



Fortidens klimaforandringer

maj 2020

Camilla S. Andresen, Mads Faurshou-Knudsen og Marit-Solveig Seidenkrantz

Hvordan kan vi vide om global opvarmning i vores tid er menneskeskabt – eller om det er et naturligt fænomen?

Kan vi studere temperatursvingninger fra før mennesket?

Kan vi på den baggrund sige noget om menneskets andel i den nuværende temperaturudvikling?



Ordforklaring:

Global opvarmning: Det bliver varmere på Jorden

Fænomen: En begivenhed

Læringspointer

- Jeg ved at klima naturligt forandrer sig på både langsomme og hurtige tidskalaer
- Jeg kan forklare de overordnede årsager til naturlige klimaforandringer
- Jeg kan vurdere om den globale opvarmning er menneskeskabt og usædvanlig



Ordforklaring:

Klima: Når man taler om klima, så taler man om fx Jordens typiske vejrforhold mht. temperatur, nedbør, fugtighed, lufttryk m.m. - målt over en lang periode fx 30 år.

Tidsskala: En skala er betydet "en trappe", så en tidsskala/tidstrappe kan være stejl eller mindre stejl.



Foto: Hans-Jürgen Röttger



Foto: Bruce Warrington

Geologiske undersøgelser af gamle jordlag afslører, at klimaet i fortiden ofte har været meget forskelligt fra klimaet i dag. F.eks. har der været varme perioder, hvor der levede krokodiller og voksede palmer i et isfrit Arktis. I andre perioder har det været så koldt, at store iskapper bredte sig fra nord og dækkede hele Danmark med en 500-1000 meter tyk iskappe.

Ordforklaring:

Geologi: Geologi beskriver Jordens opbygning og udvikling, herunder livets udvikling.

Arktis: Arktis er området omkring Nordpolen.

Iskappe: En iskappe er en kuppelformet ismasse, der dækker et stort landområde.



Foto: Hans-Jürgen Röttger



Foto: Bruce Warrington

For at forstå vor tids klima, så er det vigtigt at vide noget om fortidens naturlige klimaforandringer



Foto: Hans-Jürgen Röttger



Foto: Bruce Warrington

Hvis jordens klima på naturlig vis har så store udsving, nytter det så at bekymre sig om den menneskeskabte globale opvarmning?

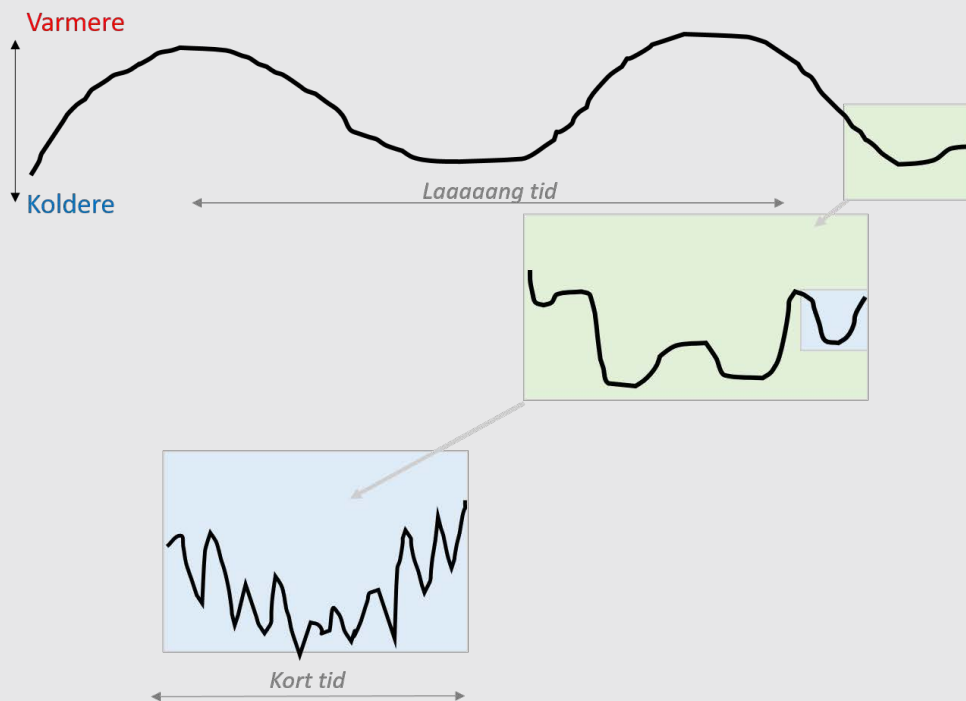
Måske er den menneskeskabte globale opvarmning bare er lidt 'støj på linien' i jordens lange klimahistorie?

Klimaforskning og geologiske undersøgelser af:

- gamle jordlag i klipper
- mudderkerner opboret fra havbunden og dybe søer
- gammel is i iskapperne fra Grønland og Antarktis

afslører at klimaet varierer naturligt på mange tidsskalaer - samtidigt.

De helt store temperaturudsving forløber over adskillige millioner år

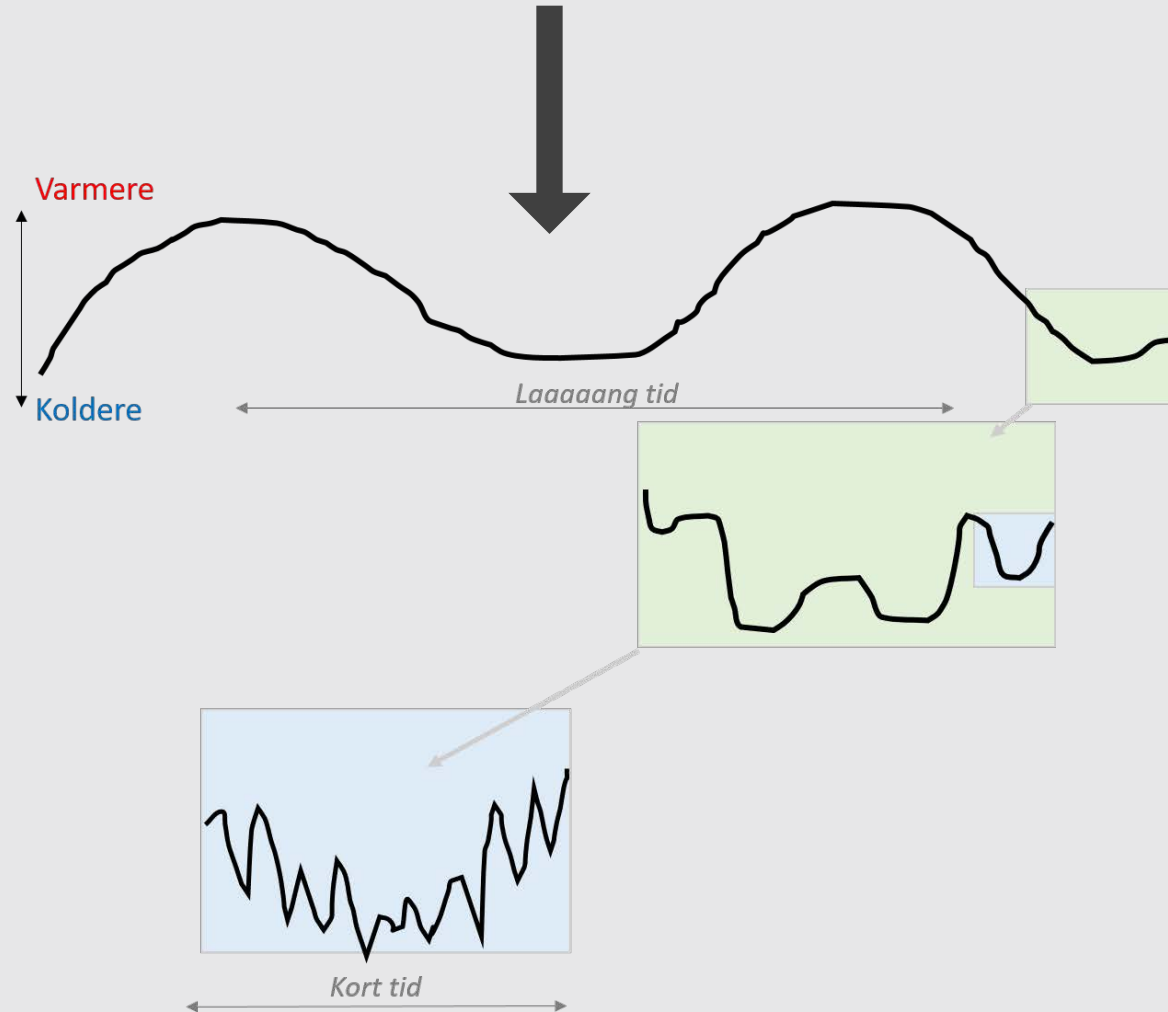


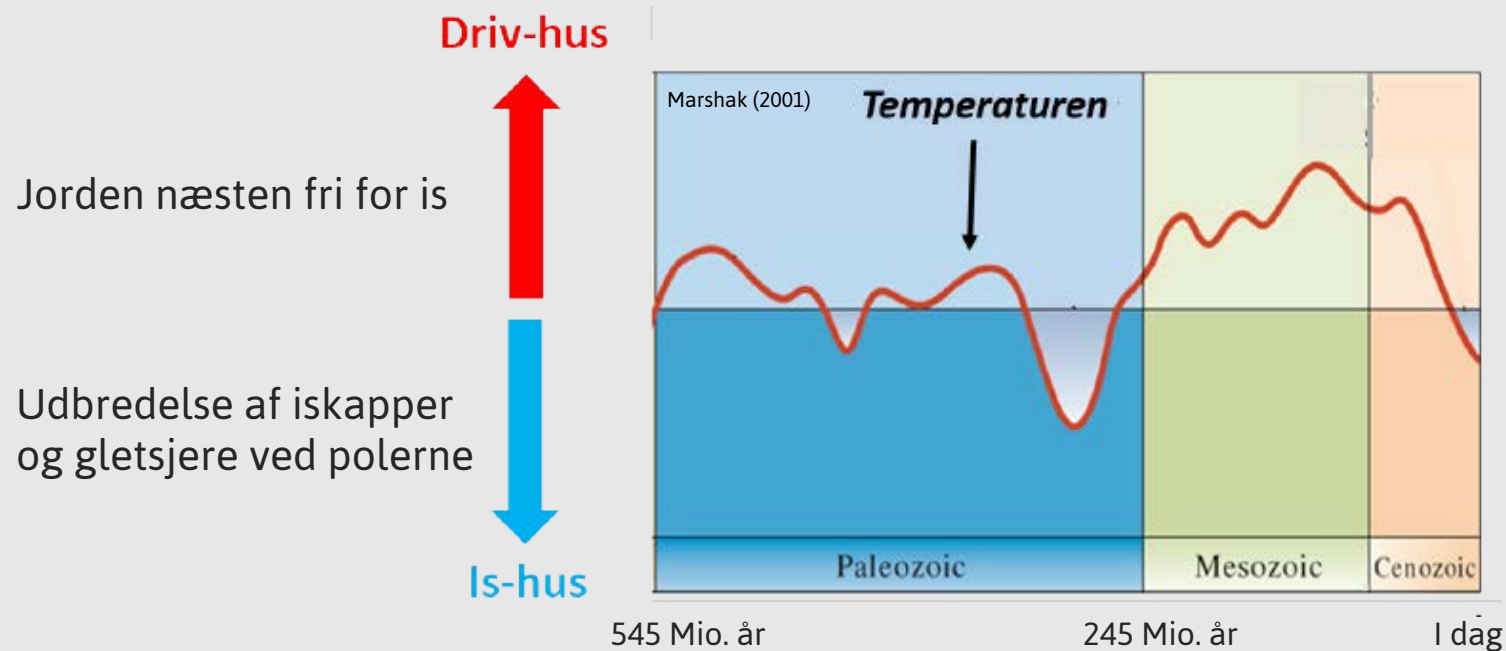
Zoomer vi ind på korterevarende perioder, så kan vi dog se, at klimaet også oplever temperaturudsving på kortere tidsintervaller.

Ordforklaring:

Antarktis: Antarktis er området omkring Sydpolen

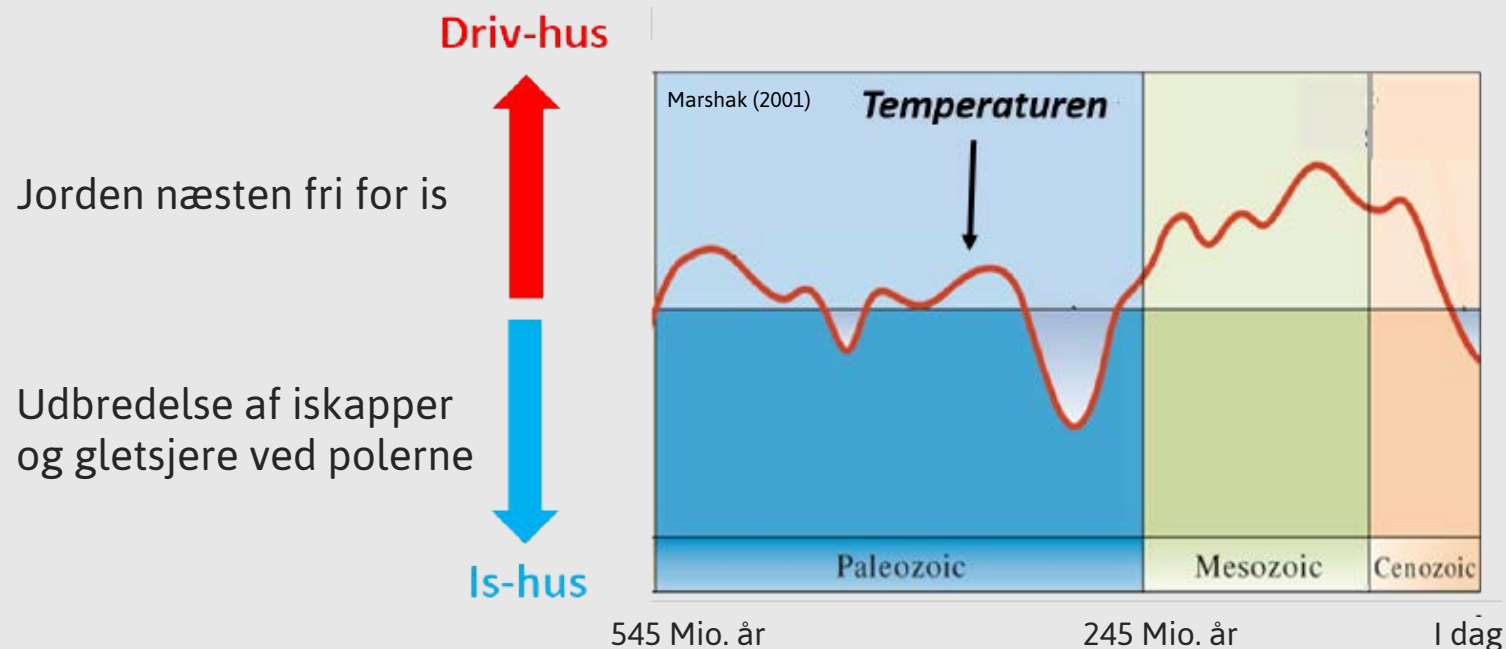
Vi skal starte med at se på den meget lange tidsskala
millioner af år





Se på denne model.

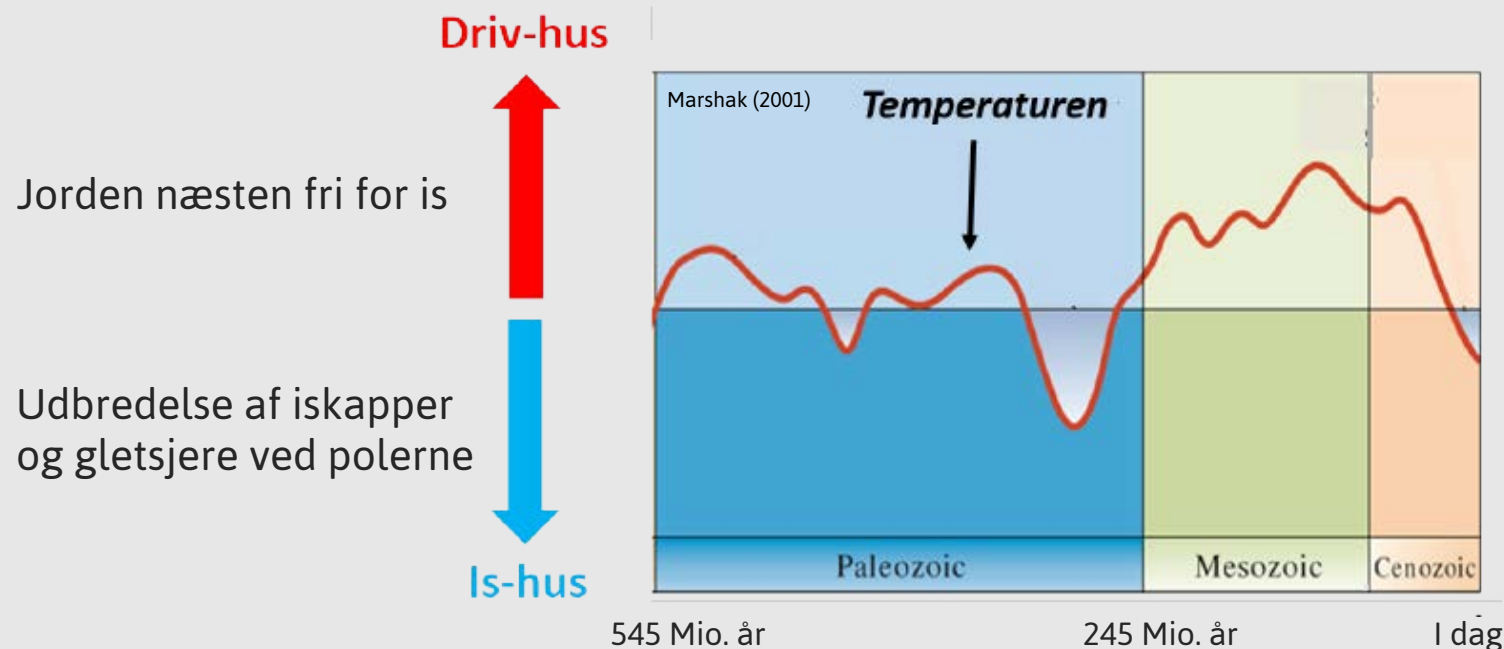
Hvilke informationer kan du finde, og hvad tror du, at den viser?



En drivhusperiode er den periode, hvor jorden har været eller næsten har været fri for is

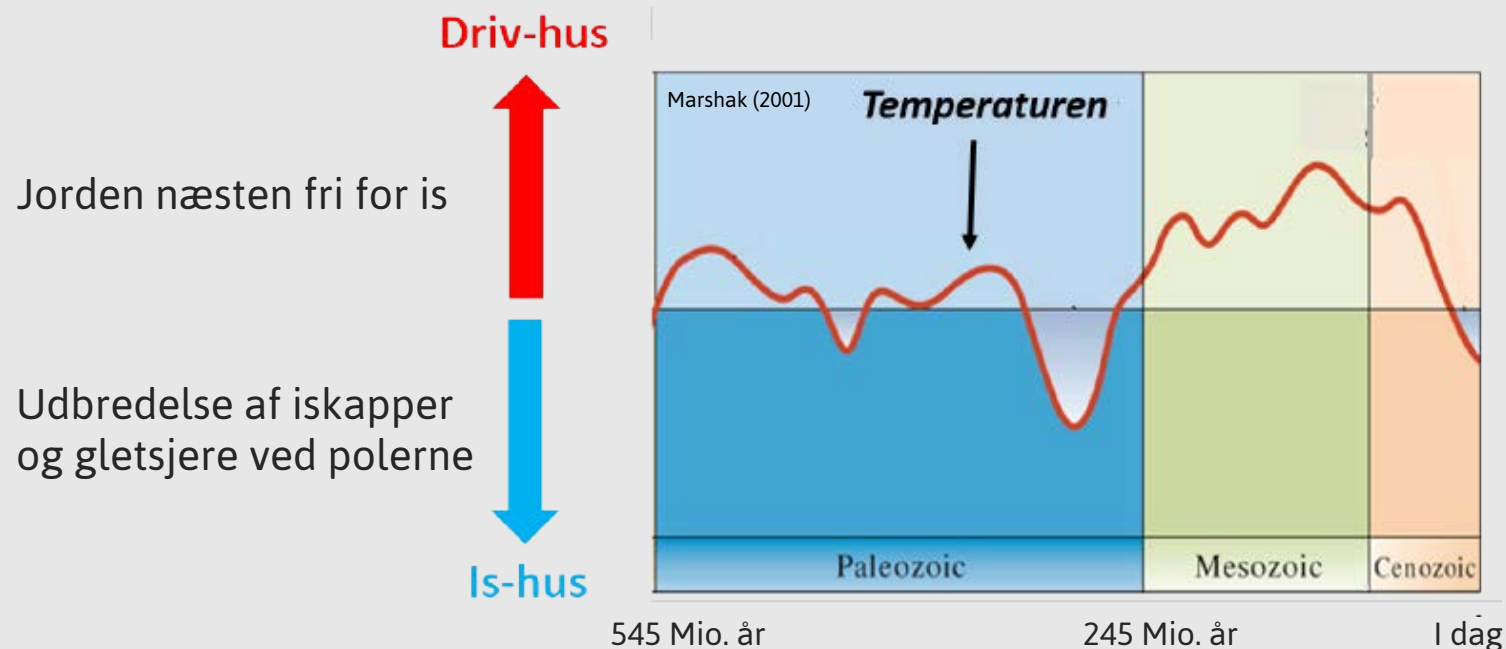
En ishusperiode er den periode, hvor man ved, at der har været iskapper og gletsjere ved polerne

Er vi inde i en ishus- eller en drivhusperiode lige nu?



Modellen viser *relative* globale temperaturændringer gennem de seneste 545 mio. år. Modellen er lavet af forskere på baggrund af tusindvis af geologiske undersøgelser af fortidens jordlag som fx prøver fra:

- gamle jordlag i klipper
- mudderkerner opboret fra havbunden og dybe søer
- gammel is i iskapperne fra Grønland og Antarktis

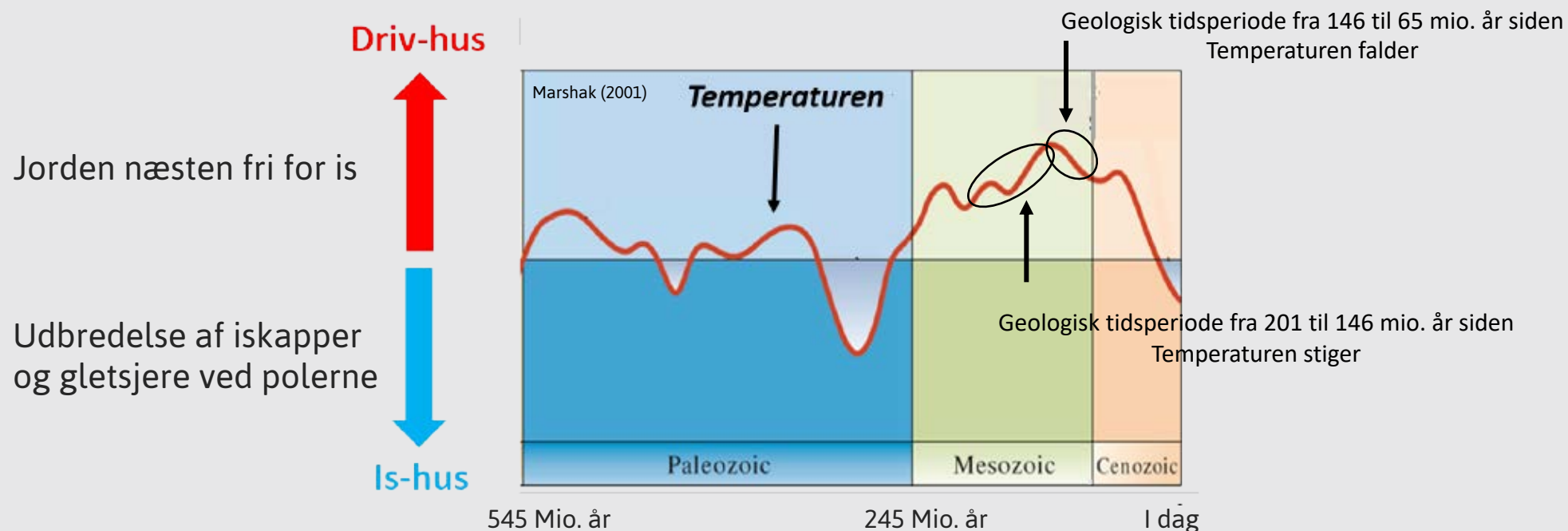


Der er altså temperaturudsving længe før, der kom mennesker.

Hvor længe har der været mennesker på Jorden?

Vi kan prøve at se på temperaturkurven under sidste drivhusperiode. Da drivhusperioden toppede først steg og dernæst faldt temperaturen. Dette skete i løbet af to geologiske tidsperioder.

Kender du navnene på de to geologiske tidsperioder, der er markeret i det grønne område?

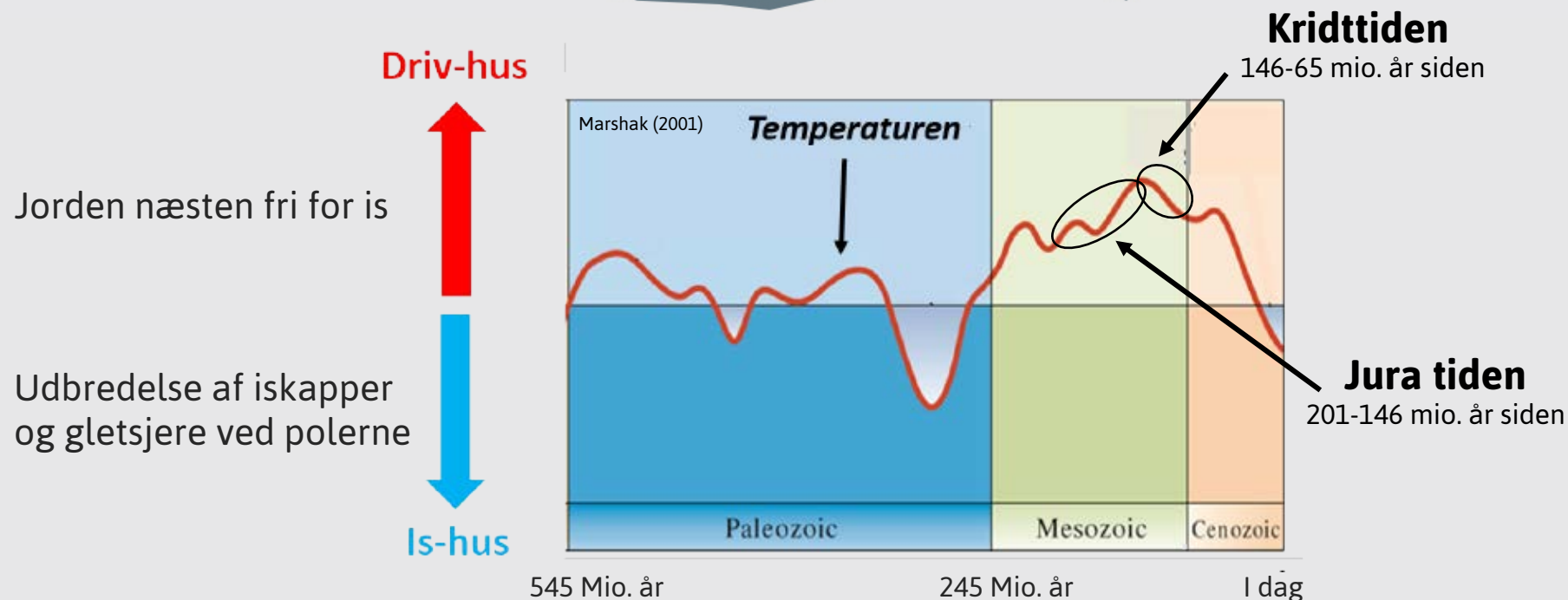


Der er altså temperaturudsving længe før, der kom mennesker.

Hvor længe har der været mennesker på Jorden?

Vi kan prøve at se på temperaturkurven under sidste drivhusperiode. Da drivhusperioden toppede først steg og dernæst faldt temperaturen. Dette skete i løbet af to geologiske tidsperioder.

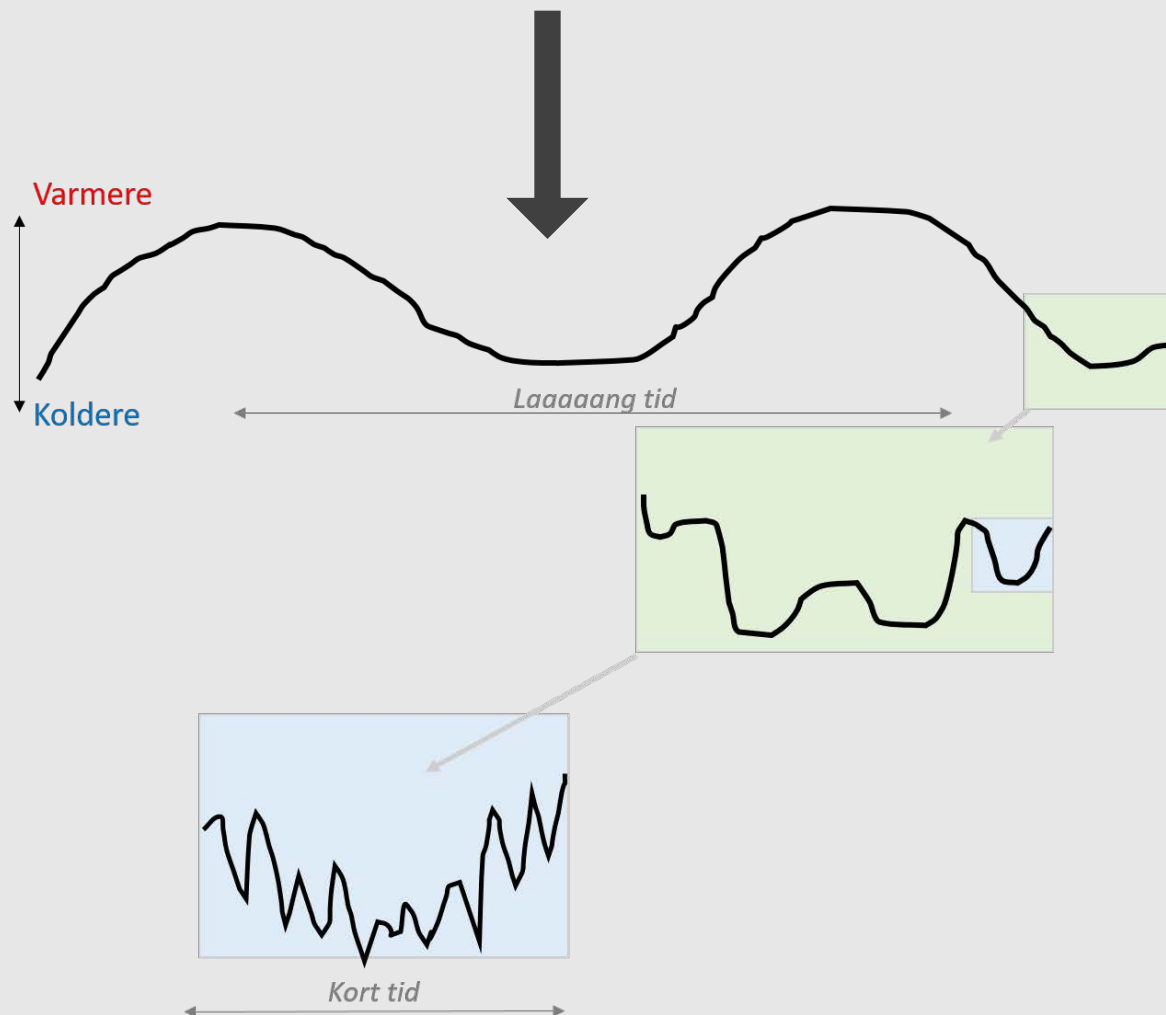
Kender du navnene på det to geologiske tidsperioder, der er markeret i det grønne område?



Hvorfor var jorden i en drivhus-periode i Jura- og Kridtiden, hvor temperaturen gennemsnitligt var 10-15 grader varmere end i dag?

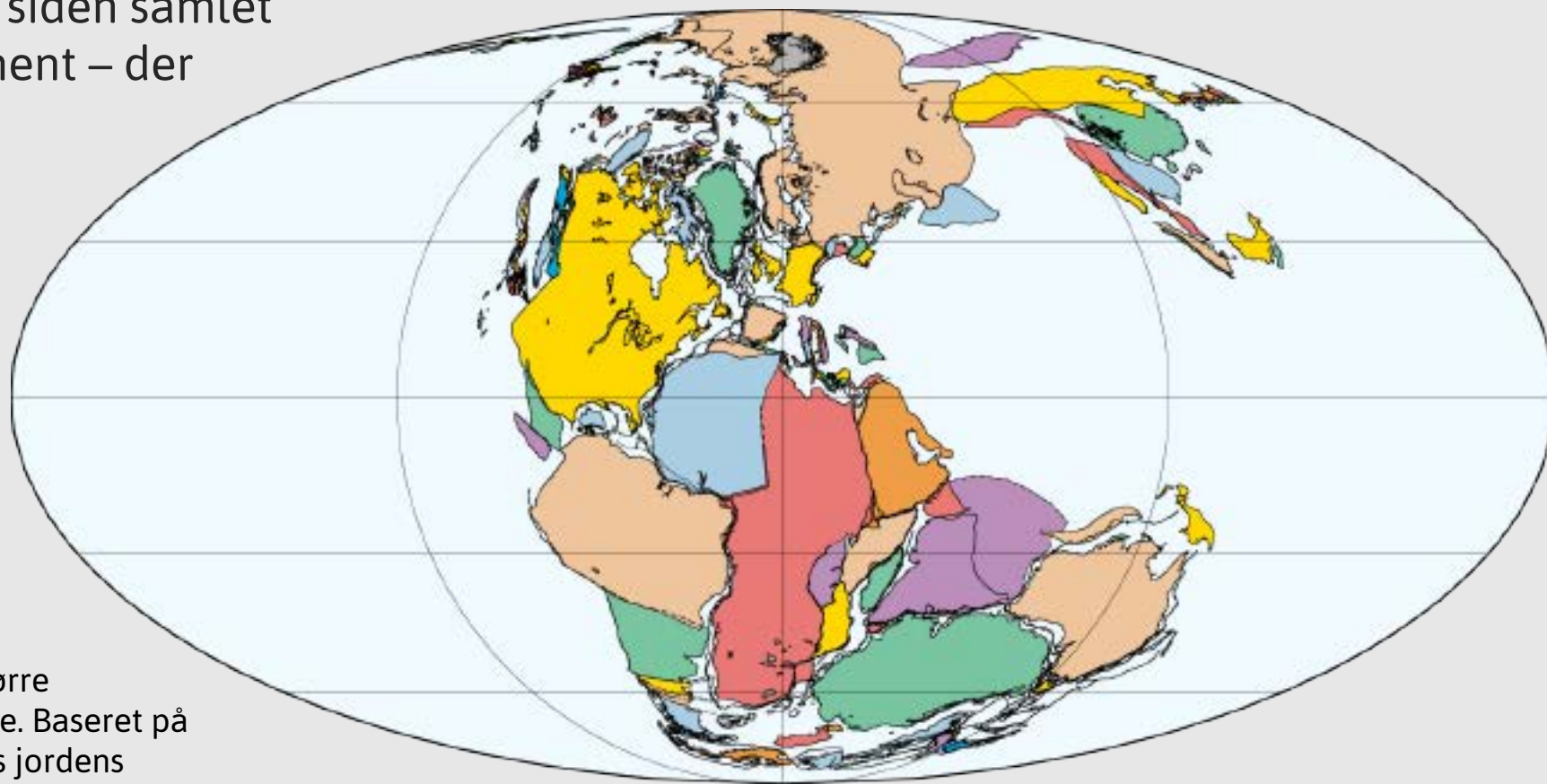
Hvorfor har jorden bevæget sig gradvist fra at være i en drivhus-periode under Jura- og Kridttiden, hvor Jorden var næsten fri for is - til at være i en is-hus periode i dag, hvor vi har iskapper ved polerne?

Det er *pladetektonikken* der styrer de udsving i klimaet, som sker over adskillige millioner af år.



Ordforklaring:
Pladetektonik: Jordens ydre, faste del er opdelt i stive plader, som bevæger sig i forhold til hinanden – de bevægelser kalder man pladetektonik.

Jordens kontinenter var i Jura-tiden for **180 mio. år** siden samlet i et stort superkontinent – der bliver kaldt Pangea.

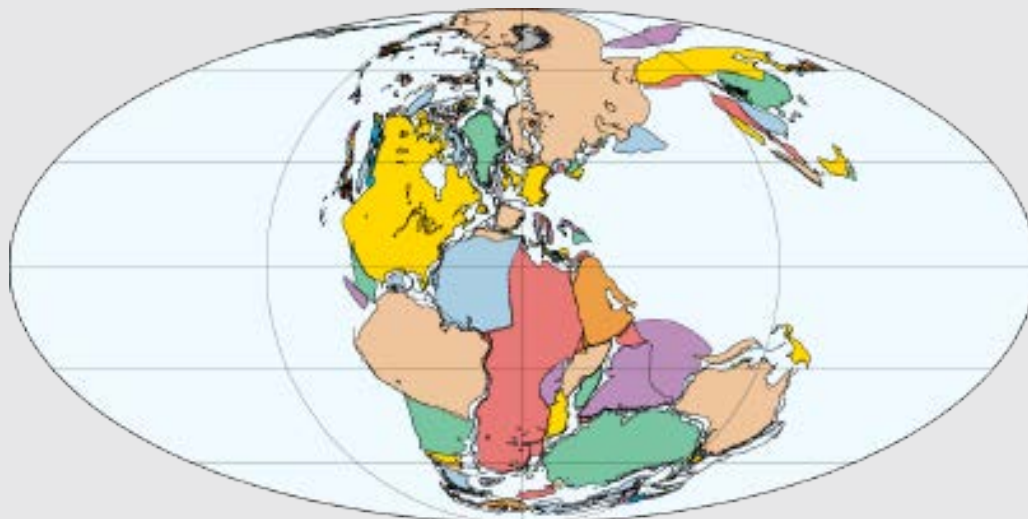


Ordforklaring:

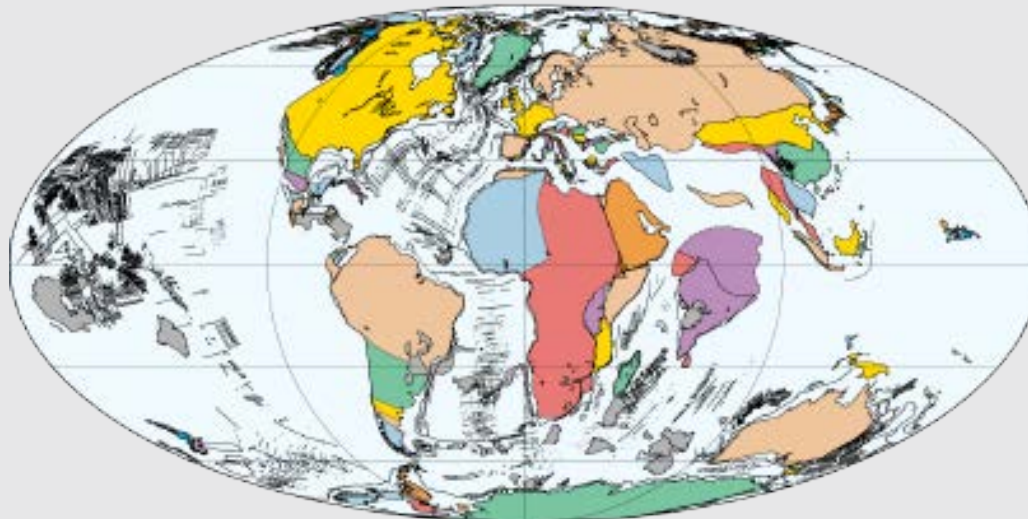
Kontinent: **Kontinent er en** større sammenhængende landmasse. Baseret på tektoniske processer inddeles jordens kontinentalskorpe i

kontinenter: Eurasien, Afrika, Nordamerika, Sydamerika, Ant-arktis og Australien.

Superkontinentet Pangea splittede op i løbet af sidste del af Jura-tiden og i Kridt-tiden. Det betød, at der over millioner af år konstant blev dannet ny havbundsplade.

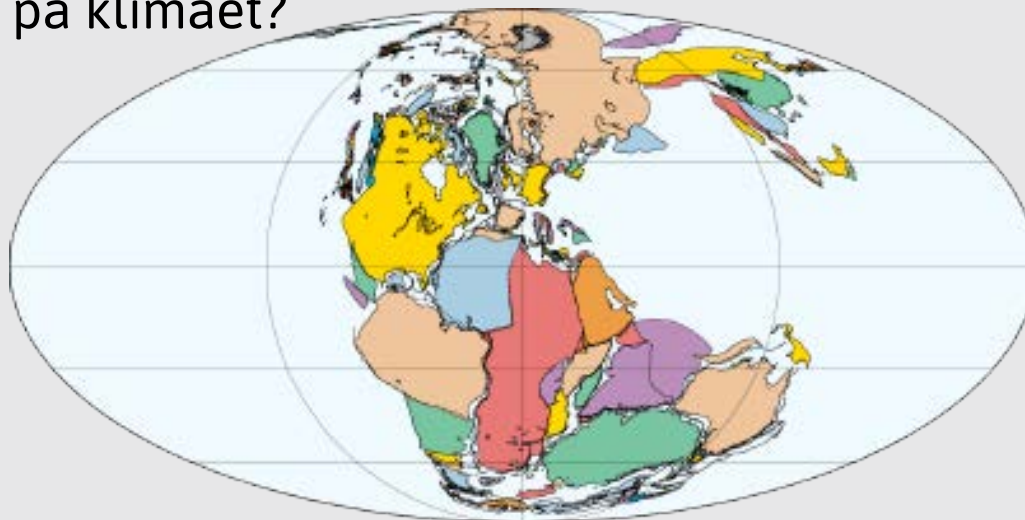


Jordens
kontinenter for
180 mio. år siden
D.v.s under Jura-tiden

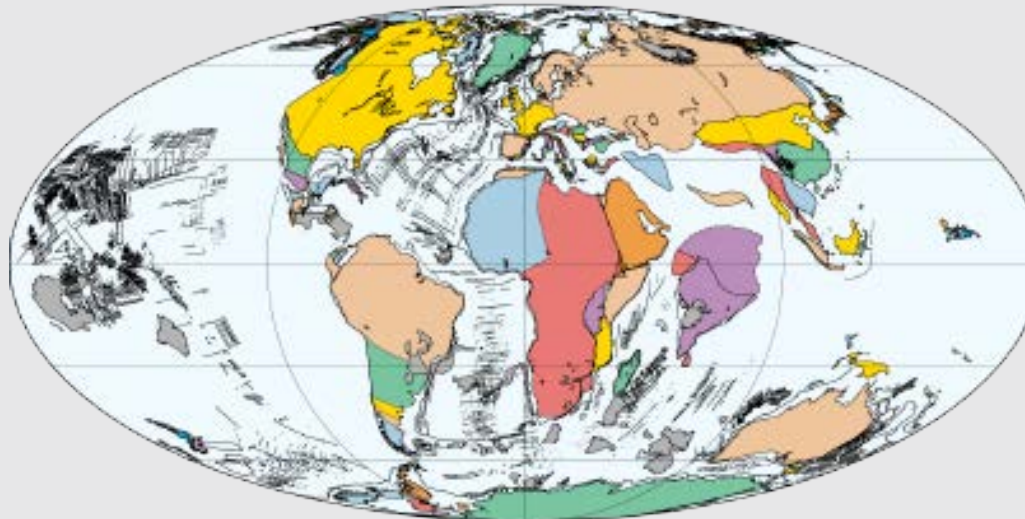


Jordens
kontinenter for
60 mio. år siden
D.v.s lige efter Kridt-tiden

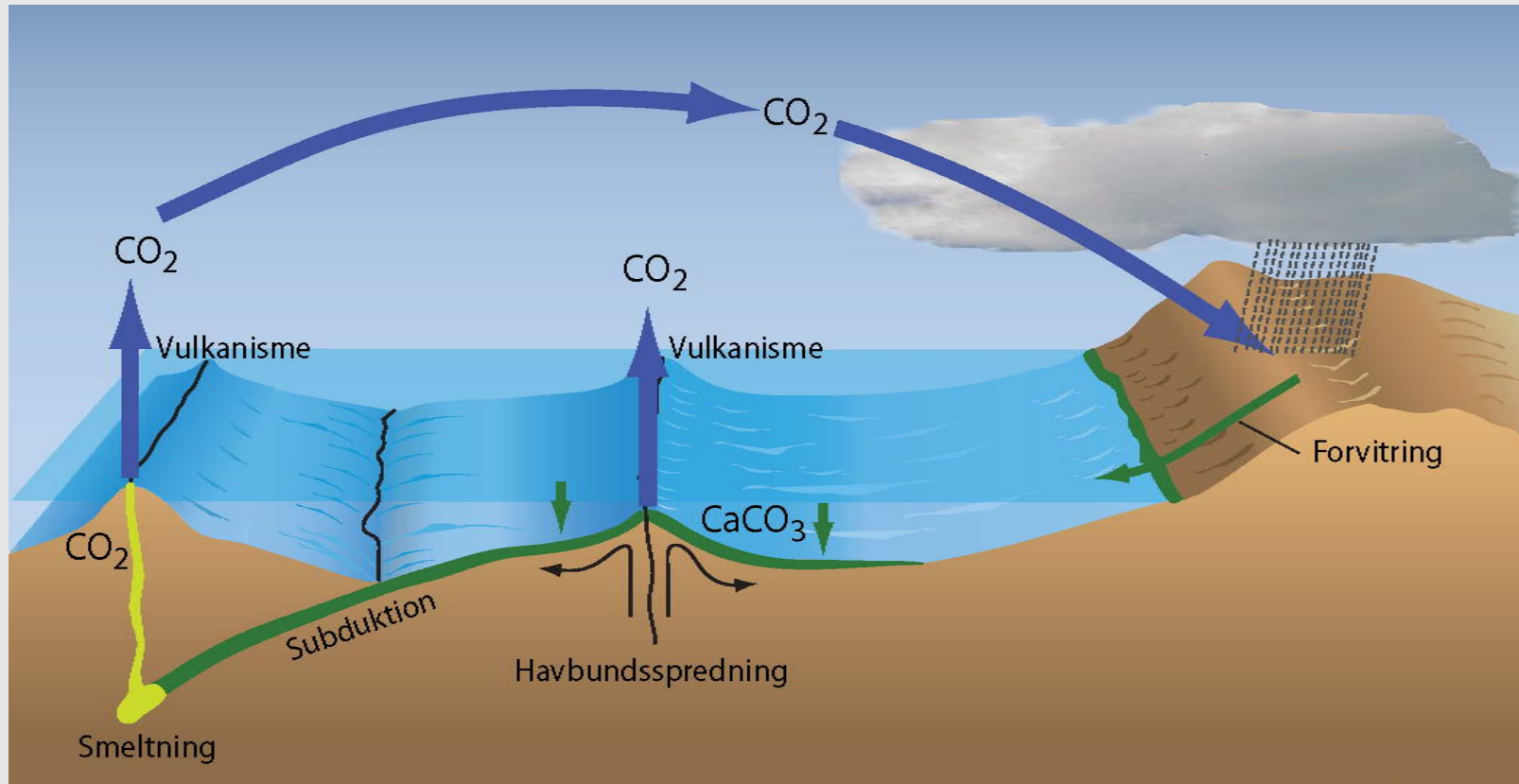
Men hvorfor havde disse
pladebevægelser indflydelse på klimaet?



Jordens
kontinenter for
180 mio. år siden
D.v.s under Jura-tiden

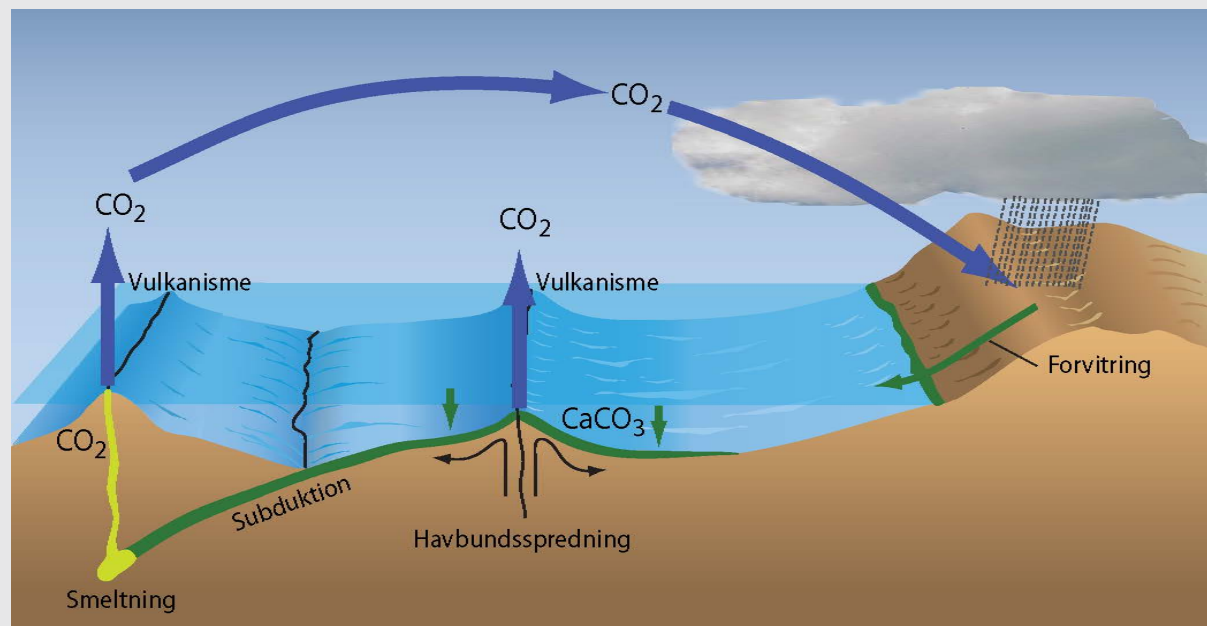


Jordens
kontinenter for
60 mio. år siden
D.v.s lige efter Kridt-tiden



Diskutér med din sidemakker.

Hvilke informationer kan I finde, og hvad mener I modellen viser?



Den langvarige havbundsspredning betød øget CO_2 til atmosfæren.
 Processen bag pladetektonikkens indflydelse på klima er som følger:

Øget havbundsspredning -> Kraftigere vulkanisme -> Mere CO_2 i atmosfæren -> **Varmere klima**

mens omvendt,

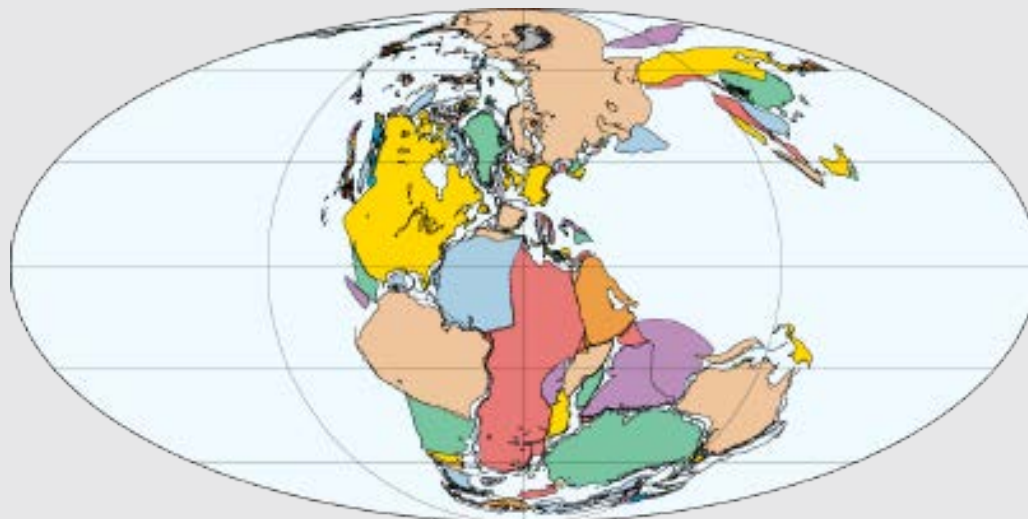
Kollision af kontinenter -> Hævning og forvitring -> kemisk reaktion mellem forvitrede mineraler og syreregn (CO_2 -holdig regn) -> Mindre CO_2 i atmosfæren (fordi CO_2 optages gennem nedbrydning af mineralerne i klipperne) -> **Koldere klima**

Så den langvarige dannelse af havbund i løbet af Jura og Kridttiden er altså forklaringen på denne tids varme drivhus forhold.

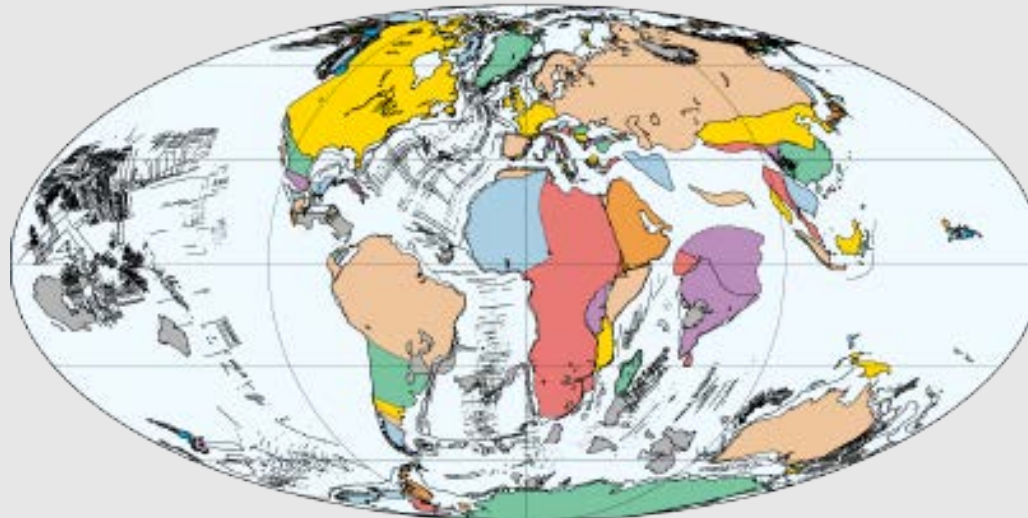
Diskutér med din sidemakker:

Prøv at se på det nederste verdenskort og sammenlign det med det med nutidens verdenskort.

Diskutér hvilke kollisionsbegivenheder (hvor kontinenter støder sammen), der kan forklare det langvarige temperaturfald efter Kridttiden og indtil i dag, hvor vi er i en ishus-periode med iskapper på polerne?



Jordens
kontinenter for
180 mio. år siden
D.v.s under Jura-tiden

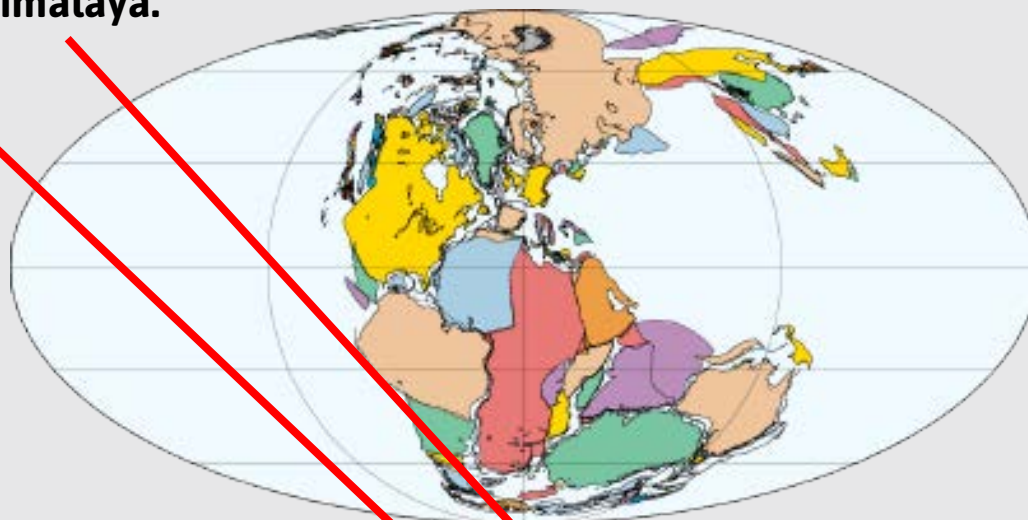


Jordens
kontinenter for
60 mio. år siden
D.v.s lige efter Kridt-tiden

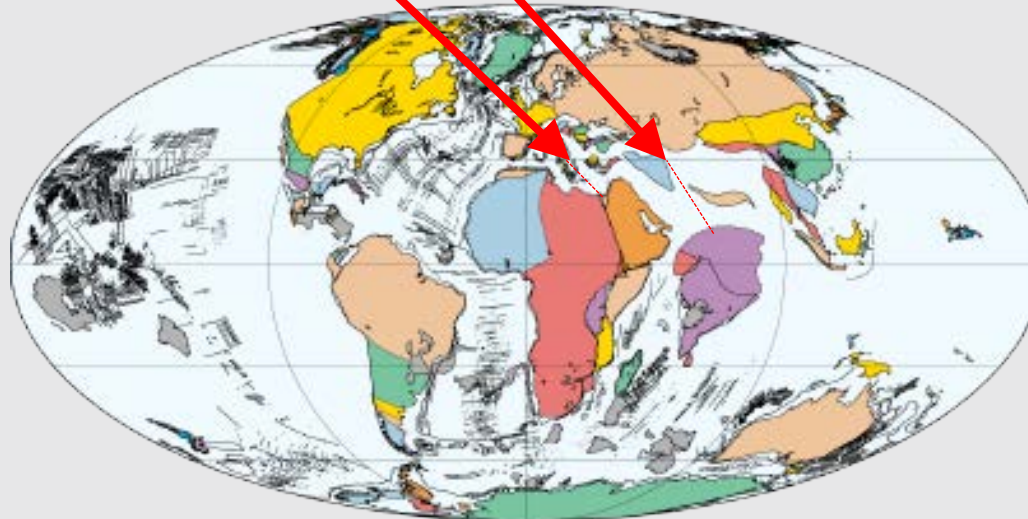
**Det er de afrikanske og indiske kontinenter der støder ind i det Eurassiske kontinent (Europa og Asien).
Derved dannes bjergkæderne i Alperne og Himalaya.**

- De store nye bjergkæder og deres klipper blev nedbrudt af regn.
- Regnen var syreholdig, fordi den indeholdt CO₂ fra atmosfæren.
- Mineralerne i bjergene reagerer med den syreholdige regn og danner nye typer af mineraler
- Disse nye mineraler binder C fra den syreholdige regn.
- De C-holdige nye mineraler blev ført med floder ud til havet og blev begravet på havets bund.
- Dermed var atmosfæren blevet fattigere på CO₂ - og det blev langsomt koldere.

Til sidst blev det så koldt, at jorden gik ind i den nuværende ishus-periode.



Jordens
kontinenter for
180 mio. år siden
D.v.s under Jura-tiden



Jordens
kontinenter for
60 mio. år siden
D.v.s lige efter Kridt-tiden

Vigtigt at huske om tektonisk styrede klimaforandringer:

De klimatiske udsving er meget store

Men de tektoniske kræfter, der styrer klimaforandringer, foregår meget langsomt over mange millioner af år.

Gennemsnitlig global temperatur
(grader celsius):

	Kridt-tiden	Før fossil afbrænding	I dag
	66 mio. år siden	1850 AD	2020 AD
luften	27	14	15
Havet	35	16	17

Diskutér med din sidemakker og beregn, hvor meget den globale lufttemperatur er *faldet pr år* siden Kridt-tiden og frem til i dag?

Vigtigt at huske om tektonisk styrede klimaforandringer:

De klimatiske udsving er meget store.

Men de tektoniske kræfter, der styrer klimaforandringer, foregår meget langsomt over mange millioner af år.

Gennemsnitlig global temperatur
(grader celsius):

	Kridt-tiden 66 mio. år siden	Før fossil afbrænding 1850 AD	I dag 2020 AD
luften	27	14	15
Havet	35	16	17

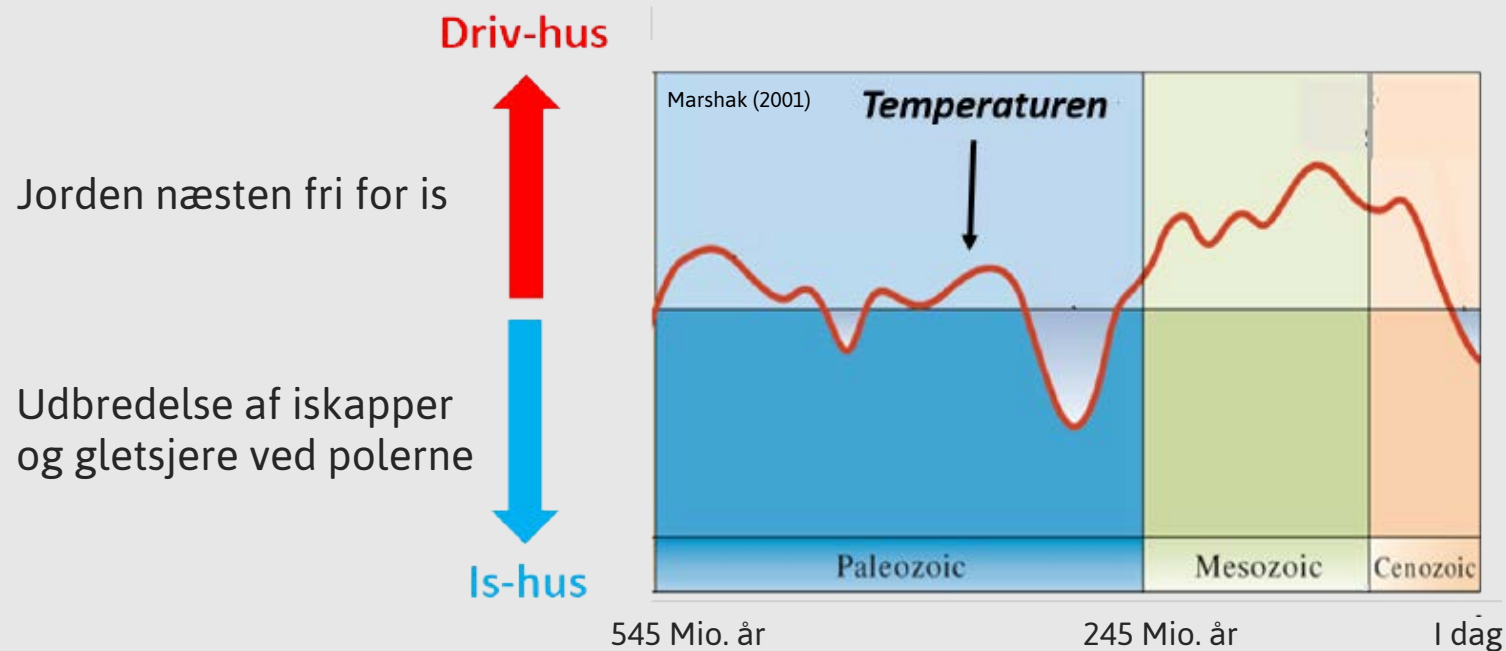
Den gennemsnitlige globale lufttemperatur er faldet med $(27-15)=12$ grader celsius i løbet af 60.000.000 år = 0,0000002 grad pr år

Dette er det samme som gennemsnitligt 0,00002 grader celsius *pr 100 år*

Til sammenligning er den globale lufttemperatur steget med 1 grad celsius i de sidste 100 år....

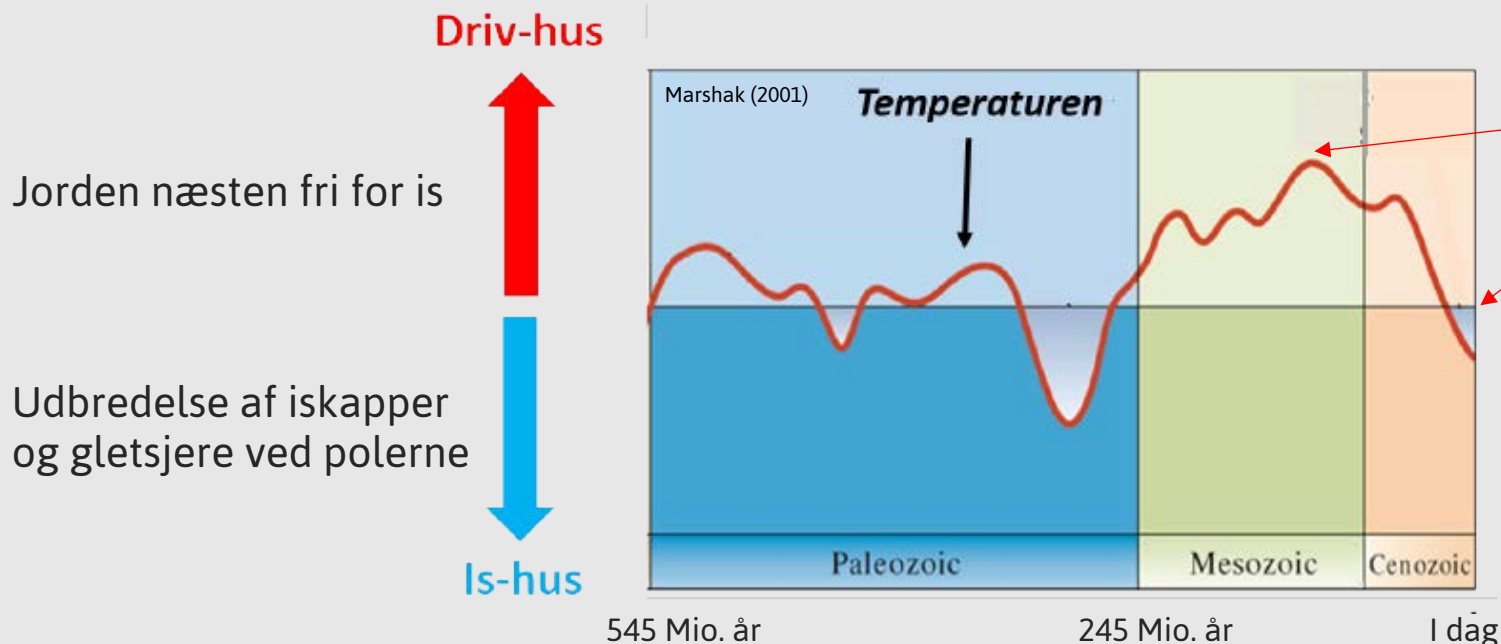
Så den menneskeskabte temperaturstigning på 1 grad celsius gennem de seneste 100 år er meget markant sammenlignet med de langsomme temperaturændringer drevet af pladetektonik.

Når det går så stærkt, så har dyre og plantearter svært ved nå at tilpasse deres udvikling til de nye forhold.



Men hvad med CO2 indholdet – hvor højt har det været i fortiden?

Fortidens klimaforandringer På den lange tidsskala



Man måler atmosfærens indhold af CO₂ i enheden ppm, som betyder parts per million.

Under Kridttiden var CO₂ indholdet c. 2000 ppm.

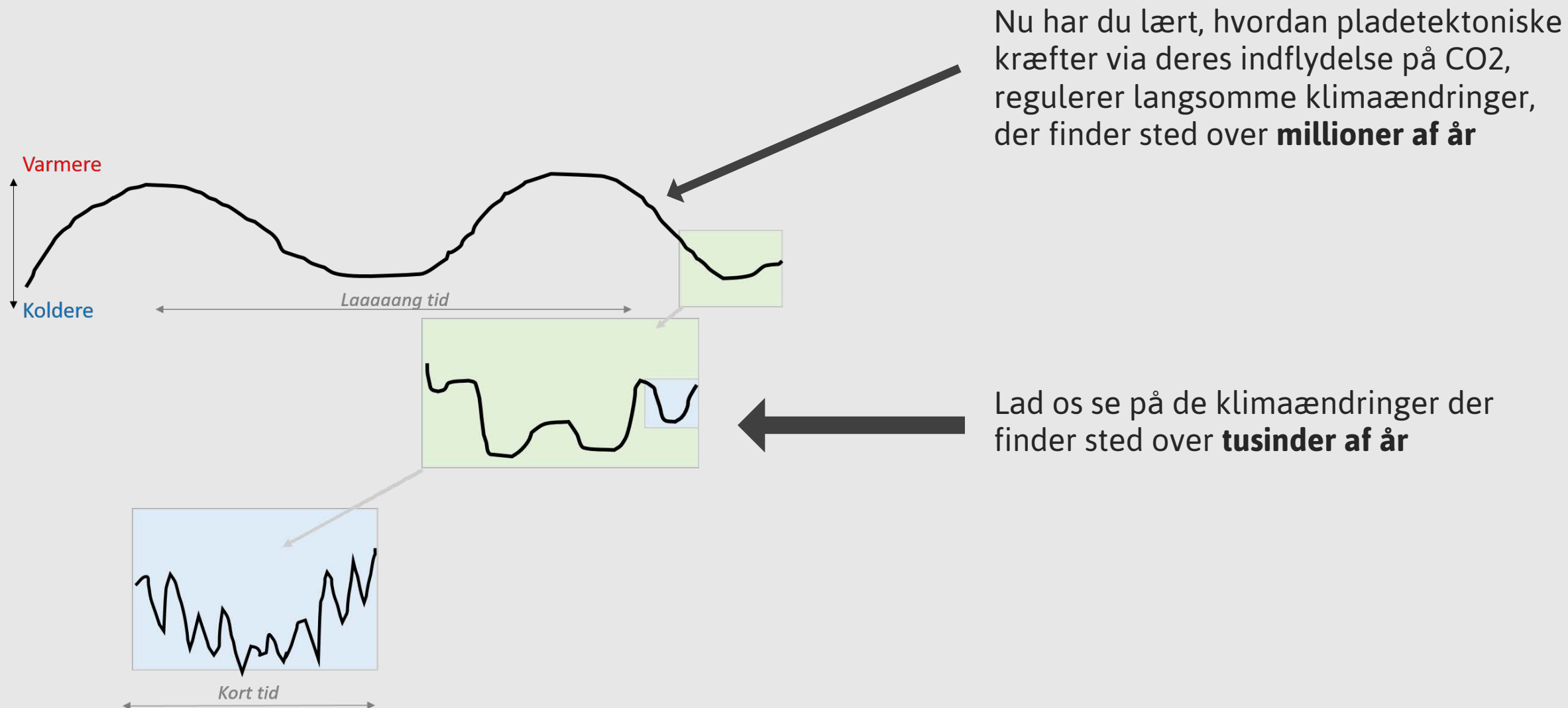
Tærskelværdien for hvornår jorden kan gå ind i en ishusperiode ligger på 500 ppm.

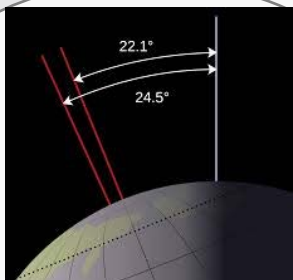
De sidste 10.000 år og frem til 1850 AD (hvilket er lige før vi begyndte at brænde fossile brændstoffer af) lå indholdet stabilt på 280 ppm.

Efter vi begyndte at brænde fossile brændsler af, er atmosfærens CO₂ indhold steget støt og er i dag oppe på 410 ppm.

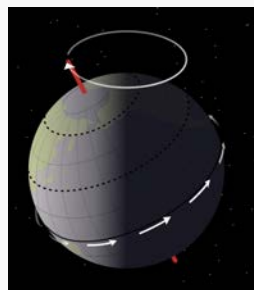
Vi skal 3 millioner år tilbage i fortiden, for at finde en periode med lige så højt CO₂ indhold som nu.

Hvordan vil du forvente at iskapperne udvikler sig under det nuværende høje CO₂ indhold?

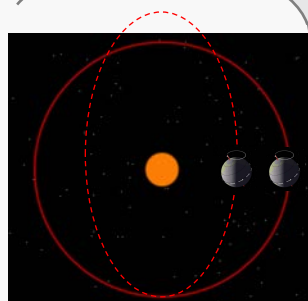




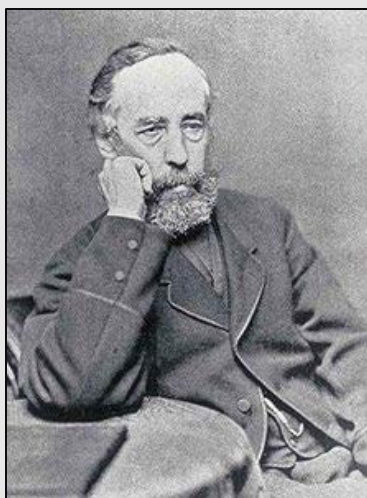
Jordaksens
hældning



Jordaksens
retning



Jordbanens
form



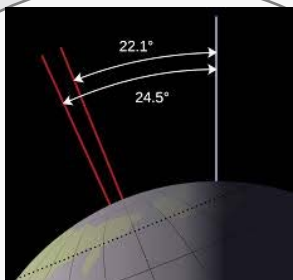
James Croll
(født 1821 - død 1890)

I 1800 tallet fik den kloge og astronomi-interesserende pedel James Croll den idé, at massetiltrækningen mellem Jorden, solen og andre planeter måtte betyde, at jordens placering i forhold til solen ændrede sig over lange tidsskalaer.

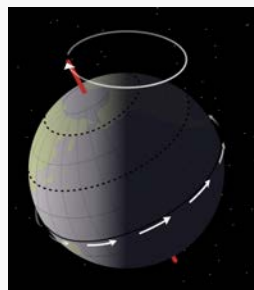
Man vidste dengang godt, at der havde været istider. Man vidste bare ikke *hvorfor*, at det var blevet så koldt at nordlige iskapper bredte sig langt sydpå.

James Croll foreslog, at istidens kulde skyldtes, at jordens placering ift solen i perioder havde betydet, at der kom mindre sol ind i de områder, hvor de nordlige iskapper ligger idag. Derfor smeltede iskapperne ikke i randen om sommeren, efter at have vokset om vinteren.

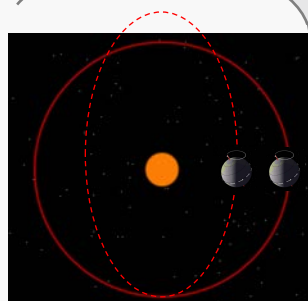




Jordaksens
hældning



Jordaksens
retning



Jordbanens
form



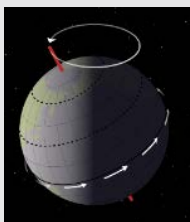
Milutin Milankovitch
(født 1879 – død 1958)

I 1900 tallet besluttede den kloge matematiker Milutin Milankovitch at beregne hvordan solindstrålingen til de nordlige breddegrader havde ændret sig over tid. På den måde kunne han vise, hvor ofte man kunne regne med, at der kom istider.



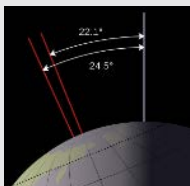
Milankovitch beregnede at:

Jordaksens
retning



Jordaksens retning ændrer sig med en frekvens på ca. 20.000 år

Jordaksens
hældning

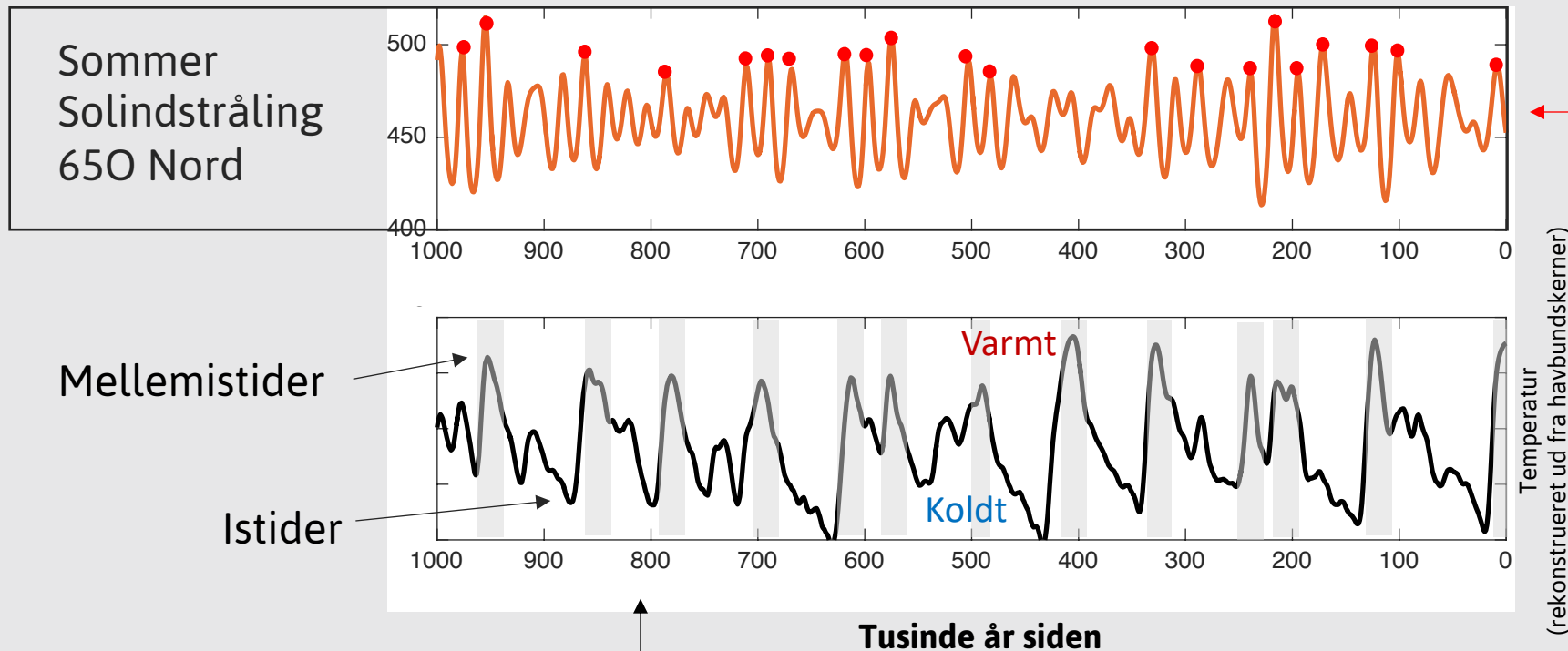


Jordaksens hældning ændrer sin vinkel sig fra 22,2 til 24,5 grader med en frekvens på 41.000 år

Jordbanens
form



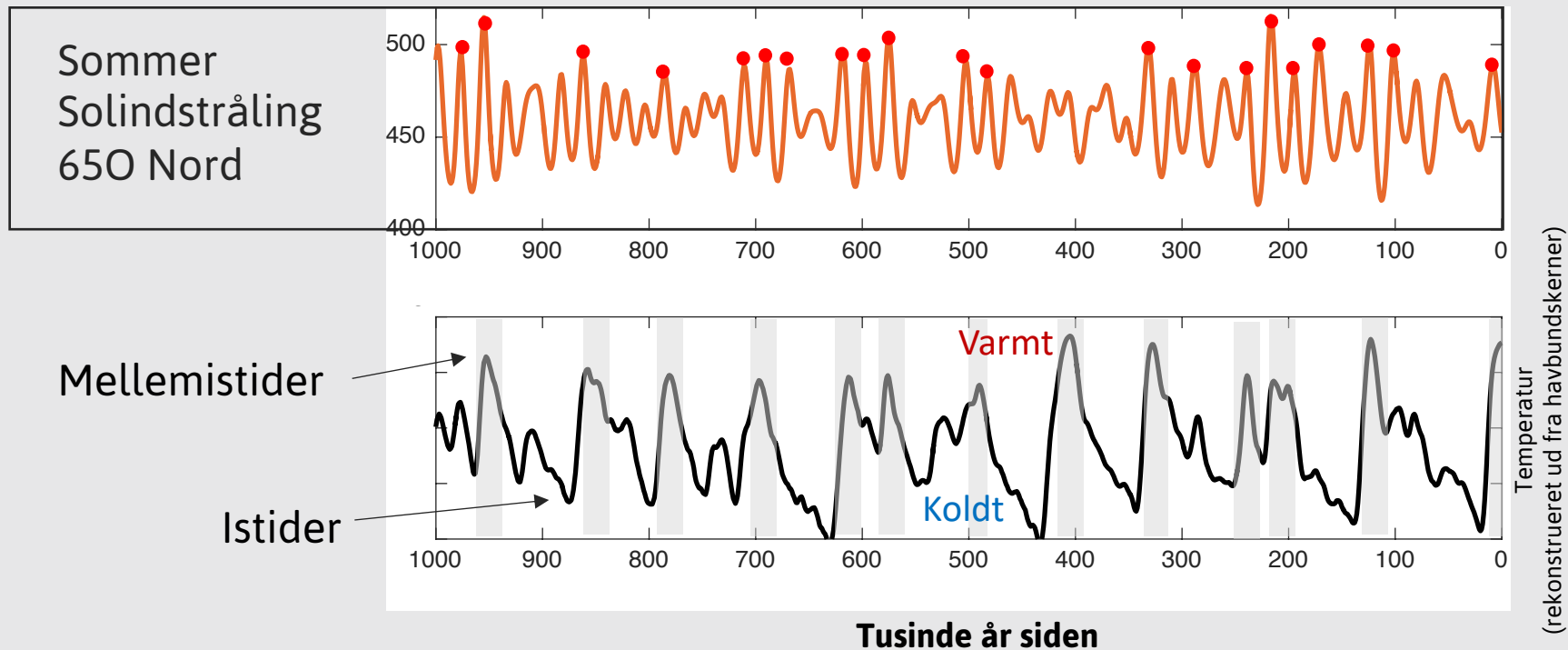
Jordens bane rund om solen varierer mellem at være rund og ellipseformet med en frekvens på 100.000 år



Det passed i det store og hele med **Milankovitch's** beregninger!

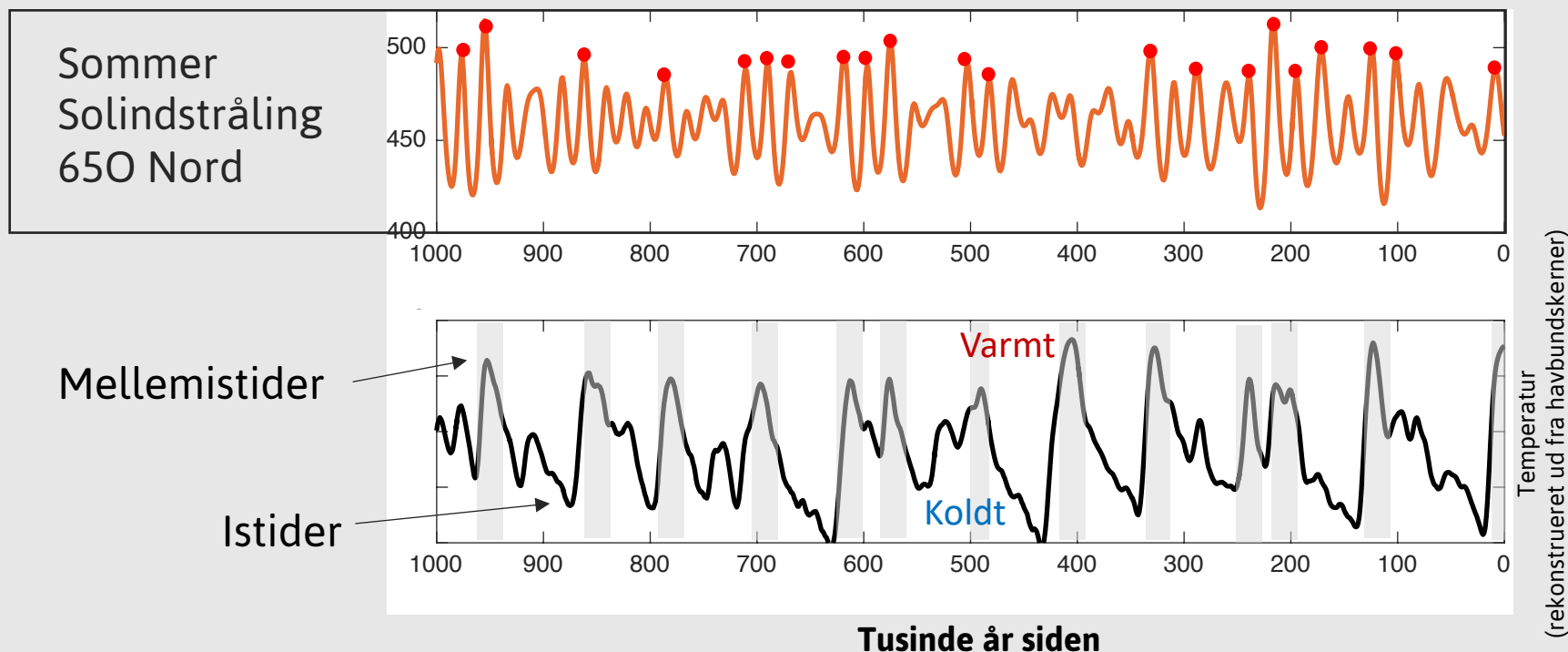
Og man kunne deraf udlede, at der med 100.000 års mellemrum forekommer voldsomme nedisninger på den nordlige halvkugle. Disse er afbrudt af mellemliggende varmeperioder (mellemistider), som har en varighed på ca. 10.000 år.

Geologer og andre istidsforskere var meget henrykte, da man ud fra boringer i havbunden og iskapper i 1960'erne endelig blev i stand til at se hvornår der rent faktisk havde været istider.



Der var bare et lille problem.....

Diskutér med din sidemakker: Hvad er problemet?



Fortidens klima viste noget, som Milankovitch's beregninger ikke forudså:

Hvor solindstrålingen svinger op og ned i **symmetriske kurver** – så viser iskerne- og havbunds sediment-data at det gradvist bliver koldere og koldere under en istid. Kulden bygger sig op over 100.000 år – hvorefter man brat træder ind i en ny mellemistid – et slags **sav-takket** forløb.

Samtidig viser beregninger, at den faldende solindstråling til ved 65°N under istider var alt for lille, til at det kan forklare fremvækst af mægtige iskapper. Noget tyder derfor på, at det lille fald i solindstråling, fungerede som et slags lille 'kuldeskub' – hvorefter jordens eget system tog over og skabte en domino-effekt af voksende kulde.

Diskutér med din sidemakker: hvad disse domino-brikker kunne være? Hvilke processer på jorden kan forstærke kulde? Lav en liste.



Domino-brik 1: Den lille afkøling på grund af nedsat solindstråling, forstærker de store vindsystemer, som fører en masse støv ned i havet. Støvet virker som næring for fotosynteserende mikroorganismer. Al den ekstra næring betyder en opblomstring af disse organismer. Dermed falder CO₂ indholdet i atmosfæren, da de mange organismer bruger CO₂ i deres fotosyntese. **Dermed bliver luften koldere (lavere drivhuseffekt).**



Domino-brik 2: Den koldere luft køler havet ned. Dermed kan det indeholde mere CO₂ (ligesom en kold sodavand har mere brus). Havets evne til at indeholde mere CO₂ trækker endnu mere CO₂ ud af atmosfæren.

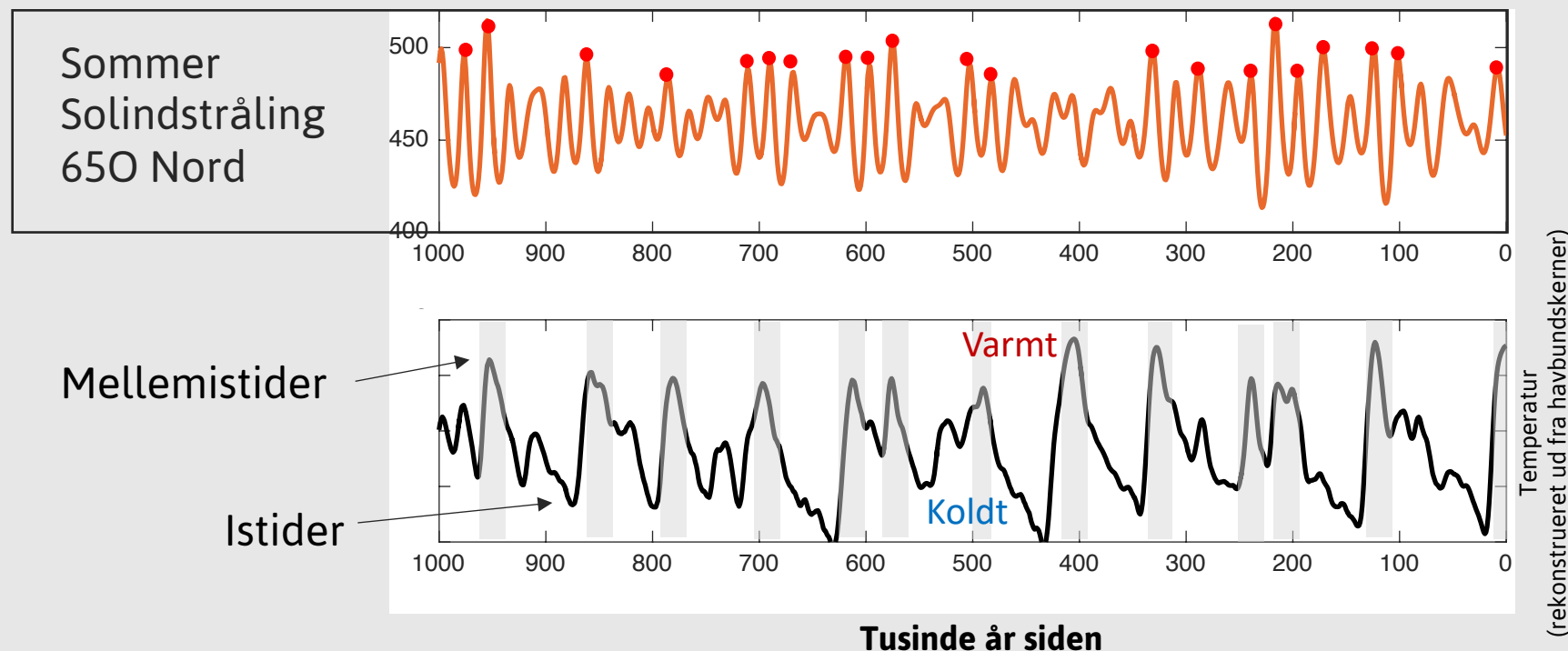
Luften bliver endnu koldere.



Domino-brik 3: Mens det bliver koldere, **vokser iskapperne langtsomt frem.**



Domino-brik 4: Når iskapperne vokser frem, bliver der større hvide områder på jordoverfladen. Dette betyder at varmen fra solens stråler ikke optages så godt, og i stedet reflekteres tilbage til verdensrummet. Det bliver stadig koldere og **isen kan vokse endnu mere.**



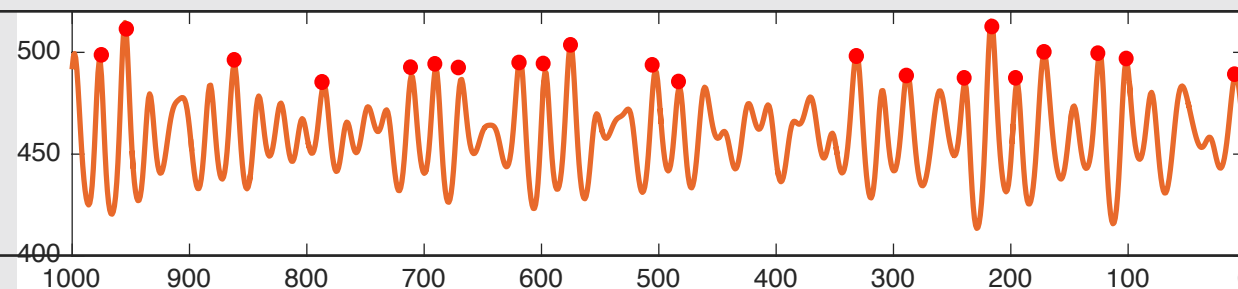
Dette viser os, at små ændringer i solindstråling, som følge af ændrede planetbaner, kan skabe domino-effekter, hvor jordens eget system går ind og forstærker kulden.

Domino-effekter kan også virke den anden vej: en udefrakommende *lille opvarmning* på grund af solen, kan resultere i en *markant opvarmning* af jorden – f.eks ved at der frigives drivhusgasser, som er lagret i havet eller jorden (som metan).

Resultatet af dominoeffekterne er, at den globale temperatur svinger fra ca. 14-17 grader under en mellemistid til 10 grader celsius under en istid.

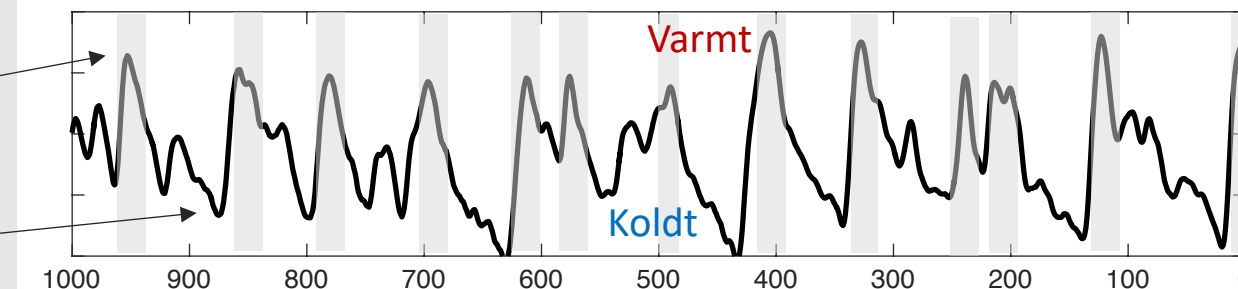
Bemærk, at domino-effekterne altså bl.a. skyldes, at naturen selv 'kan skrue op og ned' på CO2 indholdet i atmosfæren.

Sommer
Solindstråling
65O Nord

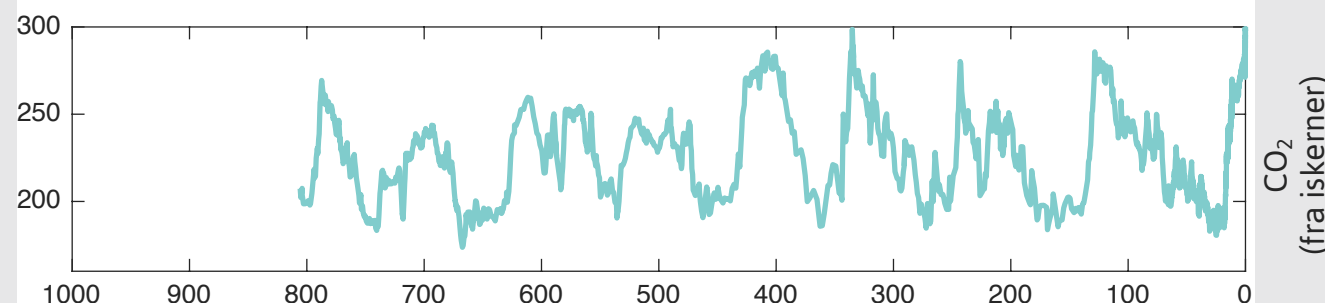


Mellemistider

Istider



Og hvor meget svinger
CO₂ indholdet så?
Under mellemistider var
CO₂-indholdet omkring
280 ppm, mens det faldt
til under 200 ppm når det
var koldest under
istiderne.

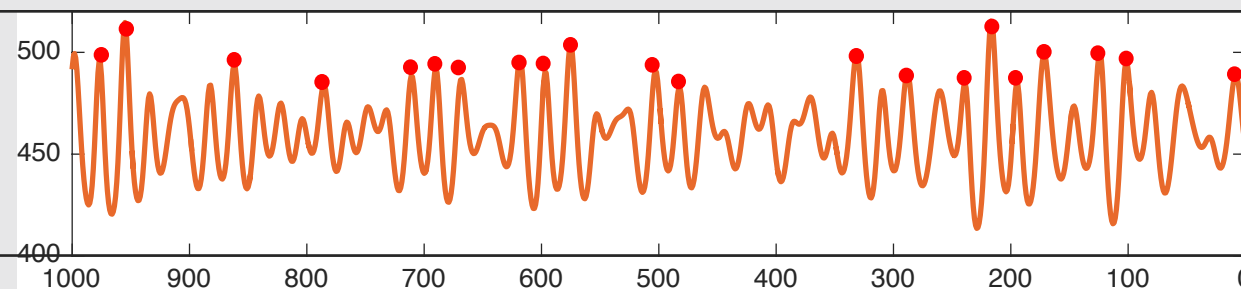


Tusinde år siden

Kan du huske hvor meget CO₂ indholdet i atmosfæren er i dag?

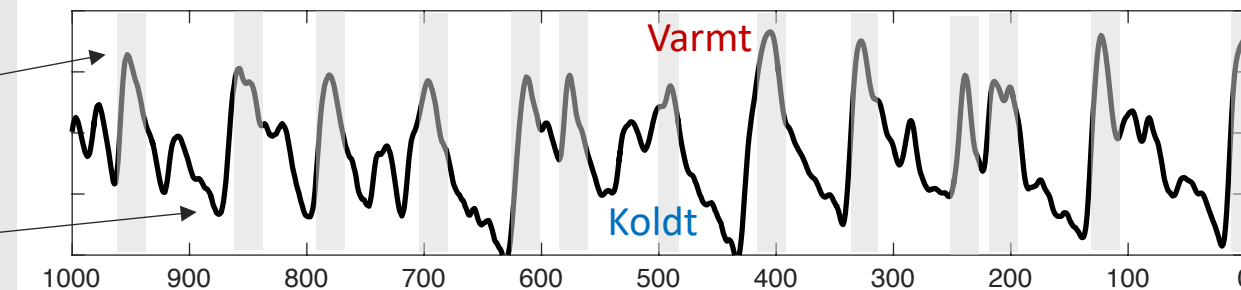
Fortidens klimaforandringer

Sommer
Solindstråling
65O Nord



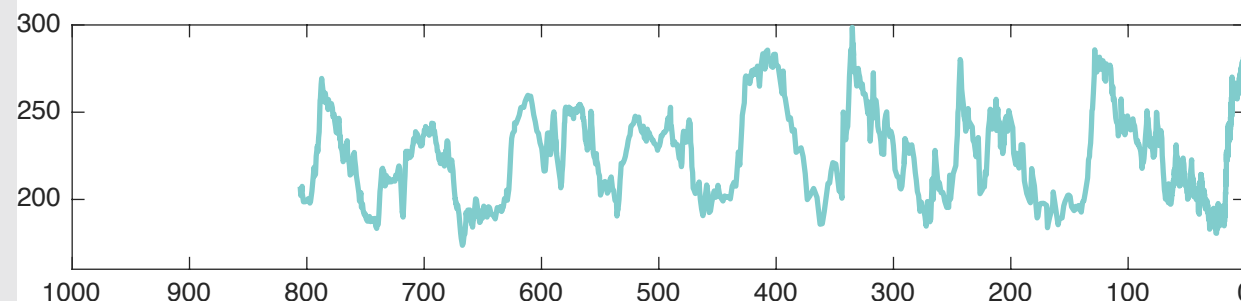
Mellemistider

Istider



CO₂ er nu 410 ppm
I løbet af 150 år

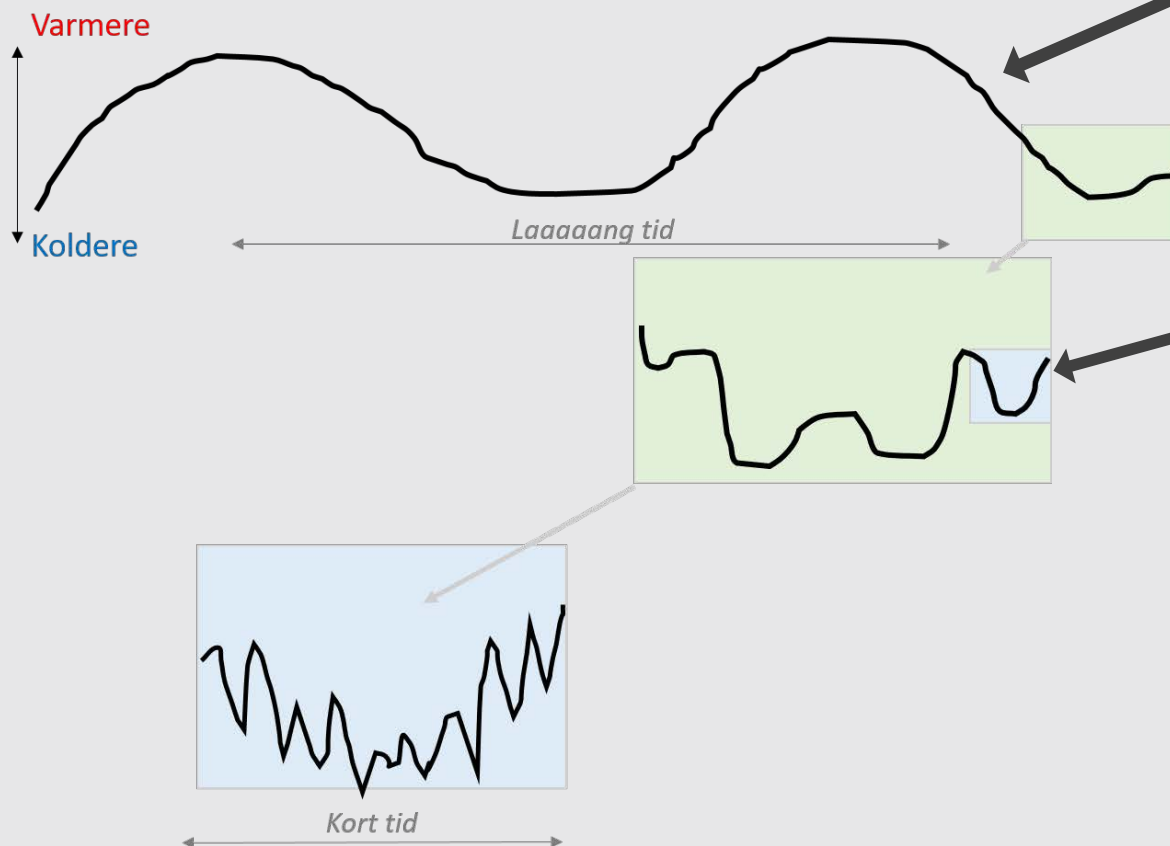
Og hvor meget svinger
CO₂ indholdet så?
Under mellemistider var
CO₂-indholdet omkring
280 ppm, mens det faldt
til under 200 ppm når det
var koldest under
istiderne.



CO₂
(fra iskerner)

Tusinde år siden

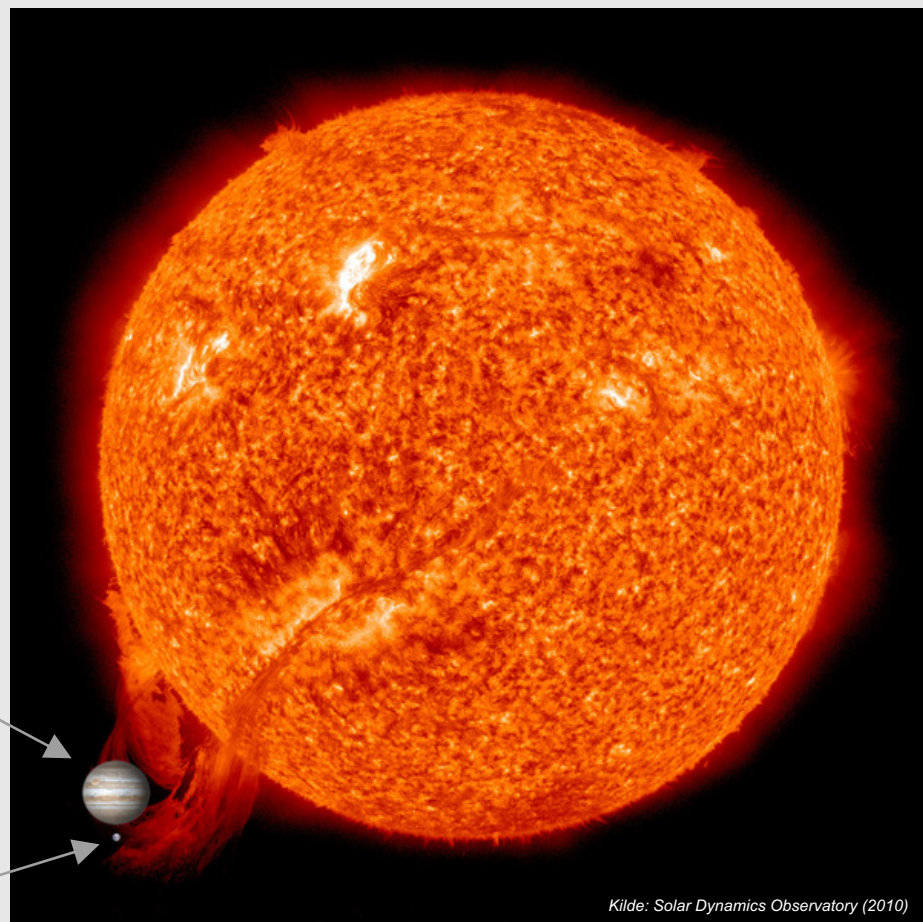
Læg mærke til hvor tæt
Jordens temperatur og
CO₂ har fulgtes ad.
Hvor er temperaturen
nu på vej Hen med en
CO₂ på 410 ppm?



Nu har vi set, hvordan **pladetektoniske kræfter** via deres indflydelse på CO₂, regulerer langsomme, men store klimaændringer, der finder sted over **millioner af år**

Og vi har set, at massetiltrækning mellem solen, jorden og planeter (**orbitale kræfter**), resulterer i små temperaturændringer. Disse små kulde og varme spark, forstærkes gennem blandt andet ændringer i jordens CO₂ kredsløb (domino-effekter), og resulterer i mellem-store klimaændringer, der finder sted over **tusinder af år**

Lad os nu se et eksempel på én af de naturlige klimaændringer, der finder sted over **år til årtier**



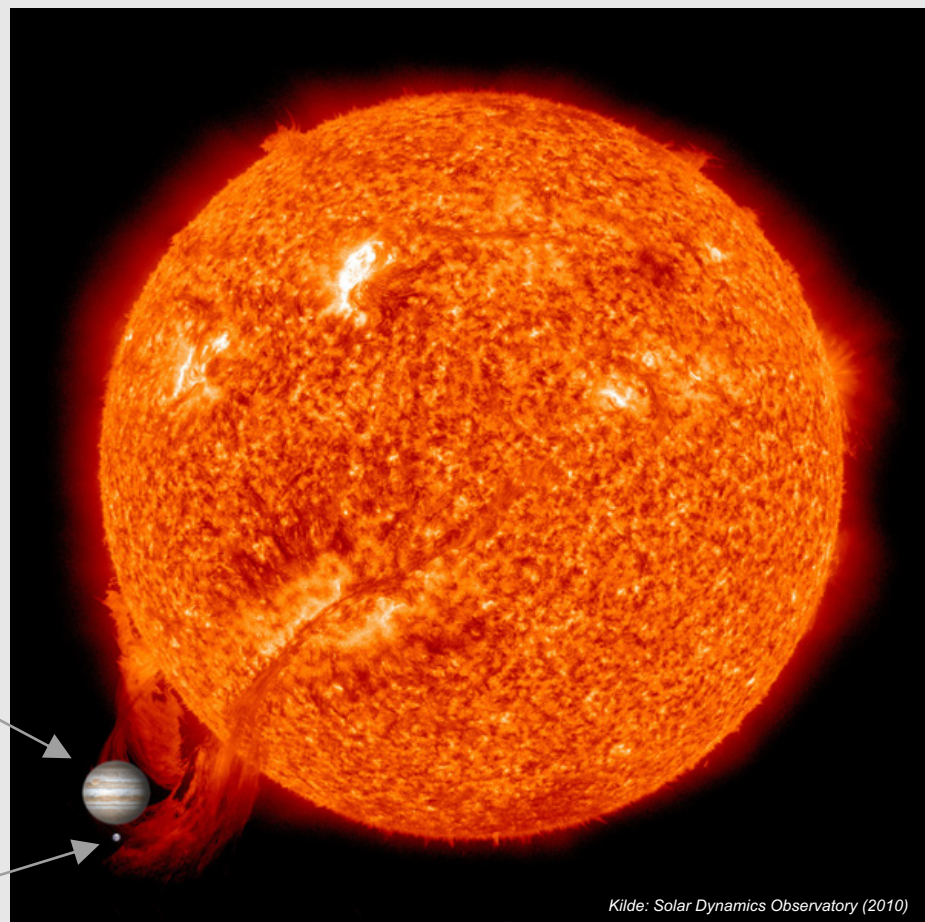
Her ser du Solen med Jorden og Jupiter til sammenligning.

Solen er ikke bare en gul skive på himlen.

Den er dynamisk.

Prøv at se følgende korte film på youtube, for at danne dig et indtryk:

<https://www.youtube.com/watch?v=oOXVZo7KikE>



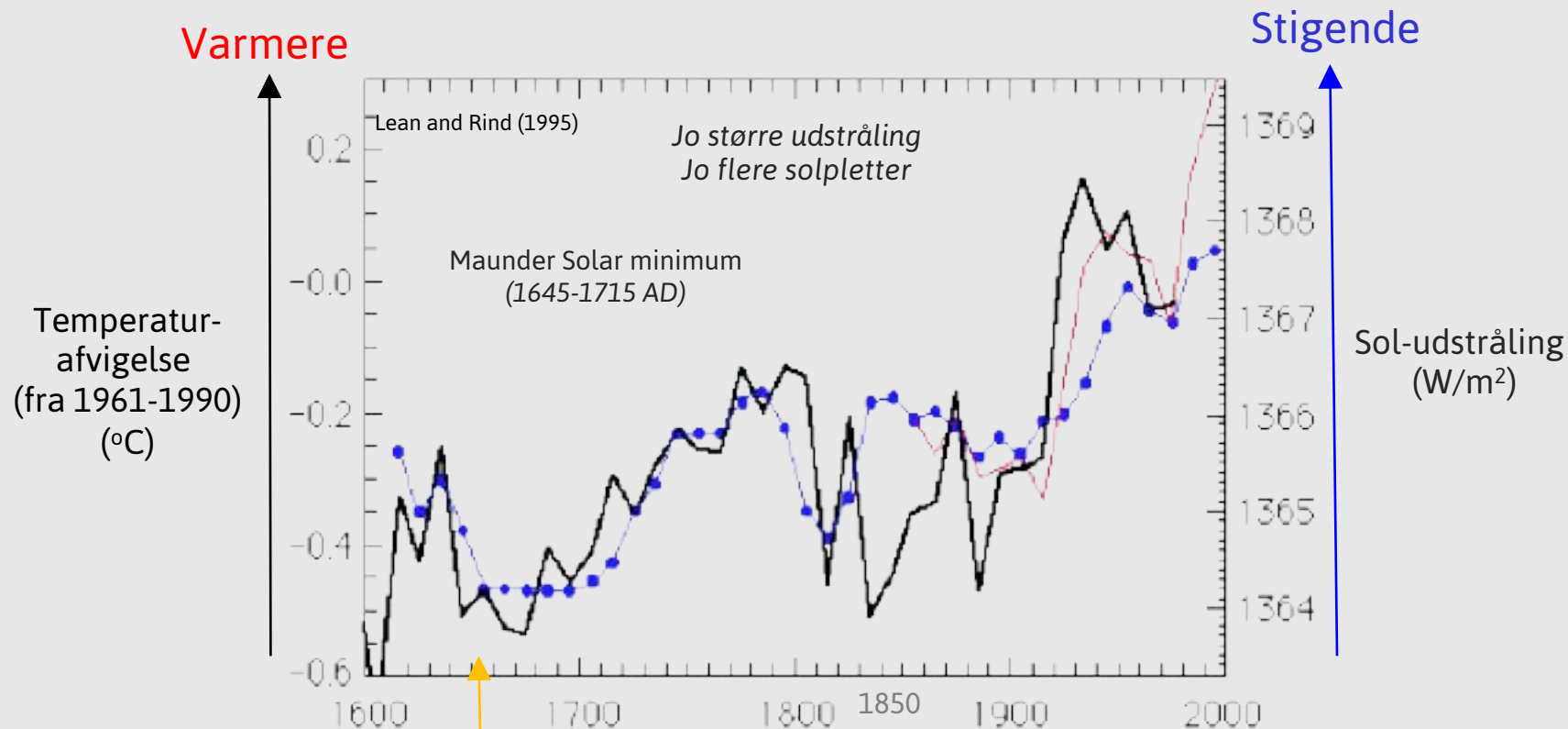
Jo flere solpletter.

Jo større udstråling.

Store udladninger af denne udstråling påvirker elektroniske systemer på jorden.

Udstrålingsforandringerne er dog stadig meget små energimæssigt.

Mon de påvirker klimaet?



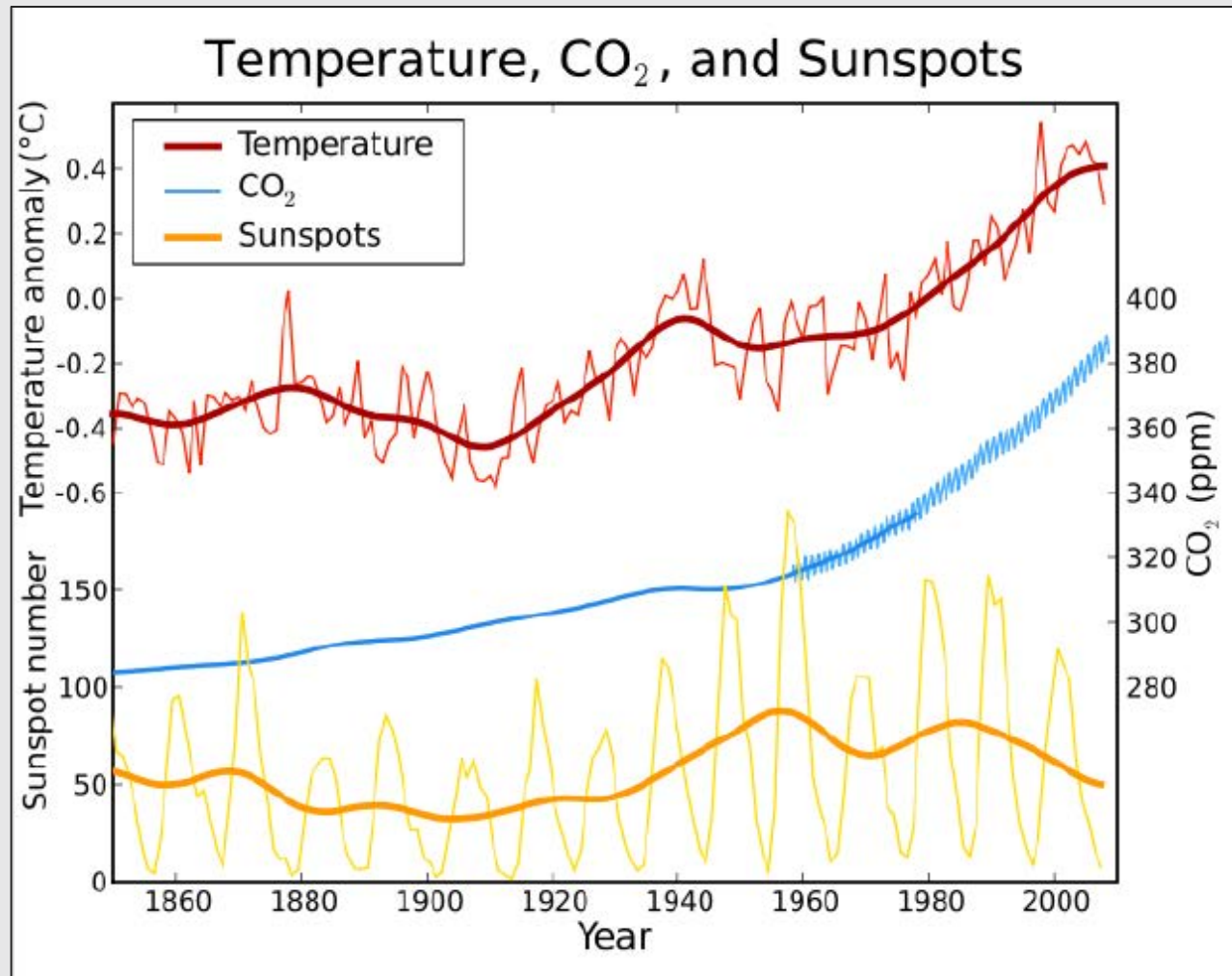
Karl Gustav X ved
Storebælt under "Den
Lille Istid"
(maleri fra 1658 AD)

Kloge munke har studeret solen siden 1600 tallet og lavet optegnelser over antallet af solpletter (den **blå** kurve).

Geologiske rekonstruktioner af temperaturen siden 1600 tallet viser faktisk, at når antallet af solpletter faldt, så blev temperaturen på den nordlige halvkugle lavere (den sorte og **røde** kurve).

Det er den kuldeperiode vi kalder 'den lille Istid'.

Det var ikke en rigtig istid, med iskapper henover Danmark. Men det var en periode med meget kolde vintre.



År

Se på modellen:

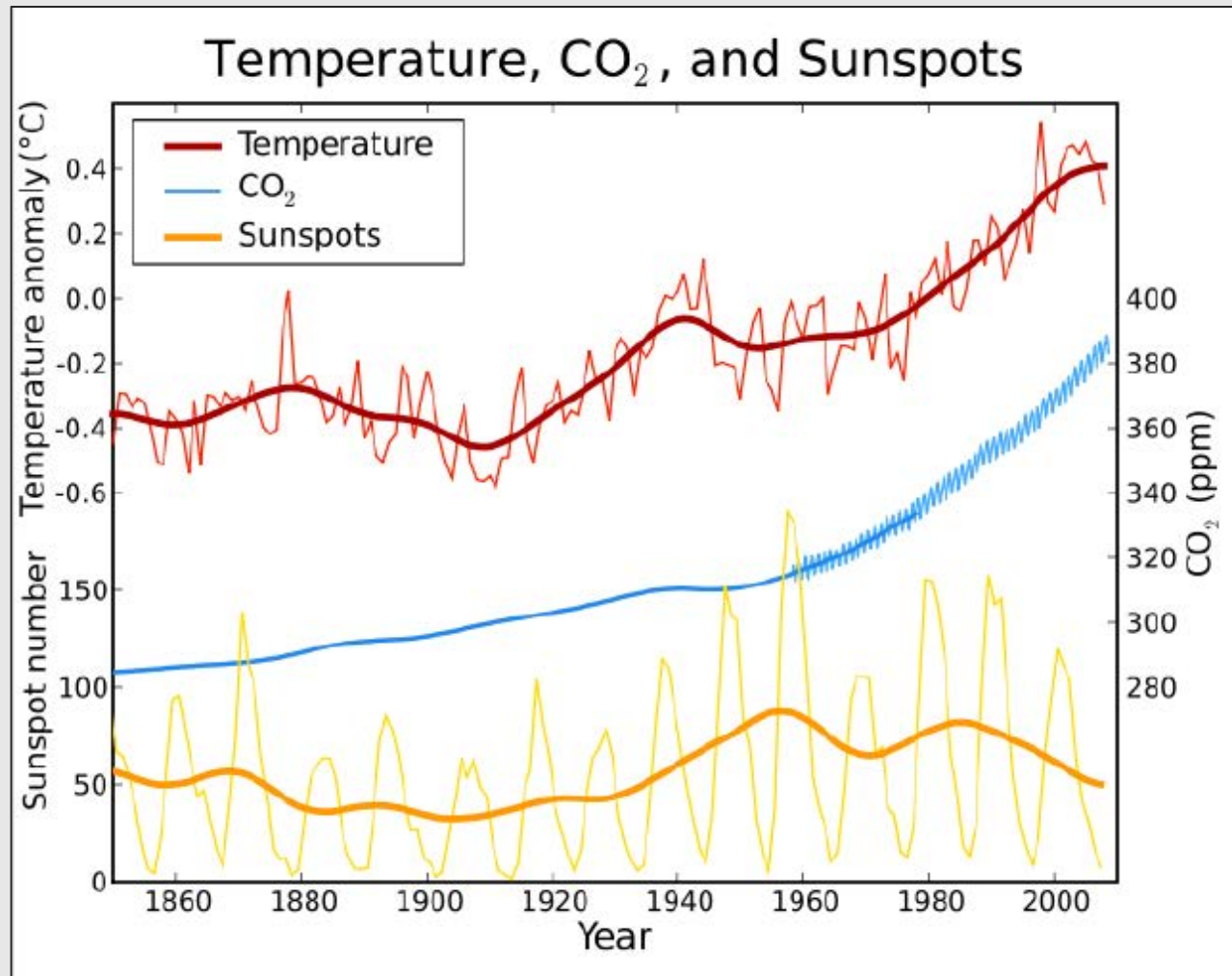
Hvad viser den røde, den blå og den gule kurve?

Hvad viser x-aksen og de to y-akser?

Hvis vi kan se et sammenfald mellem temperaturen på den nordlige halvkugle og solaktivitet – kan det så ikke være den stigende solaktivitet (gul kurve) – og ikke indholdet af CO₂ i atmosfæren (blå kurve), der er årsag til den globale temperaturstigning (rød kurve)?

Diskutér med din sidemakker:

Prøv at diskutere figurens grafer. Kan stigende solaktivitet forklare den stigende temperatur?

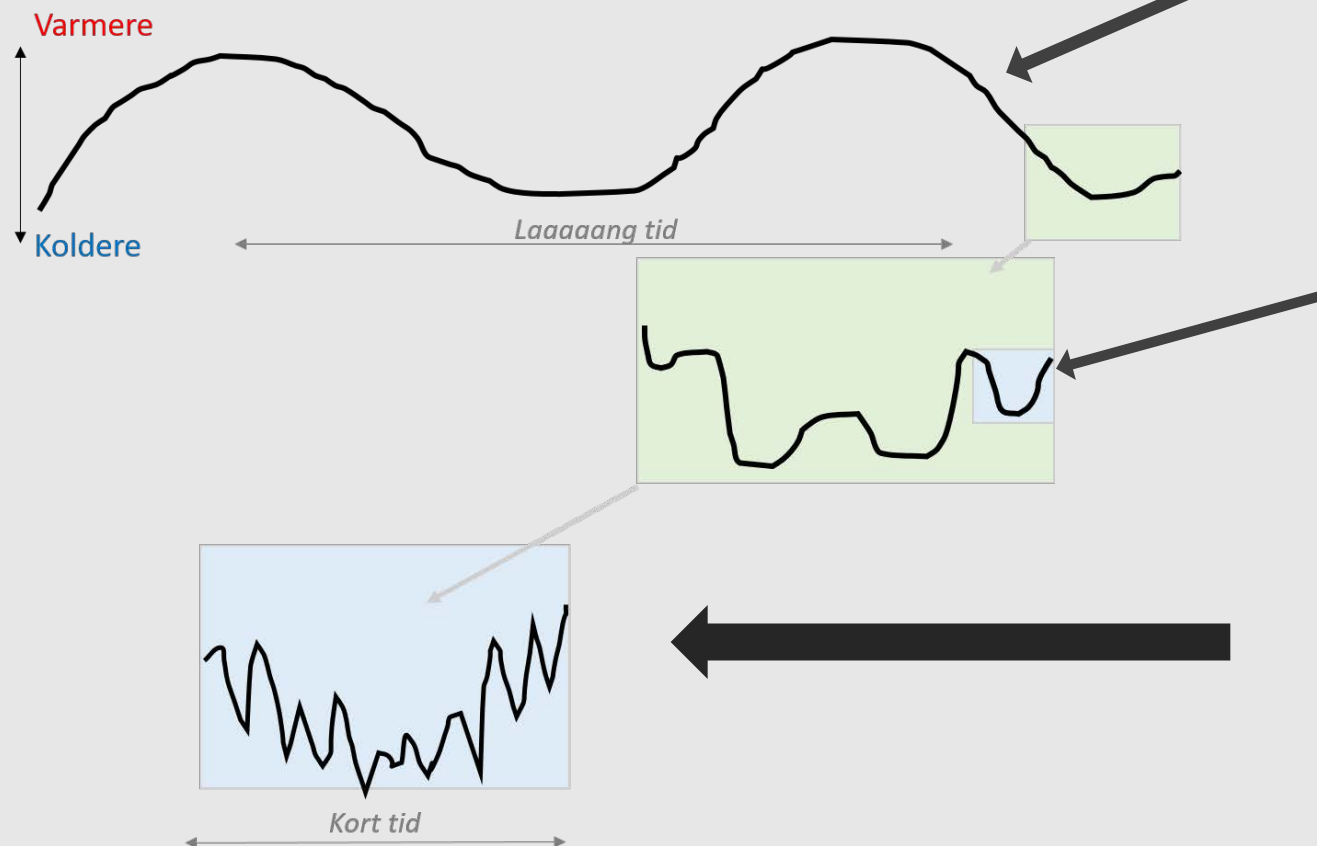


År

Forskerne har regnet på tingene og konkluderet, at den globale opvarmning siden 1950 med sikkerhed skyldes øget CO₂ udledning. **Solaktiviteten** falder nemlig gennem denne periode.

Forskerne har dog beregnet at ca. 1/10 af den globale opvarmning fra 1850 til 1950, godt kan skyldes den stigende solaktivitet gennem denne periode. Resten skyldes menneskets udledning af CO₂. Siden 1950 er solaktiviteten generelt faldet, men temperaturen er stadig steget.

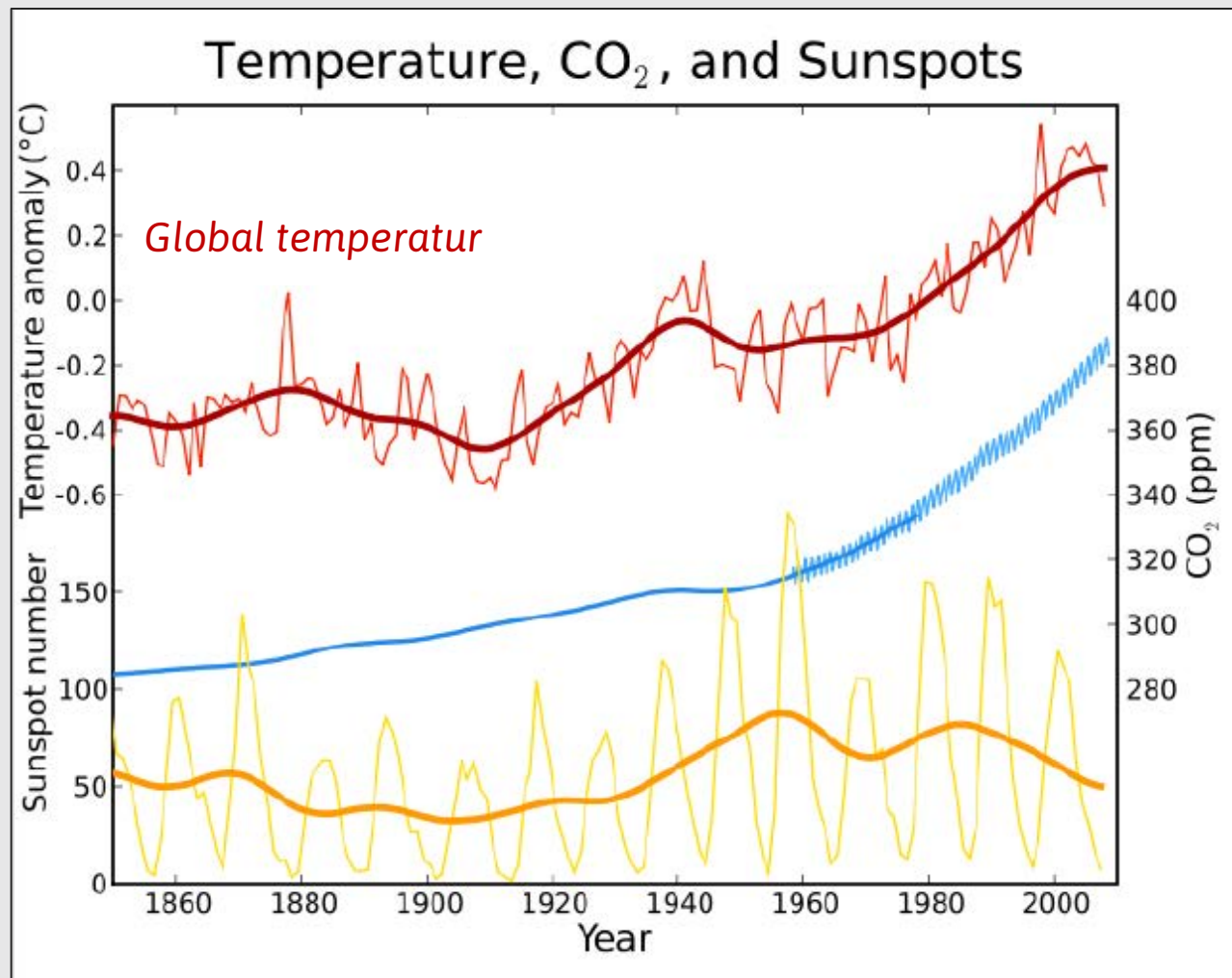
Med andre ord: solaktiviteten påvirker klima – men kun meget lidt i forhold til menneskets påvirkning ved udledning af CO₂.



Nu har vi set, hvordan **pladetektoniske kræfter** via deres indflydelse på CO₂, regulerer langsomme, men store klimaændringer, der finder sted over **millioner af år**

Og vi har set, at massetiltrækning mellem solen, jorden og planeter (**orbitale kræfter**), resulterer i små temperaturændringer. Disse små kulde og varme spark, forstærkes gennem blandt andet ændringer i jordens CO₂ kredsløb (domino-effekter), og resulterer i mellem-store klimaændringer, der finder sted over **tusinder af år**

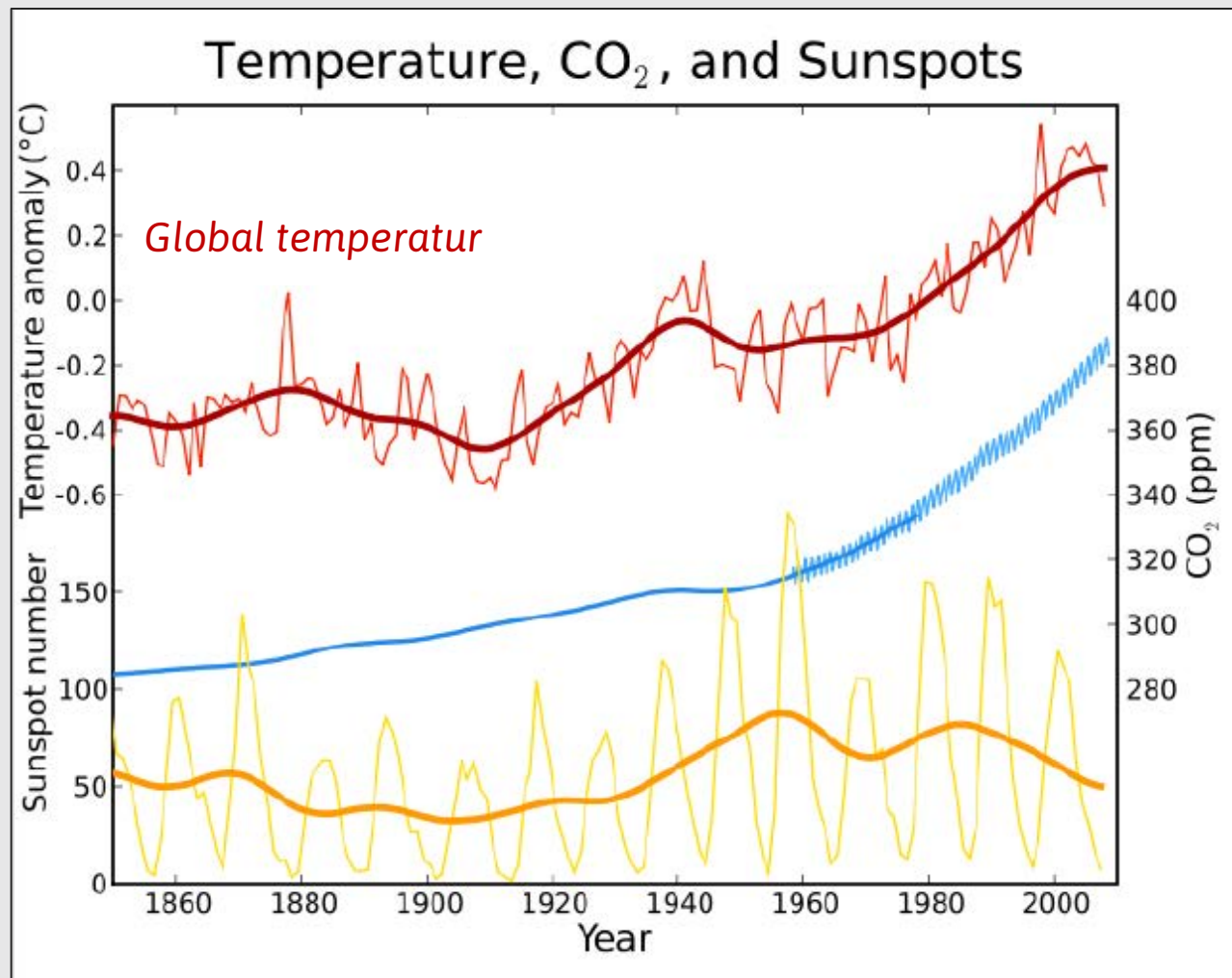
Og til slut har vi set, at **solaktivitet** kan påvirke klimaet på jorden over perioder på **år til årtier**, men slet ikke så meget, at det kan forklare den globale temperaturstigning gennem de seneste 100 år.



Kan du se hvor meget den globale temperatur er steget siden vi begyndte at udlede fossile brændsler?

Ruddiman (2013)

År



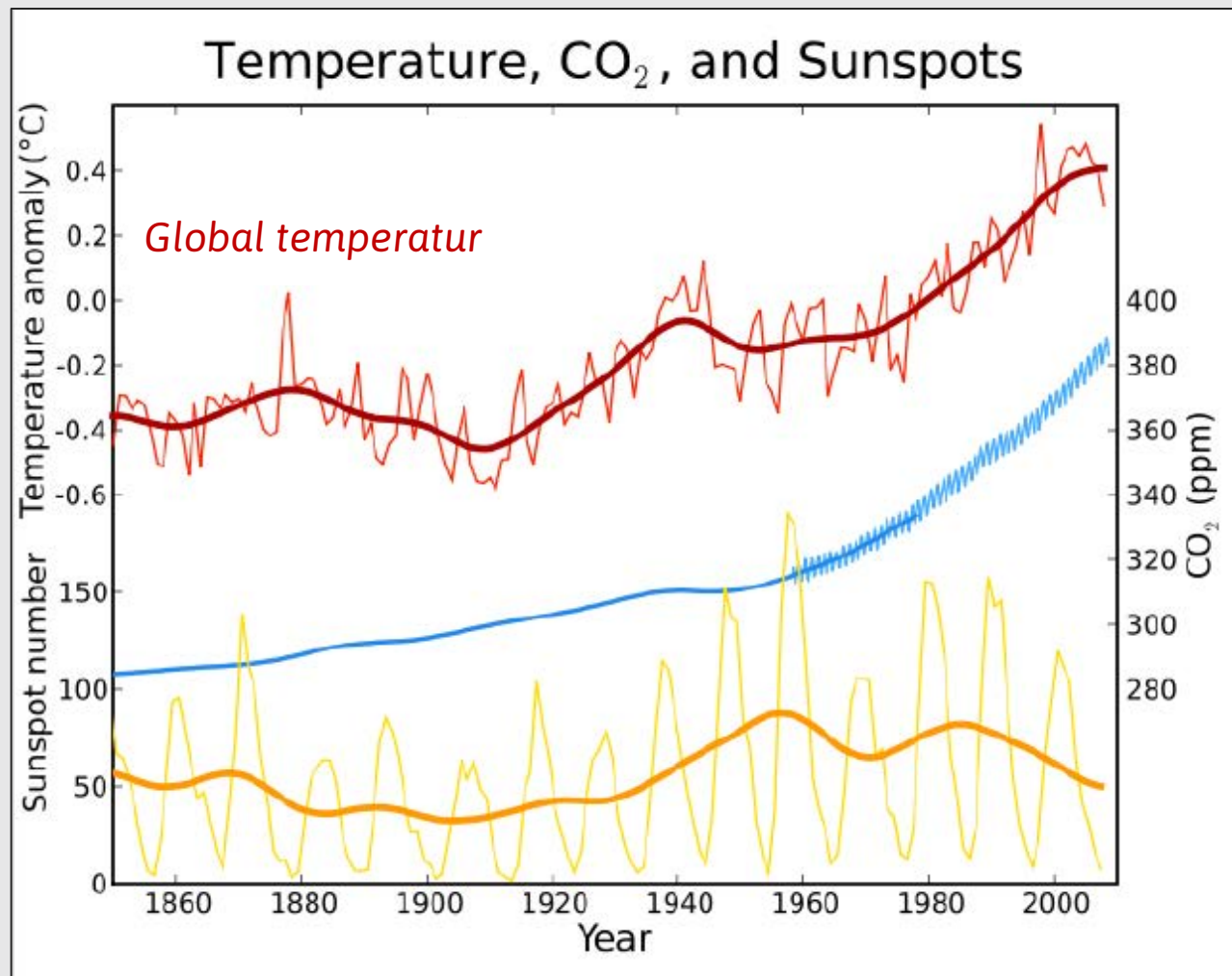
Ruddiman (2013)

År

Ca. 1 grad celsius.

Synes du 1 grad celsius noget at bekymre sig om?

Tænk over det du har lært, og diskuter med din sidemand i 3-4 minutter



Ruddiman (2013)

År

Her er lidt perspektivering:

Under istiden var den globale temperatur 5-6 grader lavere end i dag. I den sammenhæng kan man godt forstå, hvorfor forskerne bekymrer sig over, at vi forventer en global temperaturstigning på 3-4 grader i løbet af 100 år, hvis vi fortsætter med at udlede ligeså meget CO₂, som vi gør nu.

1 grad er heller ikke uvæsentligt. Under sidste mellemistid for 120.000 år siden (Eem-tiden) var den globale temperatur 1-2 grader højere (grundet en højere solindstråling) end den var, før vi begyndte at brænde fossile brændsler af. Det vil sige, at hvis temperaturen stiger yderligere 1 grad celsius, så får vi samme globale temperatur som under Eem-tiden.

Under Eem-tiden endte denne høje temperatur dog med at verdenshavene stod 6-9 meter højere end de gør i dag, fordi iskapperne smeltede. Der er også en del, som tyder på, at klimaet under Eem-tiden var mere ustabil.

Derfor arbejder forskerne lige nu, med at finde ud af hvor hurtigt det går, når iskapper smelter.

