt muligt korigeret for i udregningen af den globale middeltemperatur.

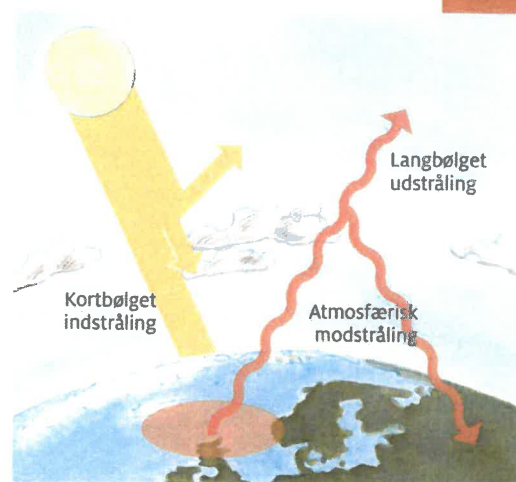
Meteorologer har, som figur 1.1 viser, siden slutningen af 1800-tallet kunnet beregne jordens gennemsnitstemperatur ud fra data fra det globale net af målestationer. Målinger viser, som nævnt, en global opvarmning på godt 1 °C. Data viser også, at der ikke er tale om en kontinuerlig stigning siden 1880. Stigningen er koncentreret i to perioder, nemlig 1910-1945 og 1980-2017. Det er værd at bemærke, at temperaturen viser tendens til et fald i perioden 1945-1980.

Det er også værd at bemærke, at den globale temperatur stagnerede i det første årti efter årtusindskiftet, på et relativt højt niveau vel at mærke (figur 1.2). I Danmark er temperaturen steget relativt mere end det globale gennemsnitsniveau. Siden 1870 er temperaturen steget ca. 1,5 °C ifølge DMI (figur 1.3).

Menneskeskabte klimaændringer

Atmosfærens *naturlige drivhuseffekt* gør, at solens kortbølgede indstråling stort set passerer gennem atmosfæren og absorberes af jordoverfladen (figur 1.4). Men det meste af jordens langbølgede udstråling bliver absorberet af atmosfærens vanddamp, vanddråber (skyer), kuldioxid (CO₂) og methan (CH₄).

Atmosfæren bliver som følge heraf varmet op og sender modstråling tilbage mod jordoverfladen, der er med til at holde temperaturen oppe. Uden denne naturlige drivhuseffekt ville jordens gennemsnitstemperatur være 33 °C lavere. Med andre ord er den naturlige drivhuseffekt ganske nødvendig for livet på jorden.



Figur 1.4: Atmosfærens drivhuseffekt. Solens kortbølgede indstråling passerer relativt uhindret gennem atmosfæren, mens jordens langbølgede udstråling i stort omfang absorberes af atmosfærens drivhusgasser. Som følge heraf sendes noget af energien tilbage mod jordoverfladen som atmosfærisk modstråling.

Figur 1.5: Afbrændt regnskovsområde i Myanmar.



1980-2005	Mia. tons				Tons pr. indbygger			
	1980	1990	2000	2005	1980	1990	2000	2005
Verden	19.536	22.585	24.714	29.257	4,4	4,3	4,1	4,5
I-lande	10.593	11.003	12.564	13.100	12,2	11,8	12,5	12,6
U-lande	8.014	10.194	11.051	14.564	2,3	2,4	2,2	2,7
Mellemindkomstlande	7.548	9.675	10.477	13.842	2,6	2,8	2,7	3,3
Lavindkomstlande	467	519	575	722	0,7	0,7	0,5	0,6
Afrika syd for Sahara	373	463	550	649	1,0	0,9	0,8	0,8
Tanzania	2	2	3	5	0,1	0,1	0,1	0,1
Egypten	45	75	156	173	1,0	1,4	2,3	2,4
Kina	1.477	2.399	3.338	5.548	1,5	2,1	2,6	4,3
Vietnam	17	21	54	102	0,3	0,3	0,7	1,2
Nicaragua	2	3	4	4	0,6	0,6	0,7	0,7
Brasilien	183	203	308	325	1,5	1,4	1,8	1,7
Polen	456	348	301	302	12,8	9,1	7,8	7,9
USA	4.604	4.798	5.646	5.776	20,3	19,2	20,0	19,5
Danmark	63	50	46	46	12,3	9,7	8,7	8,5

Figur 1.6: CO₂-udslip 1980-2005. Kilde: Verdensbanken, 2009.

CO₂-indhold

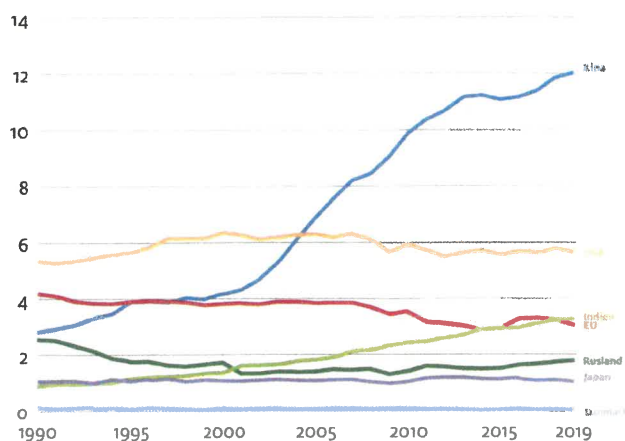
Siden industrialiseringens start i 1800-tallet har mennesket bragt ubalance i kulstofkredsløbet ved at afbrænde enorme mængder af fossile brændsler. Indskrænkninger af verdens skovareal har også bidraget. Verdens lande har ikke lige stort ansvar for denne uheldige udvikling (se figur 1.6 og 1.7).

Resultatet er, at CO₂-indholdet i atmosfæren er steget dramatisk fra et førindustrielt niveau på ca. 280 ppm til over 400 ppm i dag (figur 1.8 og 1.9). Parts pr. million (ppm) betyder antal CO₂-molekyler pr. million luftmolekyler.

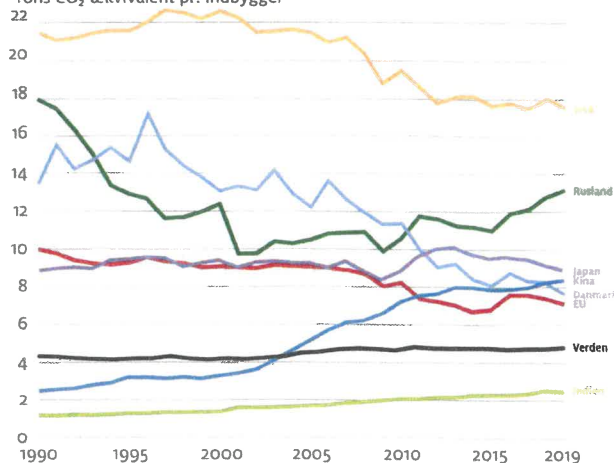
Oceanerne har dog opløst og optaget en del af den udledte CO₂, og det har afdæmpet stigningen i atmosfærens CO₂-indhold.

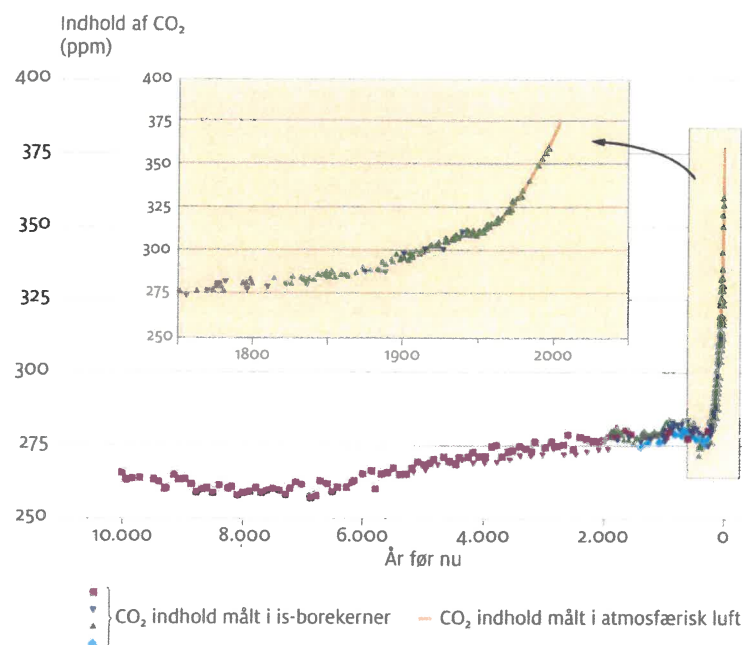
Figur 1.7: Udviklingen i CO₂-udledningen, både den samlede udledning og udledningen pr. indbygger for en række lande. Kilde: FN's Miljøprogram, UNEP, 2020.

Mia. tons CO₂-ækvivalent i alt

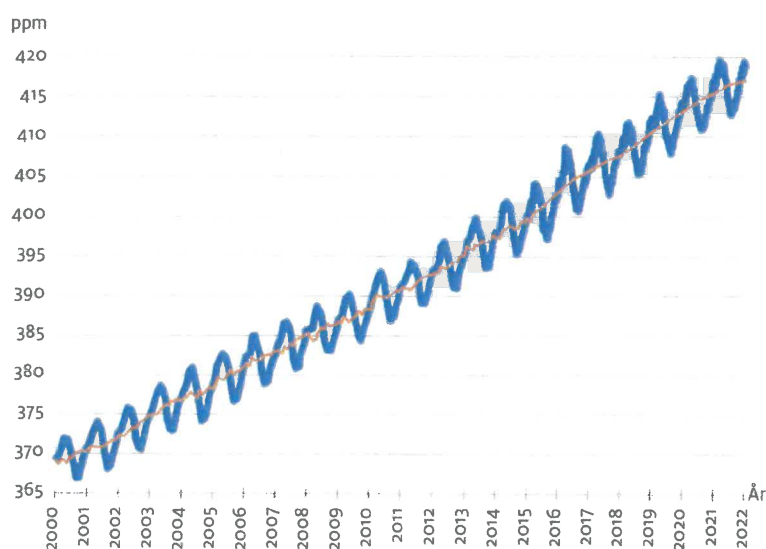


Tons CO₂-ækvivalent pr. indbygger





Figur 1.8: CO₂-indholdet i atmosfæren de seneste 10.000 år målt ud fra iskerner og ud fra direkte målinger i atmosfæren siden 1958. Kilde: Klimaændringer: Menneskehedens hidtil største udfordring, red. Hans Meltofte, Danmarks Miljøundersøgelser og Forlaget Hovedland, 2008.



Figur 1.9: Udviklingen i atmosfærens indhold af CO₂ i perioden 2000-2022. Atmosfærens indhold af CO₂ svinger på årsplan som følge af opbygning af biomasse (i vækstsæsonen) og nedbrydning af biomasse. Kilder: NOAA og ESRL.

Andre drivhusgasser

Indholdet af CH₄ er også steget dramatisk fra et førindustrielt niveau på 750 ppb (parts pr. billion, milliardte dele) til omkring 1.800 ppb (figur 1.11). Stigningen stammer blandt andet fra en større kvægbestand på jorden, fra anaerobe processer i oversvømmede rismarker, fra afbrænding af biomasse og udslip fra kullagre og lossepladser.

Mennesket har også gennem kvælstofgødningen i landbruget og afbrændingen af biomasse forårsaget et stigende indhold af lattergas (N₂O) i atmosfæren, ligesom atmosfæren er blevet tilført en række halogener (CFC-gasser).

Figur 1.10: Drivhusgassen methan (CH₄) udledes, når køerne på marken bøvs og prutter.



Drivhusgas	Opvarmning af kloden i %	Opvarmnings- evne CO ₂ = 1	Atmosfærisk levetid (år)	Vækst
CO ₂	50	1	50-200	Er vokset fra 280 ppm til 390 ppm siden industrialiseringen. Er vokset ca. 3 % p.a. siden årtusindskiftet Vækstraten er stigende
CFC- og HCFC-gasser	20	12.000-15.000	12-50	Ca. 5 % p.a.
CH ₄	15	21	12	Er vokset fra 750 ppb til ca. 1.800 ppb siden industrialiseringen. Vækstraten er faldende
N ₂ O	5	200	120	Er vokset fra 270 ppb til 319 ppb siden industrialiseringen

Figur 1.11: Oversigt over de vigtigste drivhusgasser, som mennesket har forøget koncentrationen af. HCFC-gasser er erstatningsgasser for de nu udfasede CFC-gasser.

Menneskets forøgelse af drivhusgasser i atmosfæren gør, at man taler om en *menneskeskabt drivhuseffekt*.

Resultatet er, at den atmosfæriske modstråling er vokset med en stigende temperatur til følge. Det store problem er altså ikke den naturlige drivhuseffekt, men den menneskeskabte drivhuseffekt med en lang række til dels uoverskuelige og negative konsekvenser til følge.

Det skal dog også nævnes, at afbrænding af fossile brændsler tilfører atmosfæren aerosoler. Aerosoler reflekterer, spreder og absorberer en del af solens indstråling og har dermed dæmpet temperaturstigningen.

Problemet er desværre ikke kun den forøgede modstråling som følge af de forhøjede koncentrationer af drivhusgasser, men også en række tilbagekoblingsmekanismer.

Tilbagekoblingsmekanisme

Klima-jordsystemet er et eksempel på en tilbagekoblingsmekanisme, der defineres af en række delsystemer:

- atmosfæren
- hydrosfæren: oceaner, søer og floder
- kryosfæren: havis, indlandsis og gletsjere
- jordoverfladen og skorpen
- biosfæren: planter, dyr og mikroorganismer.

Ændringer i ét af disse delsystemer til ofte have virkning i de andre delsystemer, og det gør klimaudviklingen kompliceret. Man taler i den forbindelse om *tilbagekoblingsmekanismer*. Positiv tilbagekobling, hvis den påvirkede sfære reagerer ved at forstærke den udvikling, der er i gang, og negativ tilbagekobling, hvis ændringen dæmpes.

Vigtige tilbagekoblingsmekanismer er følgende:

- Stigende temperatur medfører, at kryosfæren mindskes. Det mindsker jordens samlede albedo og øger opvarmningen (positiv tilbagekobling).
- En opvarmning af atmosfæren vil medføre, at oceanerne varmes op. Varmt vand er ringere til at opløse og optage CO₂, dvs. atmosfærens indhold af CO₂ vil stige endnu hurtigere (positiv tilbagekobling).

Figur 1.12: Kilimanjaro. Temperaturstigninger får sneen på Afrikas højeste bjerg, Kilimanjaro (5.895 m), til at smelte.



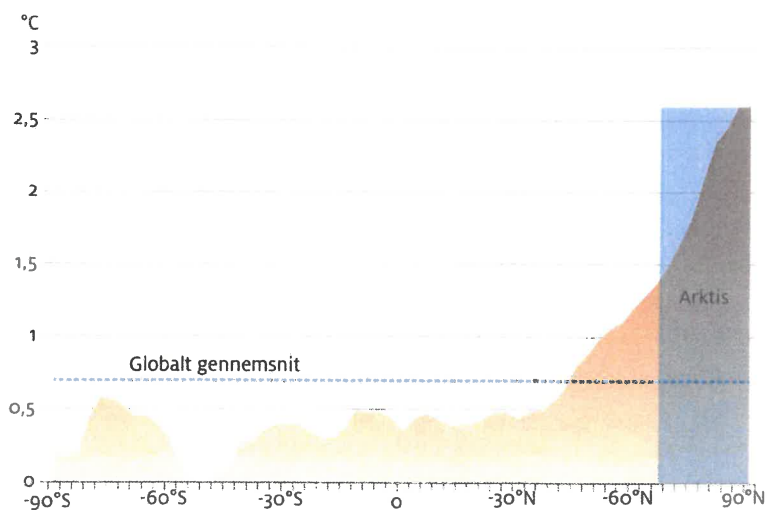
- En varmere atmosfære indeholder mere vanddamp. Vanddampen er en drivhusgas (positiv tilbagekobling), men er også skydannende (negativ tilbagekobling).
- En varmere atmosfære med et højere indhold af CO_2 vil forøge biosfæren og dermed sænke CO_2 -niveauet (negativ tilbagekobling).
- Den store opvarmning, som især finder sted på breddegraderne nær polerne, vil betyde, at dele af tundraen tør. Det vil gennem anaerob omsætning frigøre store mængder CH_4 (positiv tilbagekobling).

Konsekvenser af den globale opvarmning

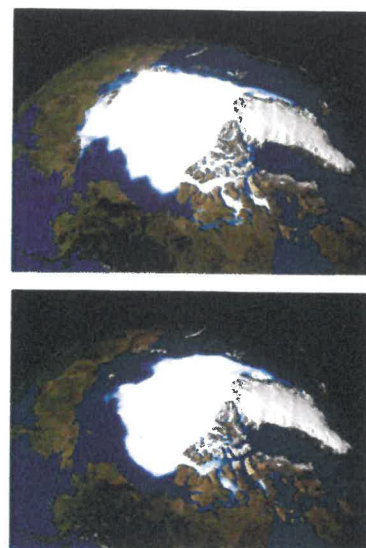
Den globale opvarmning ses tydeligt i de arktiske områder. Det er også dette område, der har oplevet den største temperaturstigning (figur 1.13 og 1.14).

Følgerne af den store temperaturstigning ses på havisen. Havisens udbredelse varierer på to måder. Udbredelsen svinger med årstiden: Havisen har størst udbredelse i marts og mindst i september. Desuden varierer havisens udbredelse fra år til år. Men siden 1980 er havisens udbredelse formindsket betragteligt (figur 1.15).

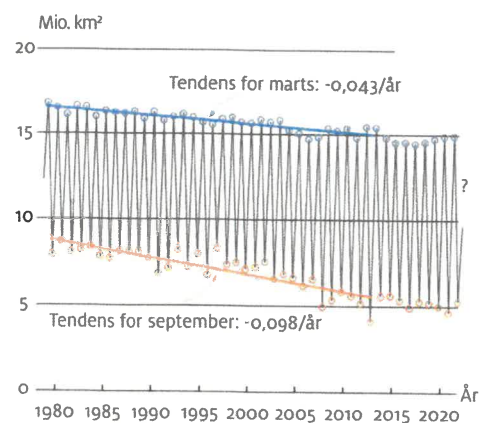
Der har været meget fokus på den smeltende grønlandske indlandsis. Isen er rykket tilbage og er blevet tyndere ved randen. Indlandsisen får tilført masse gennem snefaldet, og mister masse gennem afsmeltning og gletsjerstrømme ud i havet. Samlet set har indlandsisen mistet en enorm masse de seneste årtier. Samtidig er en voksende del af overfladen udsat for smeltning om sommeren.



Figur 1.14: Den gennemsnitlige temperaturstigning i de seneste 50 år har været størst i Arktis. Det er set i forhold til referenceperioden 1951-1980. Kilde: Arctic Councils rapport 2009, Dorthe Dahl-Jensen mfl.



Figur 1.13: Havisens udbredelse i henholdsvis september 1979 og 2005.



Figur 1.15: Havisens udbredelse ved Arktis i marts og september måned målt med satellit. Kilde: EUMETSAT OSI SAF.

