

VAND OG ATMOSFÆRE

Atmosfærens sammensætning er ikke konstant, den har ændret sig gennem tiden og haft betydning for livets udvikling på Jorden. Da Jorden afkølede fortættede vanddamp i atmosfæren sig til vand på Jordens overflade, og var stedet hvor livet kunne opstå, og som vi for evigt vil være afhængig af. Vand findes overalt på Jorden, fra atmosfæren over verdenshavene og floder til dybt i undergrunden og en del er ophobet i alle organismers kroppe.

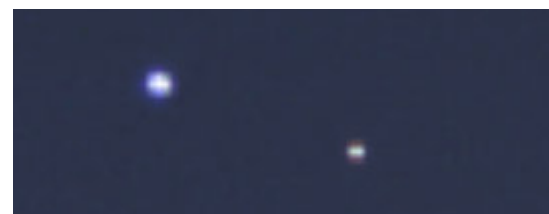
Den blå planet



[NASA](#): Combineret billede fra flere dage taget af MODIS



[NASA](#): Bill Anders ombord Apollo 8

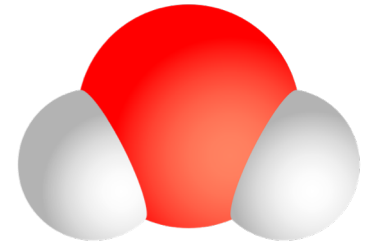


[NASA](#): Cassini tog billede af Jorden og måned fra Saturn



[NASA](#): Voyager på vej ud af solsystemet

Om vi ser Jorden fra en geostationær satellit (MODIS), fra månen (Apollo 8), fra Saturn (1.44 mia. km væk) eller mere end 4 mia. km borte af Voyager (hvor Jorden ses som den lysende prik i midten af det orange bånd), så får man fornemmelsen af liv, fordi Jorden er blå af alt det vand der er på overfalden af vores planet (vand er ikke blå, men det ser blå ud fordi det reflekterer lyset udsendt i atmosfæren).

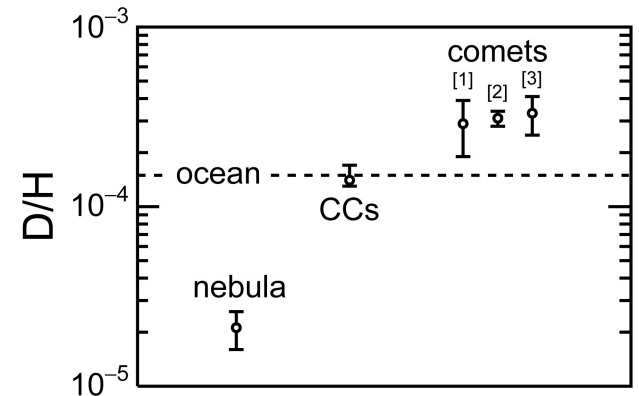


Vandets oprindelse

- Der er fundet sedimenter og spor efter liv i gamle klipper ved Isua, Grønland, så vandet har senest været på Jorden for 3,8 mia. år siden.
- Vand (H_2O) består af
 - Hydrogen: Dannes omkring 400.000 år efter Big Bang
 - Oxygen: Dannes først 100 millioner år efter Big Bang gennem forbrænding i stjerner og spredes til resten af universet når stjernen eksploderer
- Vand-molekylet er relativt simpelt og dannes i stjernetaåger, og er observeret i stjerners atmosfærer og på interstellart støv i fjerne galakser
- Vandet på Jorden er enten
 1. Opsamlet under Jordens dannelse: Vand indsamles på det støv i den planetariske tåge, som senere klumper sammen til Jorden
 2. Ankommet til Jorden efter dens dannelse: Vanddamp kan fryse til is længere ude i solsystemet og kommer til Jorden med asteroider og kometer
- Det skyldes nok en kombination af de to mekanismer



Ophavsret ukendt



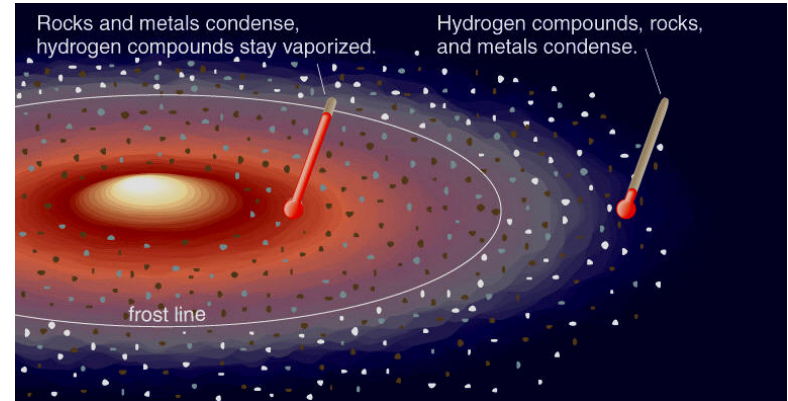
Genda & Ikoma (2007) se også her

Grundstoffernes dannelse er diskuteret yderligere i materialet om 'Grundstoffer'. Vand i andre galakser ses flere steder ([link](#)).

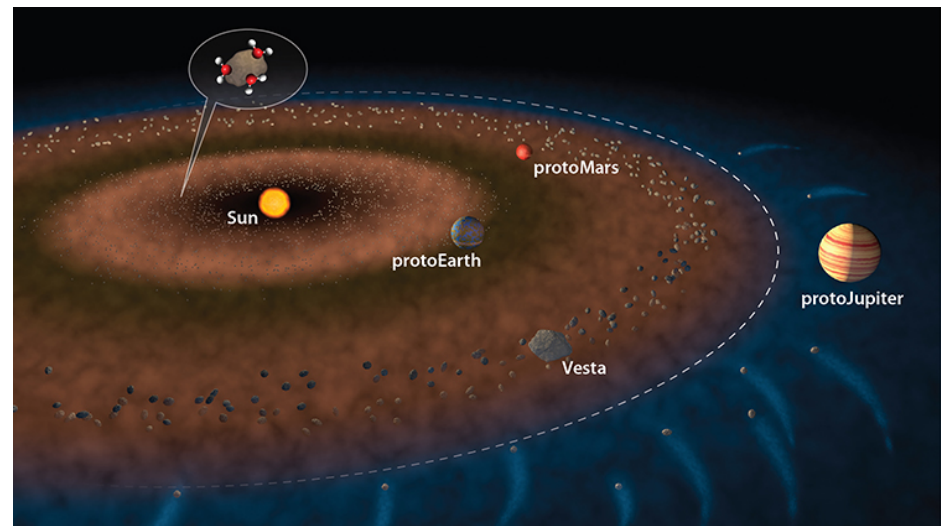
For at blive klogere på den egentlige oprindelse af Jordens vand, kan man benytte vand-molekyler's 'fingeraftryk'. I nogle vandmolekyler er et af deres hydrogen-atomer (H) udskiftet med et deuterium-atom (D), og andelen af vandet, med deuterium er forskelligt afhængig af hvor i rummet man finder det. Vandet på Jorden har et forhold $\text{D}/\text{H} = 140$ ppm (det samme er målt i carbon-rige chondritter), hvorimod det er målt til 200-500 ppm i kometer (på figuren er angivet Hyakutaka, P/Halley og Hale Bopp) og bare 21 ppm i atmosfæren af Solen og Jupiter ('nebula' angiver forholdet i den planetariske tåge, der formede solsystemet) ([link](#)).

Vand i det tidlige solsystem

- Solen er det første der dannes i det unge solsystem
- Varmen fra solen smelter iskrystaller og de kan kun eksistere i det ydre solsystem (på den anden side af snelinjen)
- Det ser ud til at vand ret tidligt var til stede i det indre solsystem, men det er endnu uvist i hvor store mængder



Ophavsret ukendt



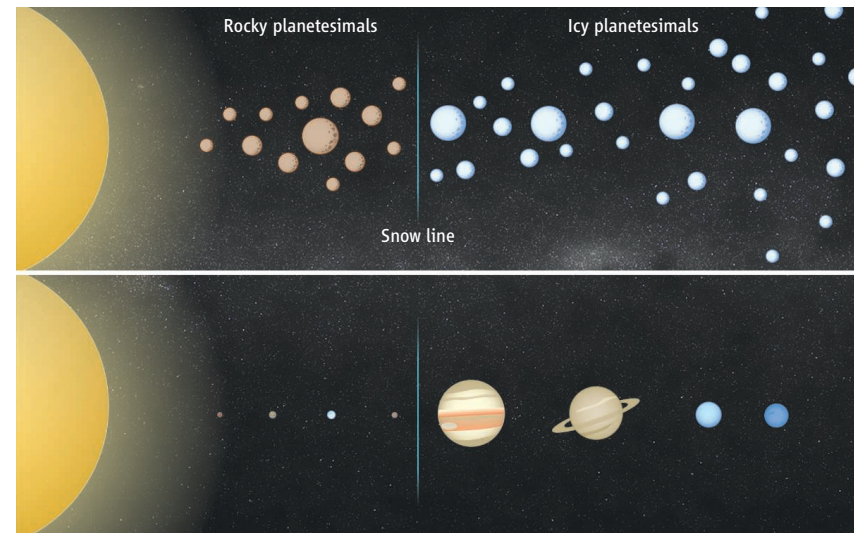
J. Cook, Woods Hole
Oceanographic Institution

Flere studier har vist at D/H forholdet for vand på meteorer (fx Vesta) i det indre solsystemet er lig det på Jorden, og indikerer at der har været vand tidligt i det indre solsystem ([link](#)). Vandet på Vesta er dog højest sandsynligt kommet med kulkondritter (vandholdige meteoriter), som er slynget ind i det indre solsystem af Jupiter.

Dawn-missionen fulgte op på Herschel-satelittens opdagelse af vanddamp omkring Ceres, og studerede både Vesta (tør måne ligesom vores måne) og Ceres (tidligere vandholdig måne som månerne i det ydre solsystem, med fx ammoniak, som kun kan kondensere længere ude end Jupiter). Både Ceres og Vesta befinder sig i samme bælte omkring Solen i dag, men de må være skabt forskellige steder. Dette er også direkte bevis for at der har været en større dynamik i det tidlige solsystem, som har kunne rundt på protoplaneterne.

Sammenstød samler vandet

- Vanddamp kan binde sig til støvet i det tidlige indre solsystem
- Når støvkornene samler sig til større og større klumper, overleveres det til de efterfølgende planetesimaler
- Dette kan have holdt på vandet i det indre solsystem
- Planetesimaler med is i det ydre solsystem, kan slynges til det indre solsystem af større planeter

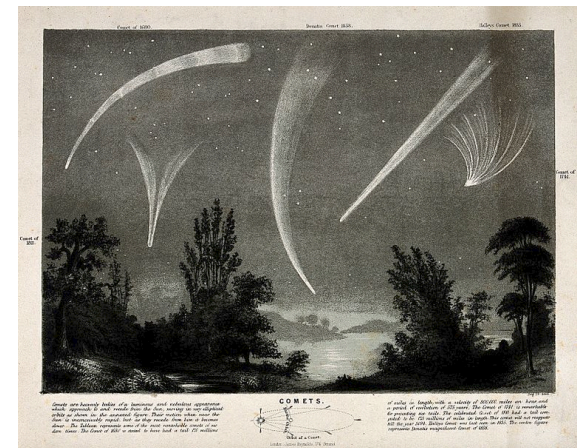
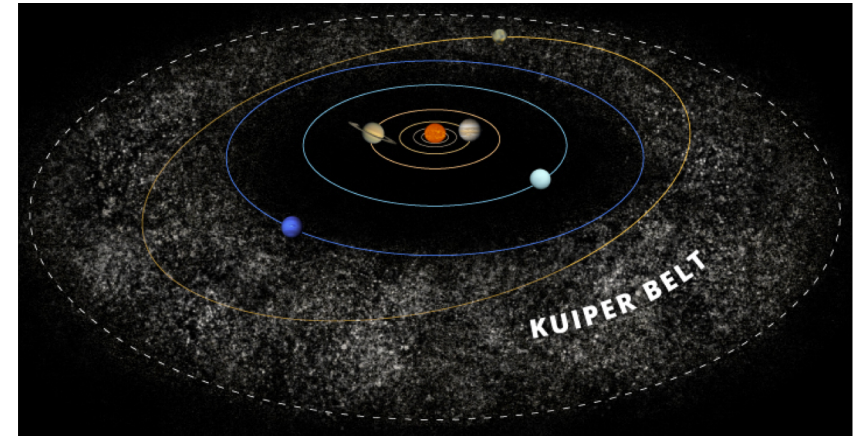


Det er netop de store gasplaneter Jupiter og Saturn, som spiller den afgørende rolle i forhold til at slynge isfyldte planetesimaler (og komet) ind mod det indre solsystem. Det sker stadig med jævne mellemrum, når Jupiter og Saturn befinder sig bestemte steder, kan de forstærke deres gravitationelle påvirkning af asteroidebæltet, hvilket kan resultere i at asteroider sendes ind i det indre solsystem og mod Jorden.

Denne erkendelse, giver også ekstra detaljer at lede efter i exoplanet-systemer: Er der store gasgiganter til stede, som giver mulighed for at slynge is ind mod de indre dele, mod en eventuelt jordlignende planet.

Kometer kommer med vandet

- I det ydre solsystem, har er den frosne vanddamp samlet sig til isfyldte planetesimaler
- De har særligt befundet sig tæt på snelinjen, men blev opslugt tidligt, af de store gasplaneter
- Størstedelen af isklumperne befinder sig længere ude, og disse kometer befinder sig stadig i Kuiper-bæltet langt fra solen
- Ligesom med asteroiderne, kan særlige positioner af gasplaneterne, forstyrre kometernes bane og få dem til at flyve ind mod det indre solsystem og dermed til Jorden
- Når disse kometer styrker ned på Jorden, fordamper vandet og en del af det slynges ud i rummet igen, men noget af det forbliver på Jorden
- Ved at sammenligne antallet af kometnedslag på månen, med størrelsen af Jorden kan man estimere mængden af vand der er kommet til Jorden med kometer

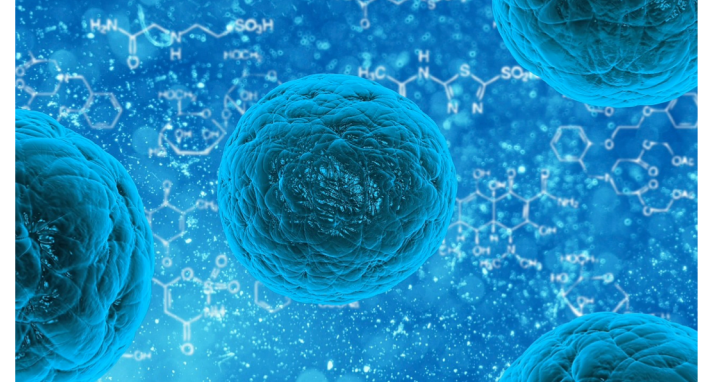


Disse 'leverancer' af vand foregik særligt i en periode på omkring 100 mio. år for ca. 3.8-3.9 mia. år siden. Her blev Månen og Jorden bombaderet med 1000 tons kosmisk materialer i form kometer (hvoraf 20% er småsten med kosmiske spor og 80% er vand i form af is). Det er estimeret af den mængde vand, der kom til Jorden i dette "Late heavy bombardment", svarer til det vand, vi har i verdenshavene i dag.

Vi må forvente at vandet er kommet både fra kometer (meget vand, men smelter ved solens varme) og asteroider (langt mindre mængde vand, men fordamper ikke så let). Før har man troet at kollisionen med Jorden afgav så meget varme at vandet fra asteroiden ville fordampe, men det har vist sig ikke at være tilfældet og størstedelen bliver på Jorden, enten som vanddamp eller bundet i krystaller ([link](#)).

Vandets betydning for liv

- Livet på Jorden opstår i vandet og er udviklet til at fungere i vand, og derfor afhængigt af vand for at overleve
- Vand er det 'universelle opløsningsmiddel', da det er i stand til at opløse flere stoffer end nogen anden væske, også stoffer afgørende for liv
- Vand fungerer dermed også som bærer og beholder for de nødvendige stoffer, så de kemiske processer kan forløbe
- Alt liv på Jorden består af en eller (mange) flere vandholdige celler, afhængig af hvordan livet er udviklet siden hen. Dermed også deres afhængighed af vand.
- De fleste enkeltcellede organismer kan ikke leve uden for vand, hvorimod nogle dyr kan leve på land, ved at 'opmagasinere' vandet i celler eller æg



PublicDomainPictures



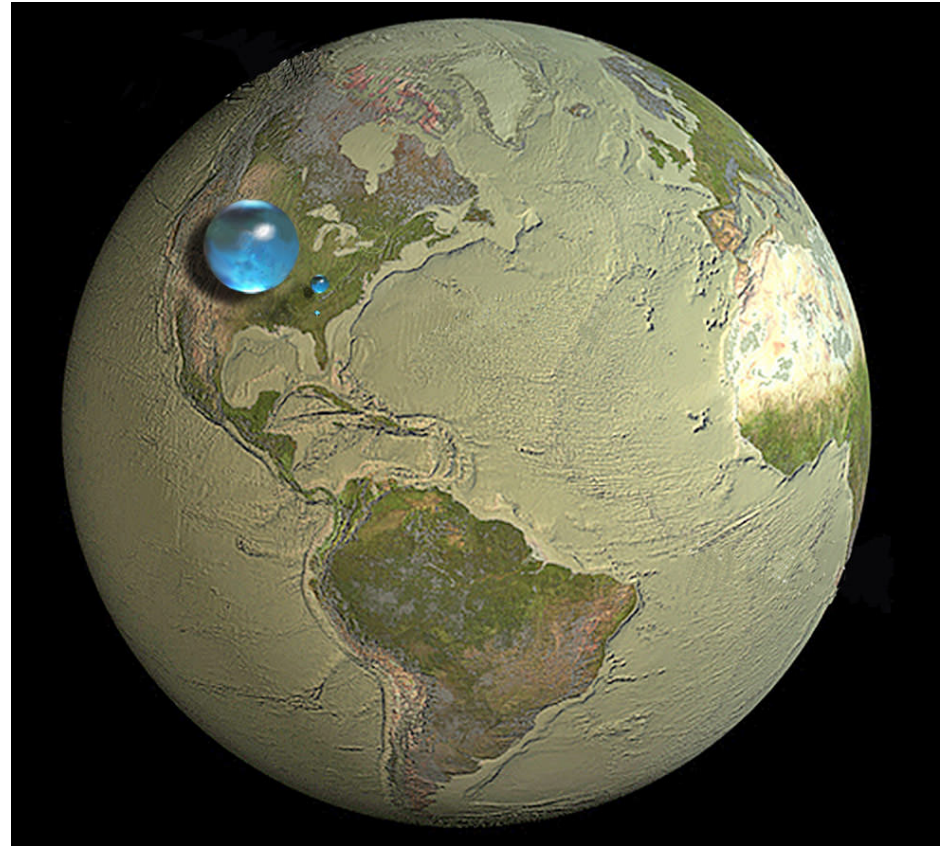
sipa

Det moderne menneske skal helst have et frisk indtag af vand hver dag, men på grund af vores teknologiske fremskridt er dette let tilgængeligt, men det betyder også at vi forbruger langt den største del af Jordens ferskvand

Vands betydning for liv kan også ses fra dyrs reproduktion: Alle dyrefostre vokser op omgivet af vand. Fisk lægger æg med en blød skal, som befrugtes når hanfisk gyder i nærheden. For landlevende dyr sker befrugtningen oftest i livmoderen på hunnen. Hvor amnioter (fx slangen) har udviklet en skal hård nok til at ægget kan lægges på land, så har pattedyr deres fostre i den vandfyldte livmoder i maven (se mere i materialet om 'Arter').

Vandet på Jorden

- Det er dog ikke meget af Jorden som er udgjort af vand.
- 71% af Jordens overfladeareal er dækket af hav
- Vandet i havene udgør dog kun 0.02% af Jordens masse
- Illustreret med vanddråber (og radius) i forhold til Jorden (6371 km) ses til højre:
 1. Alt vand på Jorden (693 km)
 2. Flydende ferskvand (136 km)
 3. Vand i søer og floder (28 km)



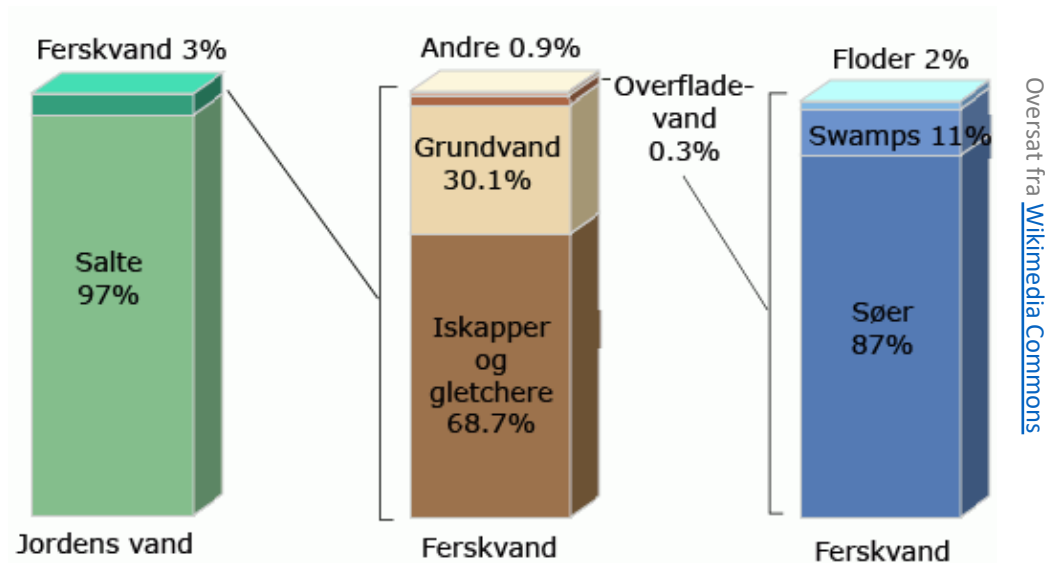
Det kan virke overraskende at det, der gør vores planet så blå og giver os grundlaget for liv, er en boble på størrelse med Tyskland og Polen, men det illustrerer hvor tyndt et lag verdenshavene udgør på Jorden (mere om Jordens størrelse i 'Jordens Struktur').

De tilsvarende vandmængder for de tre inddelinger er 1) 1,39 mia. km³, 2) 10,6 mio. km³ og 3) 93000 km³ (se [mere hos USGS](#)).

Ud over havene viser det sig at vand også befinder sig bundet i andre krystalstrukturer dybt i Jorden, og ovenstående gælder altså kun vand på Jordens overflade.

Vandets fordeling på jorden

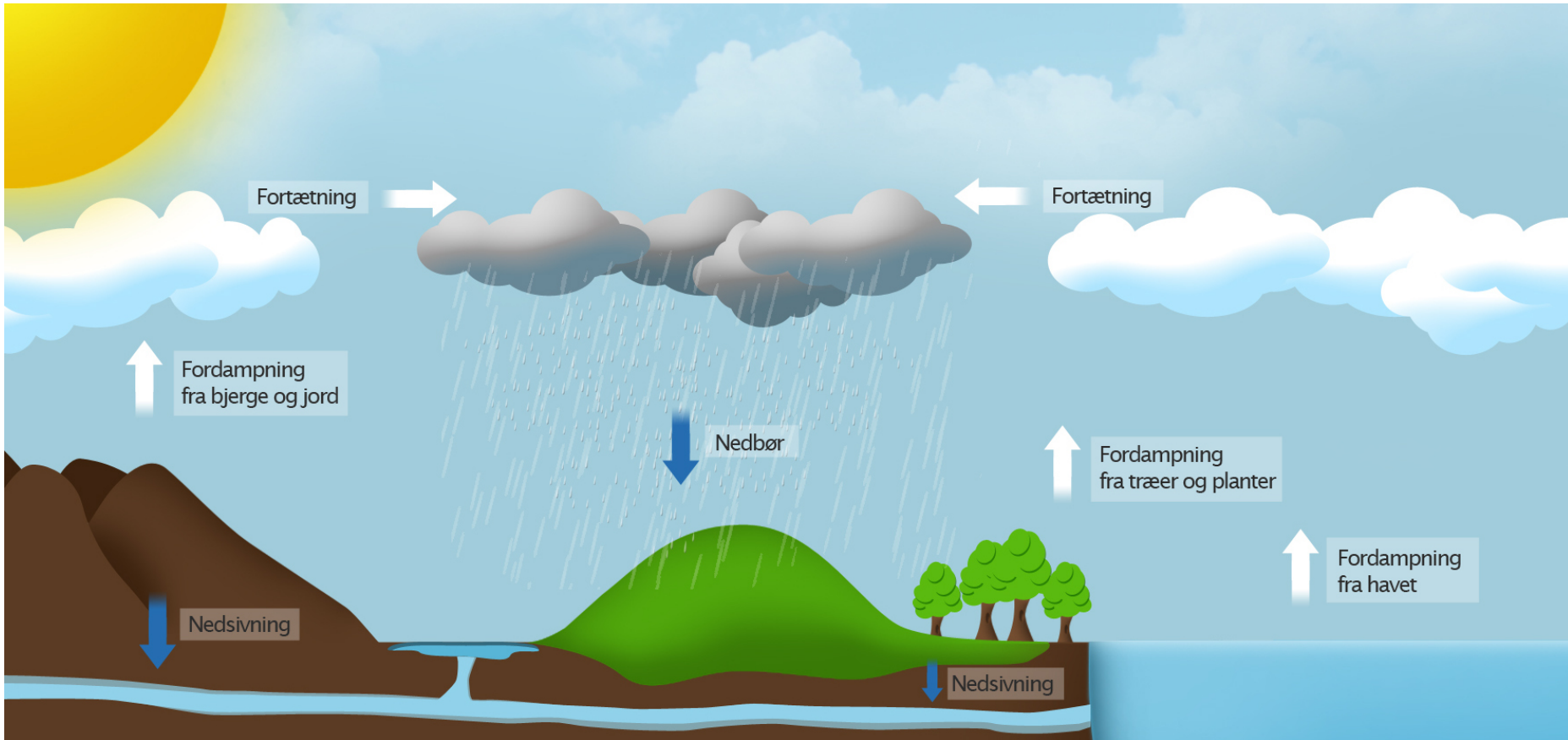
- Størstedelen af det vand, der er tilstede på Jorden er saltvand (97%)
- De resterende 3% er grundvand, lagret i iskapper og gletsjere, søer og floder
- Det er svært at forstå, at verdens længste flod, Nilen, med en længde på 6.853 km kun udgør en meget lille procent af den samlede mængde vand, som findes på Jorden.



Oversat fra [Wikimedia Commons](#)

Verdenshavene udgør 97% af jordens samlede mængde af vand. Ferskvand, som er det vi mennesker drikker, bader, ferskvand som bliver brugt til vanding er afgrøder står kun for 3% af den samlede mængde af vand, enten i form af søer, floder eller grundvand. 2/3 dele af dette ferskvand er sågar bundet i glacier og iskapper utilgængeligt for os. Det betyder at vand er en begrænsende faktor, og det estimeres at ca. 1 milliarder mennesker på jorden mangler tilstrækkeligt med vand.

Vands kredsløb

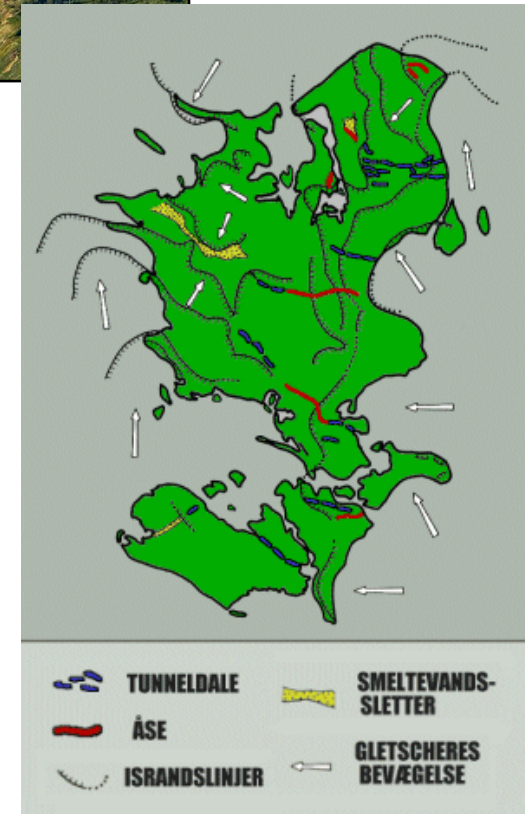
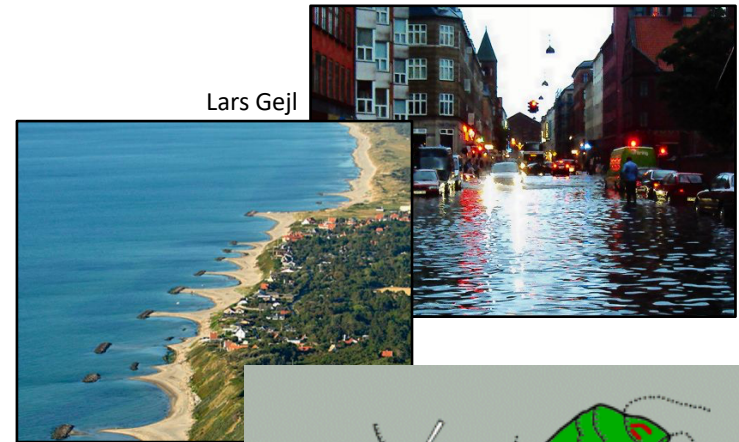


Vand er i konstant bevægelse. Fra overfladen af havet, søer og vandløb sker der fordampning. Planterne optager vand fra jorden, og fra deres blade sker der også fordampning. Vanddamp ses ikke, men når den stiger til vejrs og kommer op i kolde luftlag, bliver den synlig som skyer. I skyerne samles de små vandpartikler sig efterhånden omdannes de til dråber eller iskrystaller. Når de er blevet tilpas store, falder de på grund af vægten ned mod jorden som regn og sne. På jordoverfladen fordamper store mængder af vandet på ny, mens den anden del af nedbøren bliver optaget af planterne, men en stor del af vandet i planterne vil hurtigt fordampe fra bladene igen. Den del af den nedbør, som ikke fordamper, vil strømme på jordoverfladen og gennem drænrør ud til vandløb, til søer og ud i havet. En anden del af nedbøren siver ned i jorden gennem jordoverfladen og bliver til grundvand.

Da vand ikke kun befinder sig nær Jordens overflade, men også dybt i Jorden (mellem kappen og kernen, 410-660 km under overfladen ([kilde](#))), er vandets kredsløb mere kompliceret end afbilledet her. Dybt i Jorden er vandet bundet i andre krystaller (og altså ikke som underjordisk kilde), og er sunket derved pga. Pladetektonik ved fx subduktionszoner. Det meste bliver afsat omkring 150 km under overfladen og kommer tilbage til overfladen ved vulkanudbrud. Det vurderes at der er lige så meget vand låst i kappen, som der er vand i havene og undergrunden ([link](#)).

Vand former Jorden

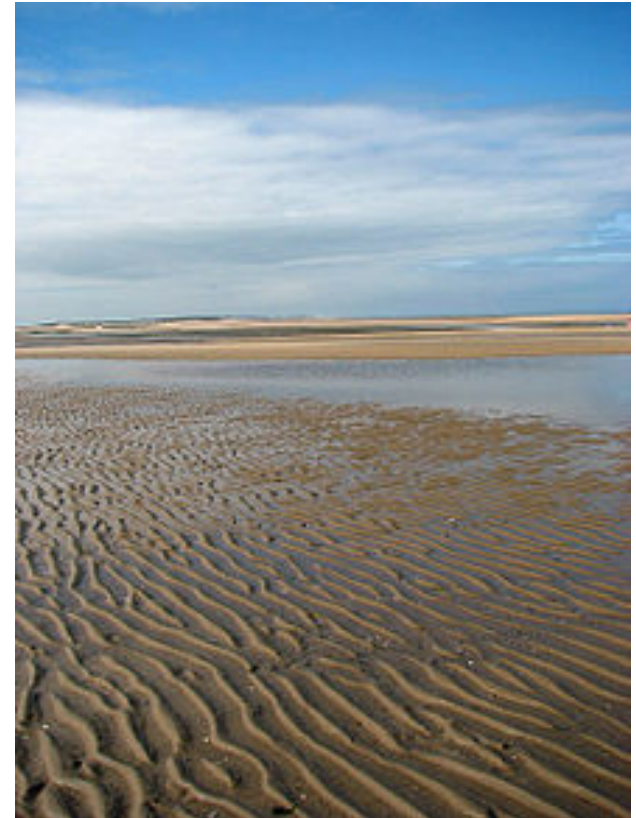
- Når vand bevæger sig rundt, enten i flydende form, eller som is vil det påvirke og forme det landskab det rammer
- Vandstandsstigninger, tidevand, oversvømmelser osv. påvirker kyster og nærkystområder
- Floder og åer har indflydelse på Jordens udseende og udformning
- Is og gletsjere har i fortiden skabt hele landskaber



Kystsikring er nødvendigt, hvis man vil undgå at kysterne trækker sig for meget tilbage og "æder" landet. I Nordjylland, ved Lønstrup har havet de seneste 50 år ædt sig hele 100 meter ind i landet (Vejdirektoratet). Vandstanden i havene stiger og det resulterer i voldsomme og hyppigere stormfloder, som vil lede til voldsomme oversvømmelser af både byer og land (Dansk Meteorologisk Institut). Floder og åer er i konstant forandring og er dermed medvirkende til ændringer i landskabet. Gletsjerne, som har presset sig ind over Danmark gennem forskellige istider har skabt smeltevandssletter, tunneldale og bakkeøer og randmoræner (israndslinjen).

Vandets bevægelse

- Der er flere forskellige processer der er skyld i vandmassernes bevægelser, herunder er nogle opgivet, opdelt efter effekten
- **Kortvarige:**
 - Tidevand: Skyldes massetiltrækningen mellem Jorden og Månen og er en daglig ændring
 - Ekstremt vejr: Enorme vandmasser leveret over kort tid kan have en stor effekt
 - Afsmeltning af is: Sammen med skiftende årstider, vil man kunne se effekten af vinterens is der smelter
- **Langvarige:**
 - Isostasi: Oceaner og kontinenters forsøg på ligevægt. Manglende ligevægt kan forårsage landhævninger som et resultat af afsmeltning af istidens tunge ismasser
 - Eustasi: Ændringer i havniveauet, ca. 1-2 mm/år.



Når vand bevæger sig rundt vil det automatisk påvirke landskaber. Afhængigt af vands tilstandsform, kraften/strømmen og mængden af vandet vil have betydning for udformningen

Fluvial morfologi

- Grand Canyon i Arizona er et godt eksempel på hvordan Colorado River har eroderet landskabet gennem millioner af år
- Grand Canyon måler en længde på 466 km med en bredde på 29 km – alene skabt ved erosion fra Colorado River.



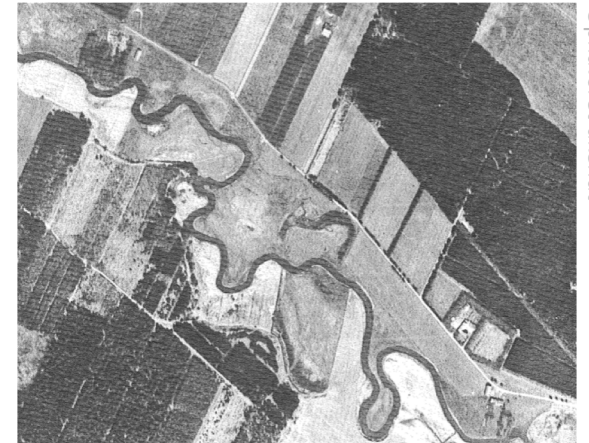
Fluvial morfologi er læren om den strømmende vands påvirkning på jordens udseende og udformning. Floder og åer har det med at ændre udseende over tid, og påvirke landskabet som det løber igennem. til at forme de lande og landskaber den løber igennem.

Fluvial morfologi

- Lige floder forekommer sjældent og her er flodløbet ofte opbygget af store sten på begge sider for at opretholde formen.
- Der findes altid en mæandrerende tendens i et flodsystem (Mæander=vandløbssvingning)
- En konsekvens af de slyngende floder opnås i sidste ende i hestekosø. Mæandere forekommer i dele af et vandløbssystem, hvor faldet og sedimenttransporten er lille og har et asymmetrisk tværprofil.



Wikimedia Commons



Ophavsret ukendt

Afhængigt af bredden, strømhastigheden og mængden af vandgennemstrømningen vil floden påvirkes forskelligt. Når vand strømmer i en retning, vil vandet interagere med landskabet omkring sig, og være med til at forme det på ny. Afhængigt af kraften og mængden af vand vil indflydelsen på det omkringliggende landskab påvirkes forskelligt. På billedet ses Amazon flodens enorme længde på 6.400 km, der har været medvirkende til at forme de lande og landskaber den løber igennem (sammenlign evt. [disse to billeder](#), egentlig illustrerer de afskovningen af Amazonas, men man kan også se ændring i flodløbet). Nedenfor ses en mæandrende flod, som har dannet en hestekosø.

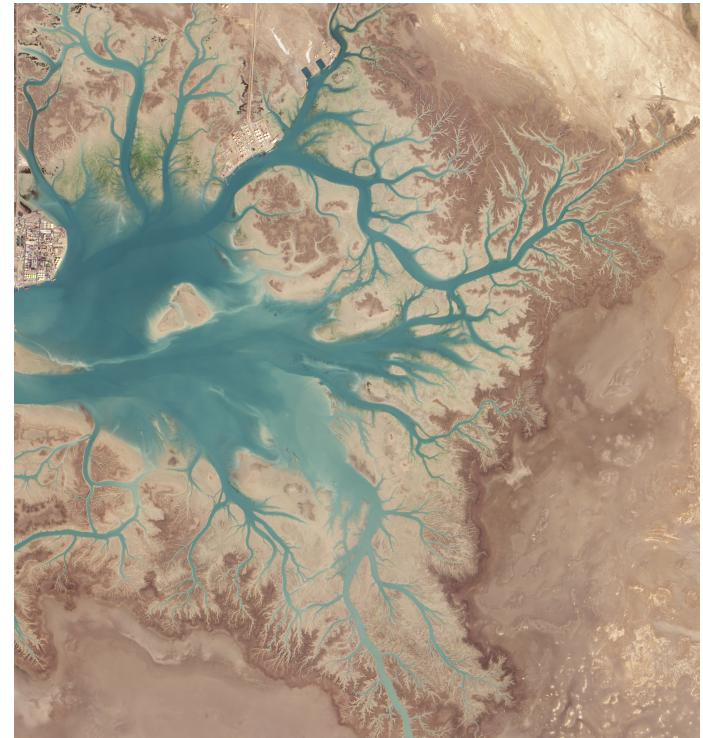
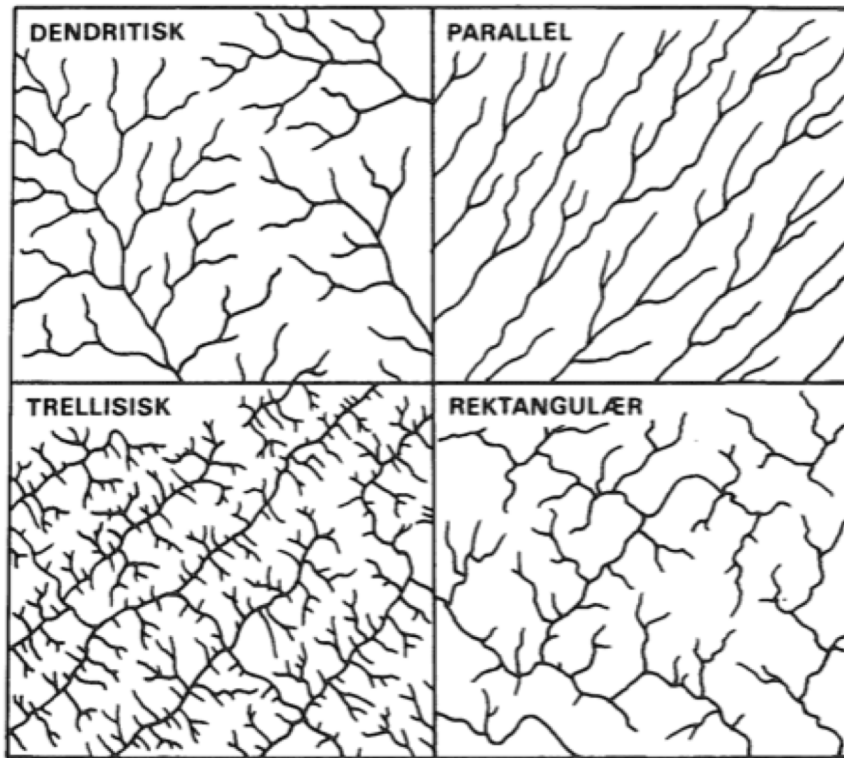
Fluvial morfologi

- I Danmark har mange vandløb mistet deres mæandere. De er gravet væk, for at vandet kan løbe hurtigere og mindske spildplads på marker.
- I erkendelse af at mæandere har stor betydning for vandløbet og omgivelserne, har man gendannet mæandere i mange vandløb.
- Et eksempel er Skjern Å, som er genslynget.
- Flodens forskellighed i form af dybde, og strømhastighed, som der naturligt vil opstå i en mæandrende flod eller å giver et stort udbud af levesteder, hvilket er en forudsætning for vandløbenes rige dyreliv.



På billedet ses Skjern Å, henholdsvis før og efter genslynngningen. Tilbage i 1960'erne valgte man at udrette det naturlige vandløb til en snorlige kanal for at optimere landbrugsarealerne omkring. Dog fandt man hurtigt ud af, at dette tiltag skadede mere end det gavned, og derfor blev det besluttet at genslynge åen igen i 1980'erne. Genslynngningen har kostet 300 millioner kroner og selvom man har forsøgt at ramme det naturlige forløb, vil Skjern Å fortsat ændre sig lidt, og nok først nå sit naturlige forløb om mere end 100 år.

Vandløbsmønstre



NASA Earth Obs.

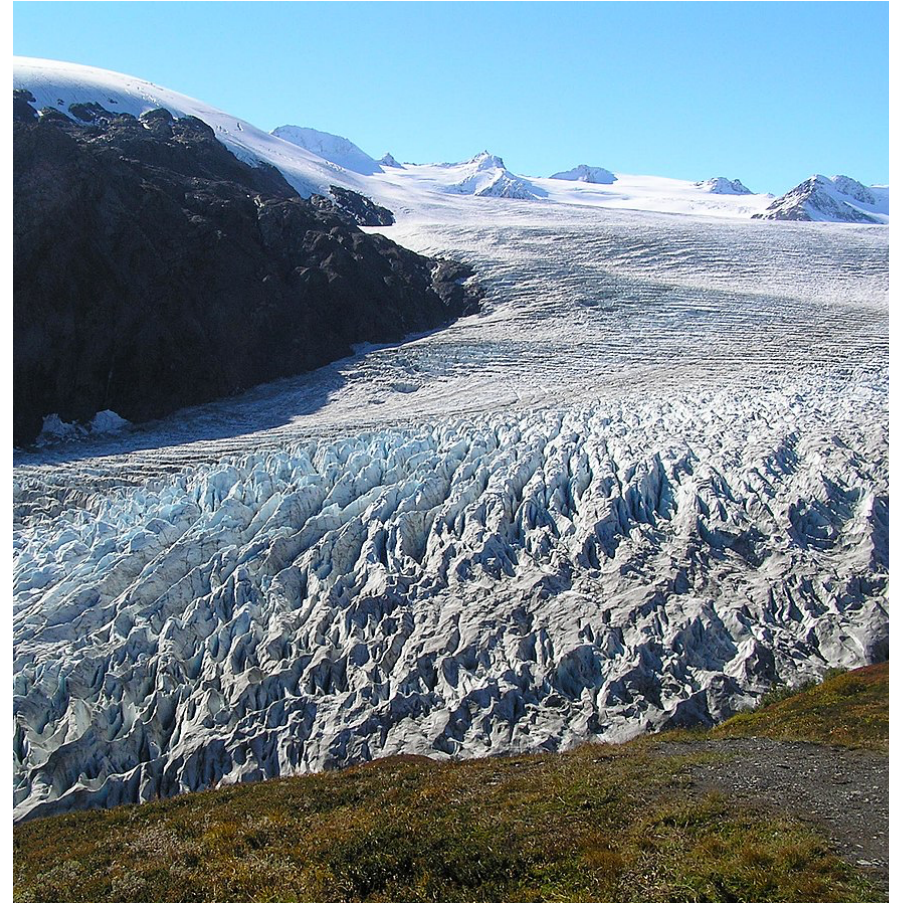
Fluvial morfologi er som nævnt læren om den strømmende vands påvirkning på jordens udseende og udformning og her ses eksempler på hvordan flodsystemers forskellighed.

Vandløbet og det omkringliggende landskab former tilsammen karakteristiske vandløbsmønstre. Der findes fire hovedvandløbsmønstre (fra Fluvialmorfologi: Bartholdy og Hassholt (1992)):

- Dendritiske, dannes hvor der ingen struktur i et ensartet område uden kraftig hældning. Ved Musa Bay, Iran findes et klassisk dentrisk vandløbssystem (ses på billedet ovenfor)
- Parallele, dannes i et ensartet område med kraftig hældning.
- Trelliske, dannes i folderne i bjergarter.
- Rektangulære, dannes hvor der er forkastninger (brudzoner i jordoverfladen, skabt et jordskælv fx.) i flere retninger.

Glacialmorfologi

- Landskaber skabt af gletsjere kaldes *Glacialmorfologi*
- Med voldsom styrke og kræft har gletsjerne med deres enorme transport af is, smeltevandets eroderende og aflejrende effekt formet landskabet på Jorden.
- Danmark er rig på en masse forskellige landsskabsformer som blandt andet er skabt af kræfterne fra gletsjere.
- Islandskabet i Danmark spænder vidt, fra Nordøstsjælland's småbakkede landskab til de fynske alper og videre til Vestjylland's smeltevandslette.



Glacialmorfologi er læren om landskaber skabt af gletsjere i fortid og nutid. Tidligere har op mod 31% af jordoverfladen været dækket af gletsjere. Nu til dags er ca. 11% af jordens landareal dækket af gletsjere, hvor af den største sammenhængende ismasse findes ved antarktisk og udgør et areal på ca. 13 mio. Km². Mens Grønlands indlandsis kun dækker 1,8 mio. Km². Isens som presser sig hen over landskabet, og former landskabet både foran og under isen. På samme måde har gletsjere spillet en rolle for Danmarks udformning.

Glacialmorfologi

- Størstedelen af Danmark blev under Weichselistiden (fra ca. 118.000 til 11.500 år før nu) ramt af et kraftigt gletsjer fremstød.
- Gletsjeren skabte blandt andet randmoræner, tunneldale (øst for Hovedstiltandslinjen) og smeltevandssletter (vest for Hovedstiltandslinjen)
- Vest for Hovedstiltandslinjen rager ydermere et endnu ældre is-landskab op. De såkaldte bakkeøer, som blev dannet af isen tilbage i næstsidste istid, Saale Istid (fra ca. 228.000 indtil for ca. 118.000 år siden).
- Se mere om effekterne fra islandskabet under forsøg: "Danmarks Geomorfologi).



Bakkeø. Ophavsret ukendt



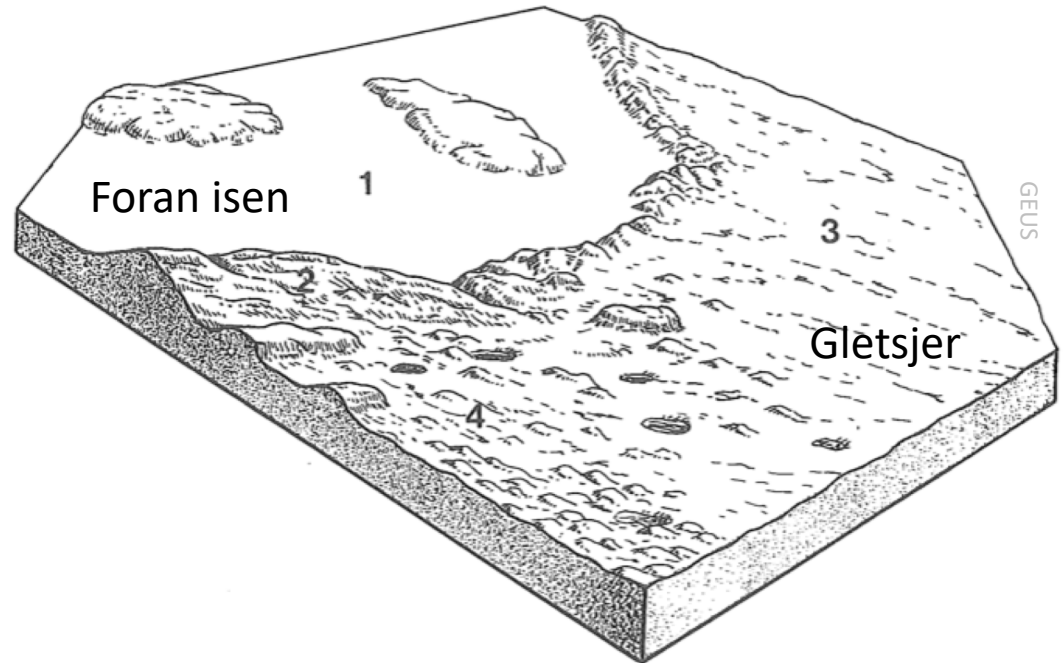
Christian Becher Bengtson

Det imponerende randmorænelandskab ved Odsherred i Nordvestsjælland med udsigtspunktet Vejrhøj, Sjællands tredjehøjeste punkt (121 m over havet) skabt under sidste istid. Bakkeøer ved sydvest Jylland dannet under næstsidste istid (Saale) Bakkeøerne har bortset fra få randområder været isfrie de seneste mindst 100 000 år og henligget næsten vegetationsløse. Smeltevand fra gletsjeren fra seneste istid er skyllet forbi den hårde jord og ladet bakken stå. Det gamle istidslandskab kom således til at stikke op som øer mellem de flade smeltevandssletter, deraf navnet bakkeøer.

Landskabssystemer

Forskellige udformninger af landskabet er affødt af gletsjere og kan inddeles i 4 forskellige landskabssystemer:

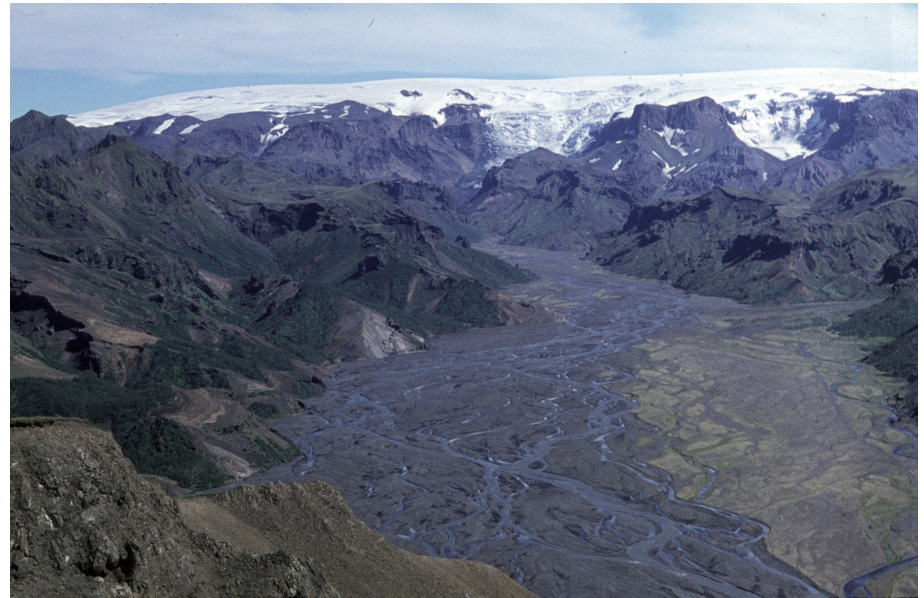
- Det proglaciale (1):
Smeltevandsslette foran gletsjeren
- Det randglaciale (2):
Randmorænedannelse når gletsjeren presser sig frem
- Det subglaciale (3):
Bundmorænelandskab skabt under gletsjeren
- Det supraglaciale (4):
Dødislandskab dannet under stagneret is



Under gletsjeren og langs dens sider slider isen på de underliggende bjerge. Gletsjerne opsamler frostsprængte småsten, klipper og andre sedimenter, der fryser sig fast til isen, og de føres med fra bjergene gennem slugter og dale mod lavlandet. Disse fastfrosne materialer gør, at gletsjeren fungerer som et stykke sandpapir, der sliber landskabet ned på sin vej. De primære glacielle landskabsformer i det danske istidslandskab er bundmorænelandskaber dannet under en aktiv gletsjer (subglaciale), randmoræner dannet foran gletsjeren (randglacial), dødislandskaber dannet under nedsmeltning af en stagneret gletsjer (supraglacial) og smeltevandssletter dannet foran den aktive gletsjer (proglaciale) (Krüger, 1989).

Det proglaciale landskabssystem

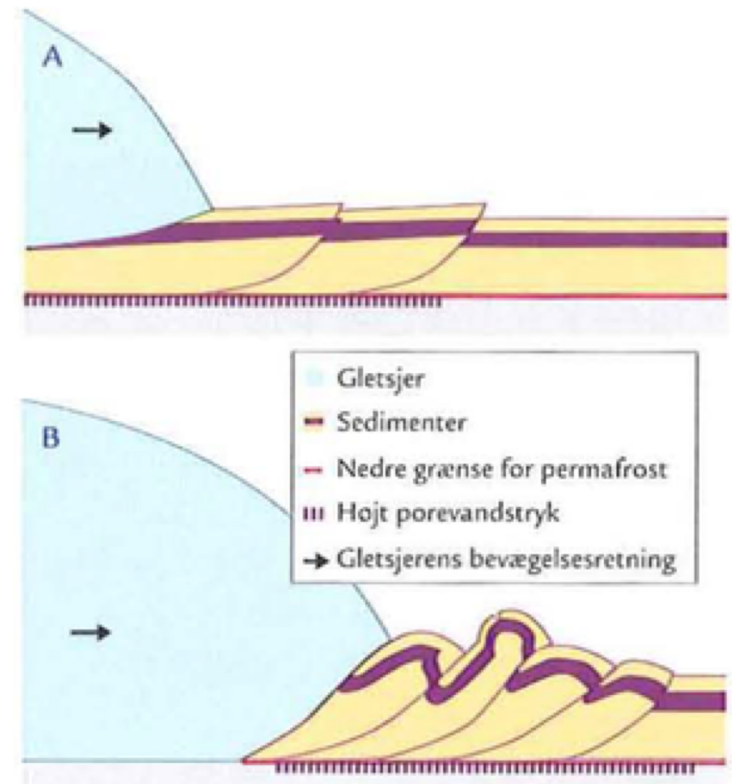
- I Danmark finder man det proglaciale landskab ved Vestjylland.
- Fra Hovedstilstandslinjen er der fra gletsjeren strømmet enorme mængder af smeltevand, som har skabt et fladt og sandet landskab, med utallige smeltevandsfloder og åer.



Det proglaciale landskab er det område, der ligger foran gletsjeren og er et lavtliggende område med præg af smeltevandsfloder (smeltevandslette). Ud af gletsjernes fronter strømmer uendelige mængder af smeltevand. Smeltevandet er tungt lastet med sedimenter og materialer. Vandets bevægelsehastighed har stor betydning for, hvor langt materialerne transporteres, da materialerne sorteres efter massefylde. Landskaber, der har været påvirket af vand, består derfor af sorteret materiale. Floden vil afsætte de tungeste materialer tættest på gletsjerfronten, da de materialer med størst massefylde kun kan transporteres med vandet, hvis strømmen er kraftig nok. Den jyske vestkyst er et udpræget proglacialt landskab. Billedet ovenfor viser en gletsjer med en foranliggende smeltevandslette med talrige smeltevandsfloder (GEUS).

Det randglaciale landskabssystem

- Øverste figur viser den begyndende deformation under og foran en fremrykkende gletsjer.
- Efterhånden som gletsjeren rykker frem, presses og foldes de frosne sedimentflager og stables op i en randmoræne
- Dannelse af randmorænelandskab kan ses på [denne video](#)



I det randglaciale miljø omkring gletsjerfronten dannes randmoræner. Under isfremstød skubber gletsjeren løsere materialer op foran sig og afsætter det som bakker omkring gletsjerfronten. Dette kalder man for isens bulldozer-effekt, og bakkerne, der skubbes op, kaldes randmoræner. Der findes flere randmoræner i Danmark.

Det subglaciale og supraglaciale landskabssystem

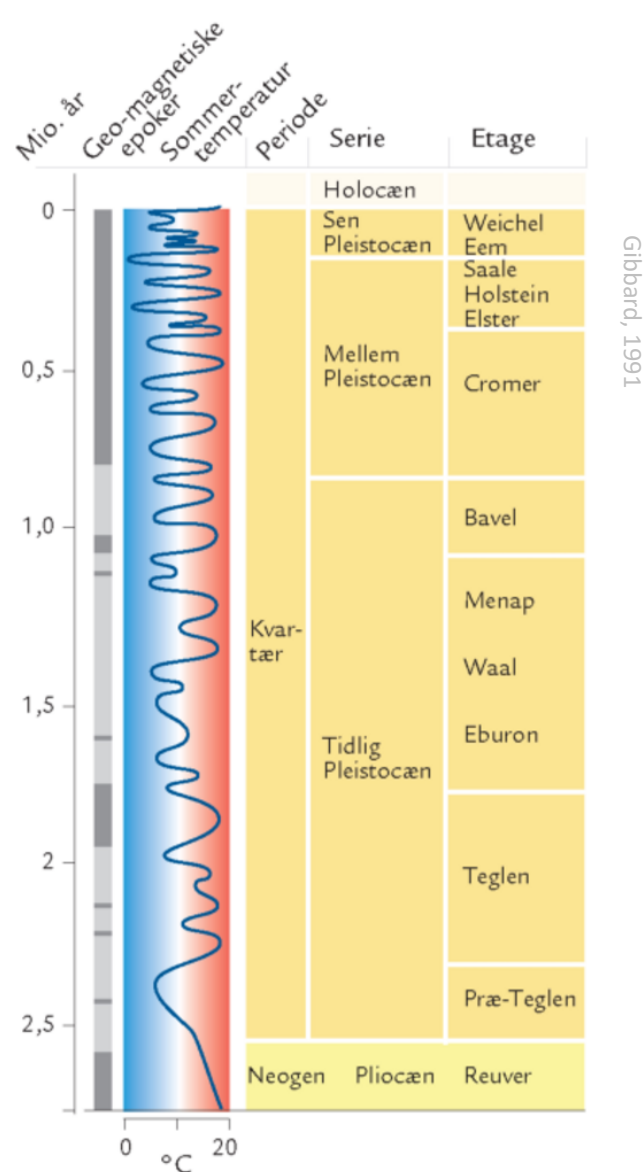
- Største delen af Jylland, Fyn og Sjælland har været dækket af is, og herunder dannes bundmorænelandskabet (**subglacial**)
- I Danmark findes der flere steder dødislandskaber (**supraglacial**) blandt andet på det Fyn og i nord- og midtsjælland.



Under isen – i **det subglaciale miljø** – aflejres materialet i en såkaldt bundmoræne. Den dannes ved, at det materiale, som isen har opsamlet, simpelthen efterlades usorteret (i forskellige former og størrelser), efterhånden som isen smelter tilbage under en varmeperiode. Bundmorænelandskab er landskabet dannet "under" en fremrykkende gletsjer. Landskabet er generelt udglattet og fremtræder med en mere eller mindre småbølget topografi afhængig af underlaget isen har overskredet (GEUS). I situationer hvor dele af en gletsjer går i stå (stagnerer) opstår småbakked landskab med mange små afløbsløse lavninger og stærk variation i sedimenttyper (GEUS). Dette landskab kaldes **det subraglaciale landskabssystem** eller **dødislandskab**. Ses på billedet ovenfor fra Maglesø, Sjælland

Istider på Jorden

- Kvartærperioden omfatter de sidste 2,588 millioner år og inddeles i Pleistocæn (dækker de forskellige is- og mellemistider) og Holocæn (nutidens varmeperiode)
- I perioden har der været store temperaturudsving, hvor sommertemperaturen varierer fra 0-18 grader.



Gibbard, 1991

I kvartærperioden (den fjerde geologiske tidsperiode, som vi befinder os i, hvor der veksles mellem istider og mellemistider). Temperaturen skiftet enormt idet der har været en veksling mellem istider (glacialer) og mellemistiderne (interglacialer) og temperaturen har gennem tiderne haft store udsving. For ca. 80 millioner år siden lå gennemsnitstemperaturen en del højere end i dag. Den globale middeltemperatur var på 23 grader mod i dag, hvor den nuværende gennemsnitstemperaturen er 15 grader. Undersøgelser af isotoper i sedimenter fra isborekerner fra havbunden viser at istider og mellemistider optræder med en gennemsnitslig varighed på henholdsvist 100.000 år og 10.000 år.

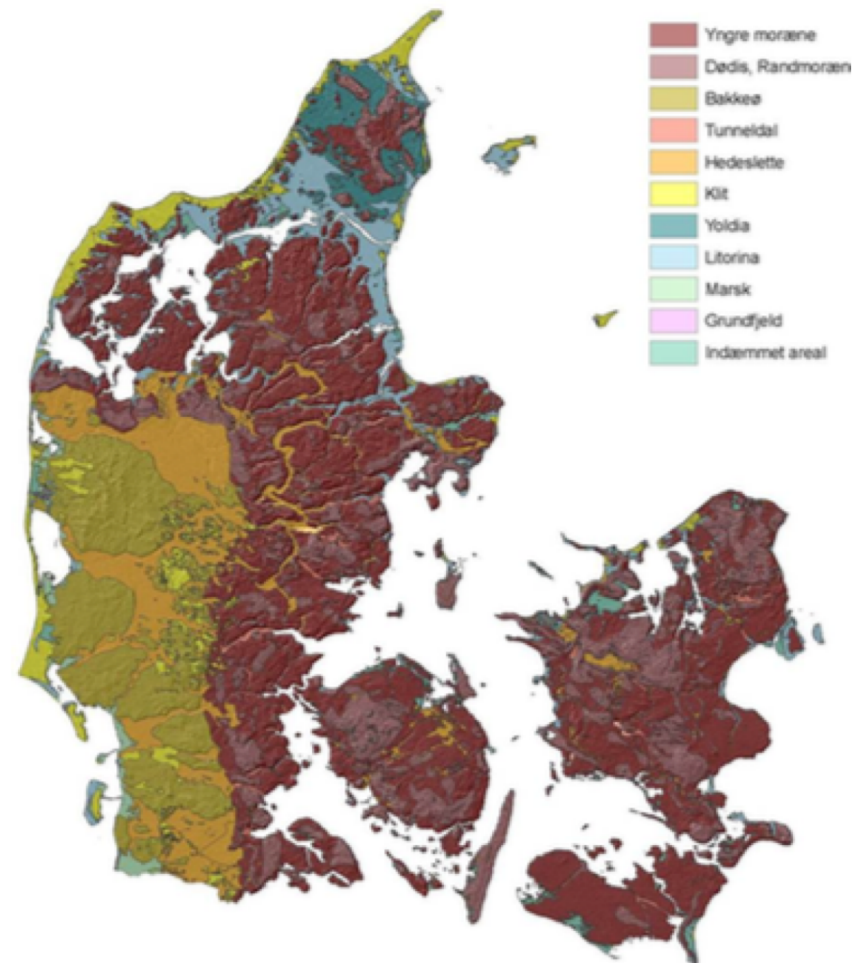
Istider, som har berørt Danmark



Efter en varm periode, kom kulden igen og en ny istid, Weichsel istiden varede fra 118.000-11.000 år siden. Isen rykkede frem over Danmark, men kom dog aldrig til at dække hele Danmark. Isens fremstød og retning kan bestemmes ud fra ledeblokke, som har et så karakteristisk udseende og man kan udpege præcist hvor i Norge eller Sverige de stammer fra.

Isen former Danmark

- Oversigtskort, som viser de effekter gletsjeren har skabt, foran isen, under fremstødet, under isen i bevægelse og i stagnering.
- Man fornemmer særlig effekten i [denne video](#) af istiderne i Danmark



Møns Klint



Møns Klint: Motionsløb.dk

For omkring 17.000 år siden bliver kridtlagene presset op i flager af isfremstød og skaber Møns Klint som vi kender det i dag.

Vestjylland



Hedeslette: Danmarks Naturfredningsforening Viborg

Hedesletten (smeltevandssletten) blev dannet i slutningen af den sidste istid, Weichsel da smeltevand strømmede fra isfronten.

Isenbjerg Bakkeø

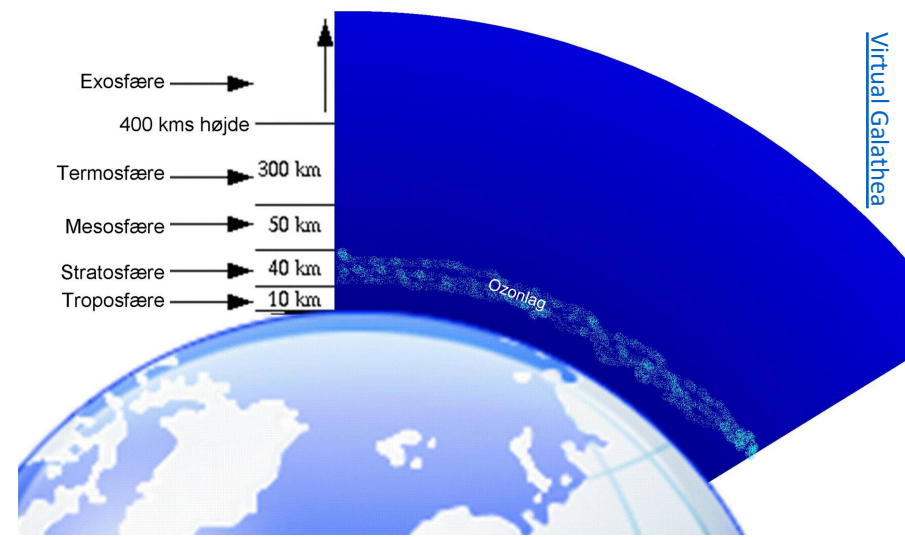
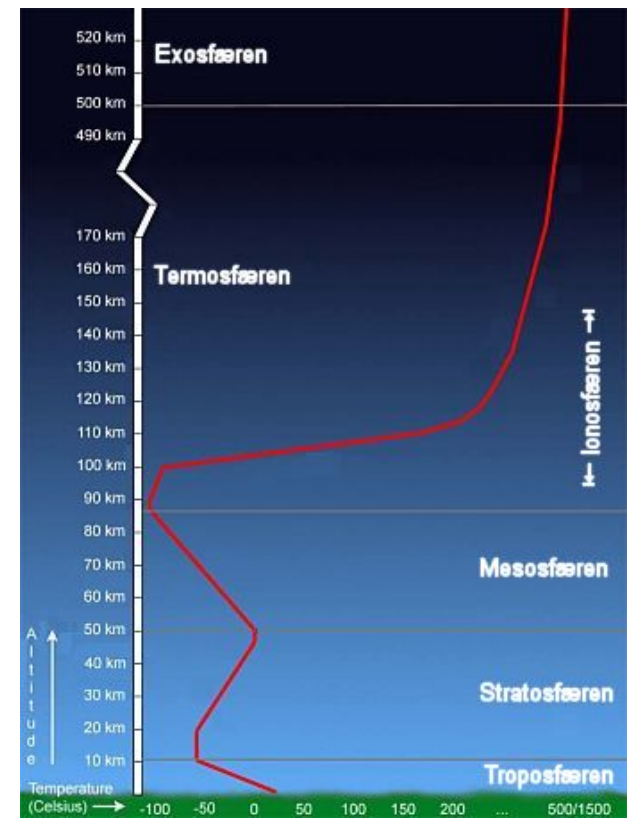


Bakkeøen Isenbjerg: Visit-Ikast/Brande

Bakkeøerne er opstået allerede ved næstsidste istid (Saale istid). Bakkeøerne har, bortset fra få randområder, været isfrie de seneste 100.000 år og henligget næsten vegetationsløse. Mod slutningen af den sidste istid (Weichsel istid) strømmede smeltevand fra gletsjeren langs Hovedstilstandslinien mod Nordsøen. Det gamle istidslandskab kom til at stikke op som øer mellem de flade smeltevandssletter, deraf navnet bakkeøer. Blandt de største bakkeøer er blandt andet Esbjerg Bakkeø, Rødding Bakkeø og Toftlund Bakkeø.

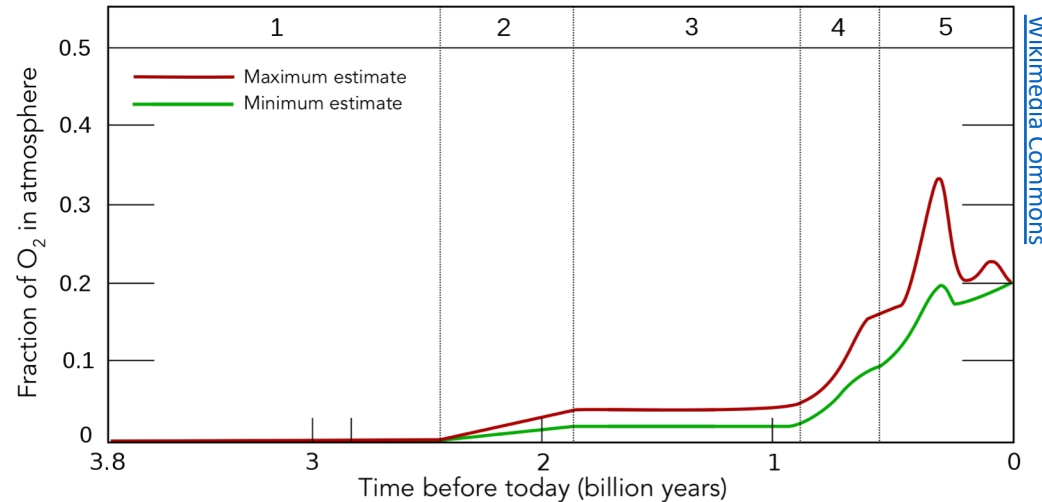
Jordens atmosfære

- Atmosfæren gør Jorden til et helt unikt sted og danner grundlag for at livet – fra de allermindste organismer til avanceret liv, har kunne udvikle sig.
- Jordens atmosfære er et tyndt lag/hinde (kun omkring 6% af Jordens radius). Vi opdeler den normalt i følgende lag (den præcise placering varierer dog forskellige steder på Jorden):
- Troposfæren (0-15 km): >80% af atmosfærens masse, og næsten al vanddamp, dvs. det er her, der findes skyer og vejrphenomener. Her falder temperaturen med ca. 6 °C pr. km
- Stratosfæren (15-50 km): Det meste af atmosfærens ozon, som hjælper med at holde på varmen, og absorberer den kortbølgede ultraviolette stråling fra solen, der kan skade både planter og dyr.
- Mesosfæren (50-80 km): Temperaturen falder hurtigere i dette lag, da der ikke er ozon til at absorbere UV-stråling
- Termosfæren (80-700 km): Luften bliver her fortyndet og ioniseret af UV-stråler fra Solen, og temperaturen afhænger kraftigt af solaktiviteten, men stiger generelt op igennem laget
- Exosfære (700+ km): Den sidste del af atmosfæren som tynder ud i rummet



Ilt i atmosfæren

- For 3,5 mia. år siden opstod blågrønalger (cyanobakterier), som gennem fotosyntese producerede ilt
- Først blev oceanerne og jorden fyldt med ilten, men til sidst var alle kamre opfyldt med ilt, og den begyndte at blive udledt til atmosfæren for omkring 2,4 mia. år siden
- For ca. 1 mia. år begyndte iltindholdet i atmosfæren at stige, og det blev muligt for mere avancerede organismer at benytte respiration
- I dag indeholder Jordens atmosfære ca. 21% ilt, 78% kvælstof, samt en smule argon, kuldioxid (og andet i langt mindre mængder)



Cyanobakterierne har spillet en stor rolle i Jordens udvikling ved at være de første organismer, der dannede ilt og dermed banede vejen for alle de organismer der lever af ilt (mere i materialet om 'Fotosyntese').

CO₂ i atmosfæren er altså en nødvendighed for at atmosfæren kan blive fyldt med ilt. Men gennem de sidste mange år har øget menneskelig aktivitet herunder afbrænding af fossilt brændstof osv resulteret i en enorm stigning i indholdet af CO₂ og det kan fotosyntesen længere balance med.

Drivhuseffekten

- Atmosfærens indhold af drivhusgasser betyder, at Jordens overfladetemperatur er ca. 35 °C højere, end den ellers ville være, og forøget indhold af disse luftarter menes at hæve Jordens gennemsnitstemperatur.
- CO₂ er en drivhusgas som er med til at varme Jorden op ved at reflekterer varmestråling fra Jorden tilbage
- De sidste ca. 200 år har mennesket øget afbrændingen af skove og fossilt brændstof hvilket har udledt ekstra meget CO₂.
- Den udledte CO₂ kan ikke længere balances af fotosyntesen.



Drivhuseffekten er vigtig for temperaturen her på jorden. Uden drivhuseffekten ville temperaturen på jordoverfladen være langt under minuspunktet. Det er særligt drivhusgasser, såsom vanddamp, CO₂ og metan, skyer samt aerosoler i de nederste 15-20 kilometer af atmosfæren, som er med til at skabe drivhuseffekten og som gør jorden beboelig. Siden industrialiseringen er CO₂-niveauet steget med mere end 40%, pga. øget menneskelig aktivitet og udledning af drivhusgasser. Det får temperaturen til at stige i atmosfæren → global opvarmning. Er vi i virkeligheden i gang med at forårsage en forureningskatastrofe hvor vi udrydder os selv, som de første organismer på Jorden gjorde, da de begyndte at udlede ilt til atmosfæren?

Vejr, vind og havstrømme

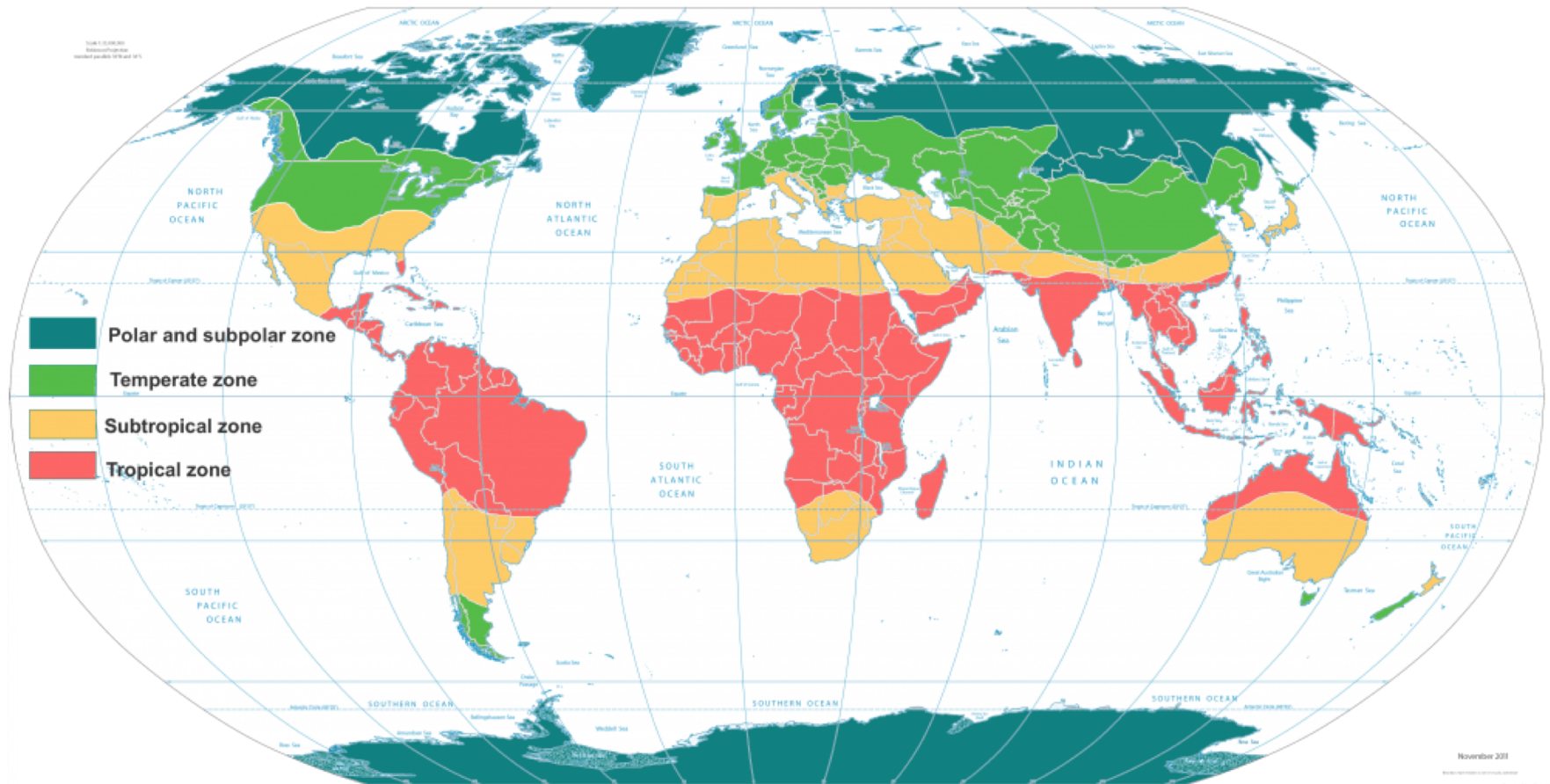
- Vejrforhold på landjorden er styret af havstrømme i oceanerne og vindforhold
- Kraftige vinde kan påvirke udseendet på landjorden, når vindstyrken bliver så kraftig at jorden eroderes væk og transportere sedimenter og jord rundt
- Oceanernes havstrømme kan føre til voldsomme hændelser resultere i kraftig nedbør, temperatursvingninger og oversvømmelser



Liselotte Kahns

Vind og vand bevæger sig hele tiden. Vandet i verdenshavene flytter sig hele tiden rundt pga. af havstrømme og vinde. Vinden påvirker ligeledes havstrømmene. Havstrømme står for at transportere varmt og koldt vand rundt, hvilket har stor betydning for klimaet og vejrforholdene på landjorden. Disse naturlige mekanismer i Jordens klimasystem har stor indvirkning på klimaet i dag og landskabet udformning.

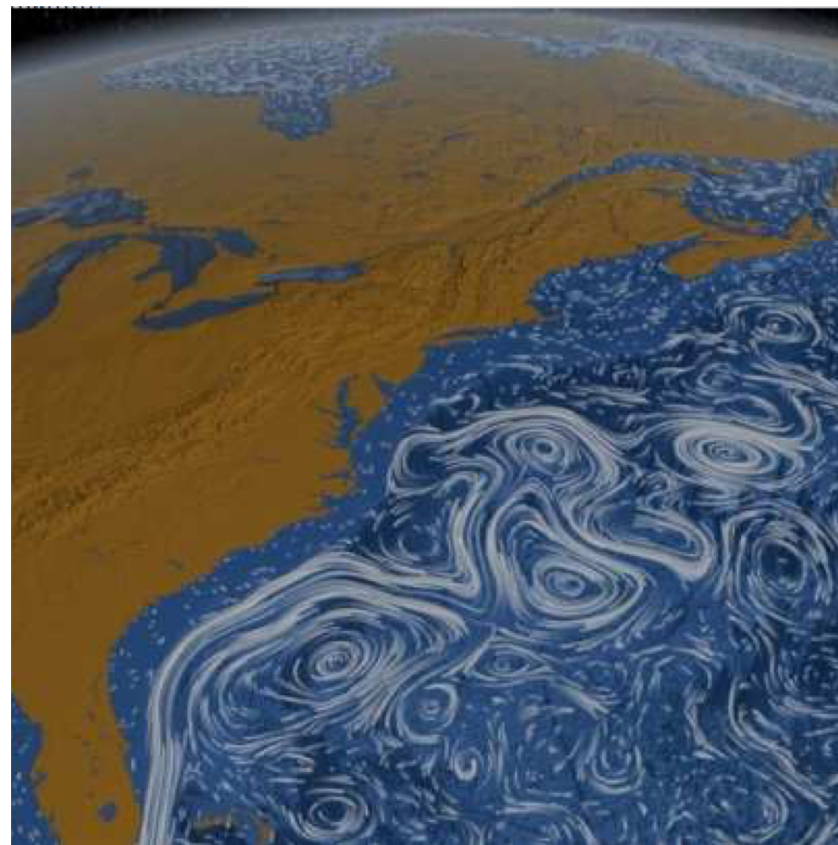
Klimazoner på jorden



Jorden inddeles i en række forskellige klimazoner, henholdsvis polarklima, tempereret klima, subtropisk klima og tropisk klima. Disse er et udtryk for nogle bestemte vejrforhold i over nogle områder og karakteriseres ud fra temperatur, nedbørsmængder, vindforhold (vindretninger og vindstyrker), luftfugtigheden, samt varigheden og tætheden af skydække.

Havstrømme

- Havstrømme flytter enorme mængder af vand rundt på kloden
- Vand har en enorm varmekapacitet, og holder altså længe på fx varme modtaget omkring ækvator, og kan dermed påvirker lufttemperaturen i koldere egne
- Det typiske eksempel er Golfstrømmen, som varmes op i den Mexicanske Golf, og afgiver varmen til atmosfæren oppe omkring Europa
- På grund af de globale vindsystemer, bliver den varme luft oftest sendt ind over Nordeuropa og Danmark

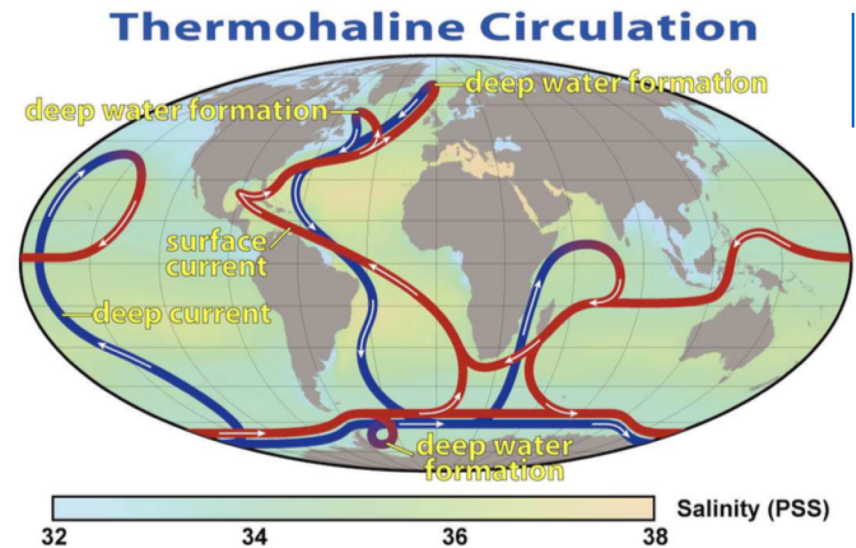


Uden Golfstrømmen ville temperaturen i Danmark nok være 10 grader lavere (kan sammenlignes med byer på samme breddegrader andre steder i verden)

Havstrømmene er mange og de står for at transportere varmt og koldt vand rundt, hvilket har en stor indflydelse for klimaet på landjorden. Især saliniteten (saltindholdet) i havene påvirker transporten af havstrømmene.

Havstrømme: Termohalin cirkulation

- Temperaturen og saliniteten af en havstrøm påvirker densiteten (i forhold til det omgivende hav)
- Afhængig af havstrømmens densitet vil den enten flyde over eller synker under det omgivende vand
- Dette har en stor betydning for vejret på Jorden, da det afgør hvordan varmen fordeles rundt havene og dermed på Jorden



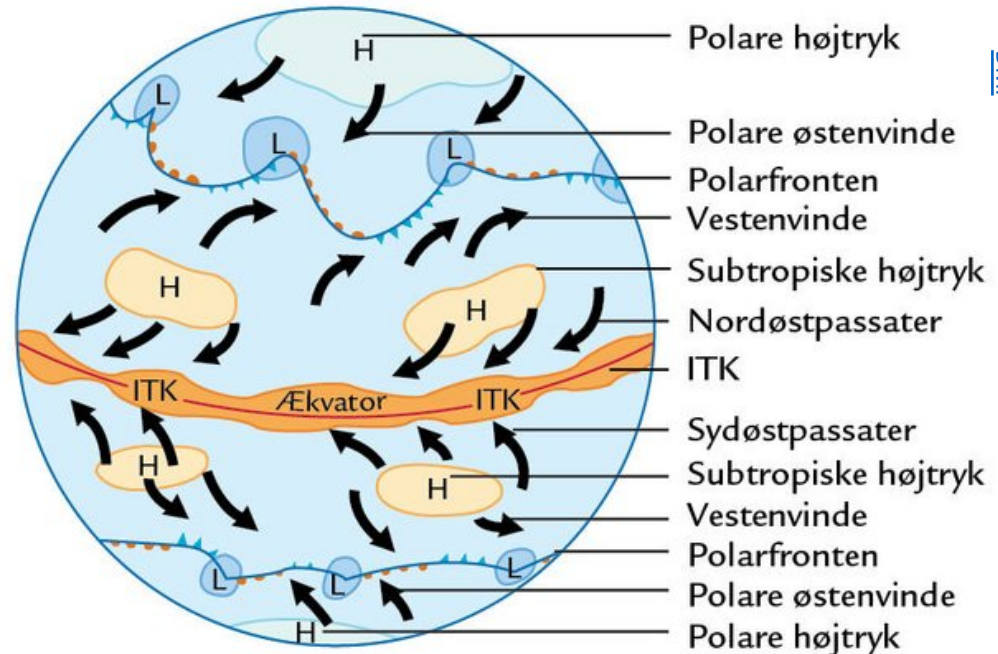
Wikimedia

De sammenhængende havstrømme udgør et globalt kredsløb, som kaldes den *termohaline cirkulation* (termo = temperatur og halin = salinitet).

Når Golfstrømmens varme vand møder det grønlandske kolde vand fryser overfladevandet til is. Når det sker så udskilles saltet fra isen til havvandet under isen. Dermed stiger saliniteten dybere nede. Densiteten af det salte vand er højere end densiteten af det mere ferske vand og derfor falder det dybere ned mod havbunden, hvor det fanges og bliver skubbet tilbage til syd hvor det undervejs langsomt bliver varmet op igen – dette kaldes Grønlandspumpen.

Vind i atmosfæren – globale vind systemer

- Vindsystemet er en af de vigtigste drivkræfter for Jordens klima
- Vindsystemet skabes af varmen fra solen og af Jordens rotation
- Solens opvarmning af Jorden fordeles ujævnt pga. Jordens hældning og krumning. Herved dannes høj- og lavtryksområder, som driver vindene i en evigt cyklus.
- Corioliskraftens (pga. Jordens rotation), giver vindsystemerne deres karakteristiske afbøjning (mod højre på den nordlige halvkugle og mod venstre på den sydlige halvkugle)



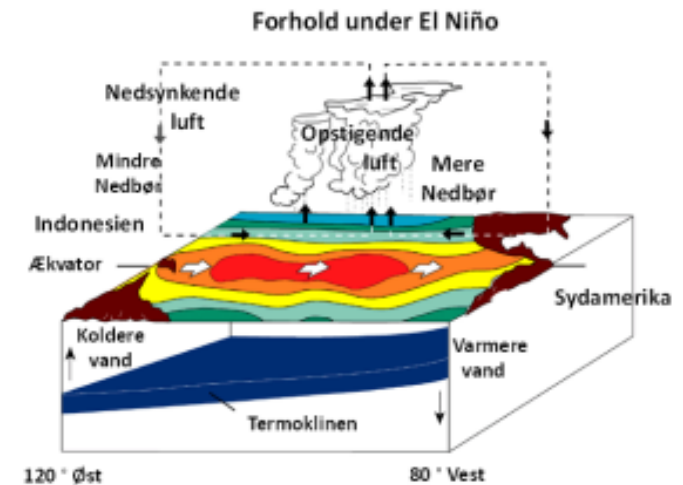
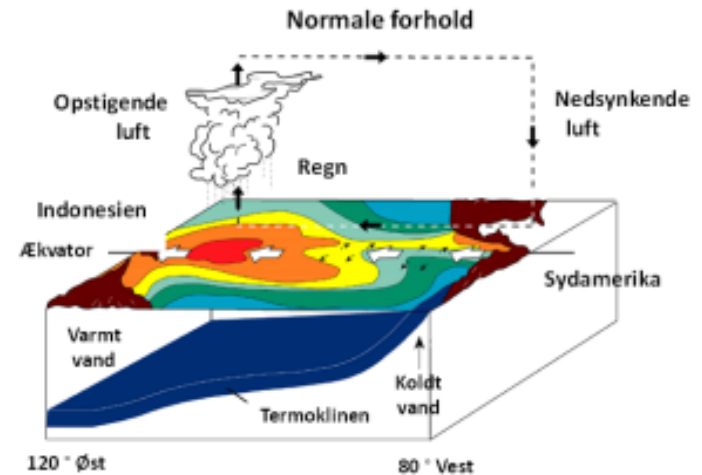
Vindsystemer, som drivkraft, er naturligvis sekundært til solen, både fordi solens lys har en større effekt på flere måder, men også fordi det netop i høj grad er varmen fra solens lys, som driver de globale vindsystemer.

Figuren illustrerer nogle af de vindmønstre som opstår på grund af de effekter nævnt overfor.

Det er muligt at følge Jordens aktuelle vindstrømme i [online værktøj](#).

Vind i atmosfæren

- Variationer i vindforhold kan resultere i markante vejrforhold på landjorden.
- El Niño er et voldsomt fænomen, som opstår omtrent hver syvende år i Stillehavet
- Normale forhold: Varm luft over Indonesien driver en konstant overfladevind fra Sydamerika, hvilket presser et tykt lag af varmt overfladevand hen mod kysten af Australien, hvor det opvarmes. Derudover falder nedbøren også typisk over det østlige Asien
- El Niño forhold: Opvarmning af Stillehavet betyder at overfladevindene stilner af, hvormed det varme vand fordeler sig mere jævnt henover Stillehavet. Dette påvirker nedbøren, som i stedet falder over Sydamerika, med tilsvarende tørke i det østlige Australien. Derudover falder næringsindholdet i havene omkring Sydamerika, hvilket fører til nedgang i dyrelivet og for fiskeriet

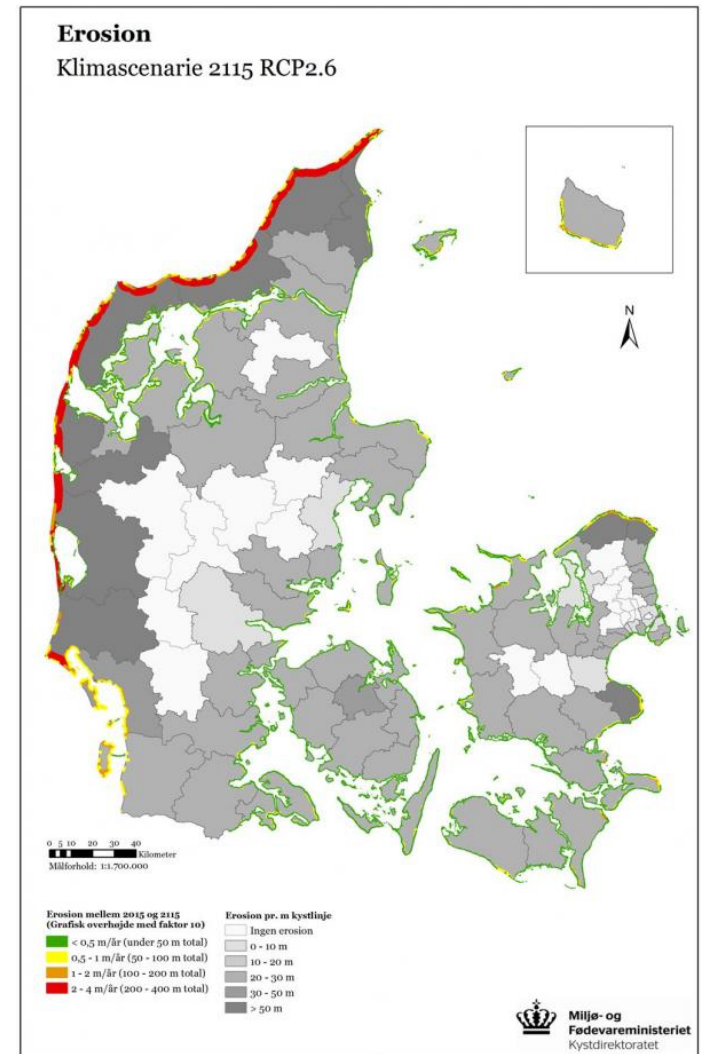


Det overordnede fænomen, der binder atmosfære- og oceanprocesserne sammen, kaldes El Niño Southern Oscillation (ENSO). ENSO har i særlig grad en stor betydning for vejret i lande som grænser op i mod det tropiske Stillehav (fx med kraftig nedbør langs Sydamerikas vestkyst, mens Filippinerne, Indonesien og Australien oplever tørke), det påvirker dog også Jorden mere bredt, og resulterer i en global temperaturstigning.

På figuren angiver røde områder varmere overflade vand og den blå linje angiver hvor dybt i havet, vandet er over 20 grader varmt.

Vejret påvirker Jorden

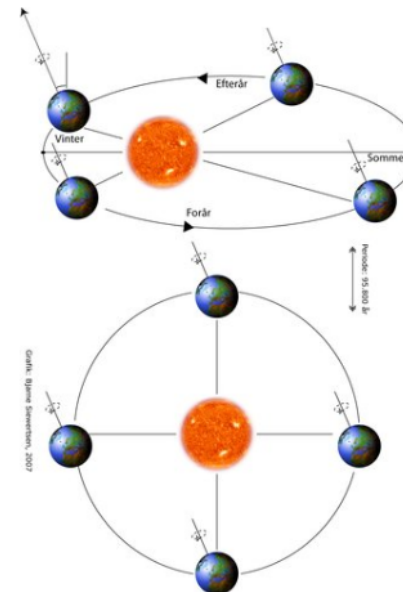
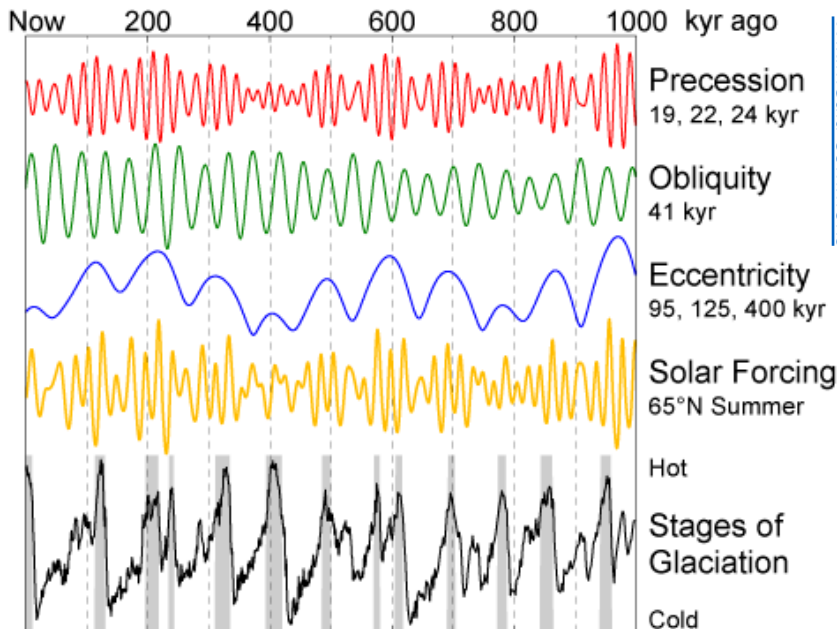
- Vejr, vind og havstrømme har påvirket og påvirker til stadighed i stor stil udformningen af landskaber.
- Ørkener, oversvømmelser og erosion af kysten er bare nogle af de eksempler heraf.



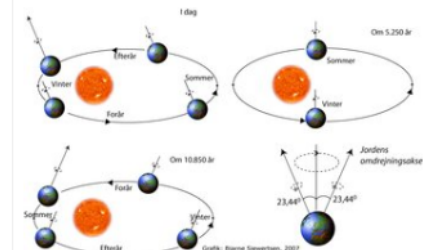
På grund på en meget begrænset nedbørsmængde betegnes området omkring Kangerlussuaq (Søndre Strømfjord) som en arktisk ørken, med tørt klima og sparsom vegetation. Den vestjyske kyst trækker sig hvert år tilbage grundet øget havspejlstigninger som vil føre til erosion af kysten. Det internationale klimapanel IPCC fremskriver at havspejlet vil stige til henholdsvis 30 cm (optimistiske scenarie) og 40 cm (pessimistiske scenarie) i 2065 (i forhold til 2015). I forvejen er erosionsraten langs den jyske vestkyst ca. 3 meter om året. En fremtidig havspejlsstigning vil uundgåeligt øge erosionsraten.

Klimaet ændrer sig naturligt

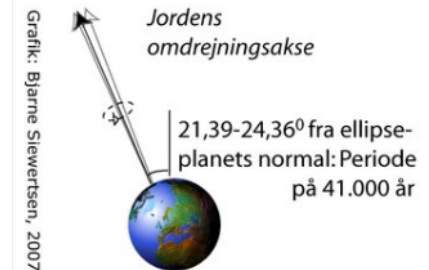
- Milankovich beskrev hvordan naturlige cykliske variationer i Jordens bevægelse rundt omkring Solen, kunne forklare temperaturændringer på jorden og i den forbindelse istidernes oprindelse.
- Jordens bevægelse rundt om Solen har tre variationer, som påvirker temperaturen:
 - **Excentriciteten:** Ændring i jordbanens form omkring Solen
 - **Inklinationen:** Ændring i jordaksens hældning
 - **Præcisionen:** Ændring i jordaksens retning



Jordens bane omkring Solen varierer fra at være næsten cirkulær til svagt elliptisk (fladtrykt) med en periode på 95.800 år. Grafik: Bjarne Siewertsen. Klik for at få et større billede.



Retningen af jordaksens hældning ændrer sig med en periode på 21.700 år. Grafik: Bjarne Siewertsen. Klik for større billede.

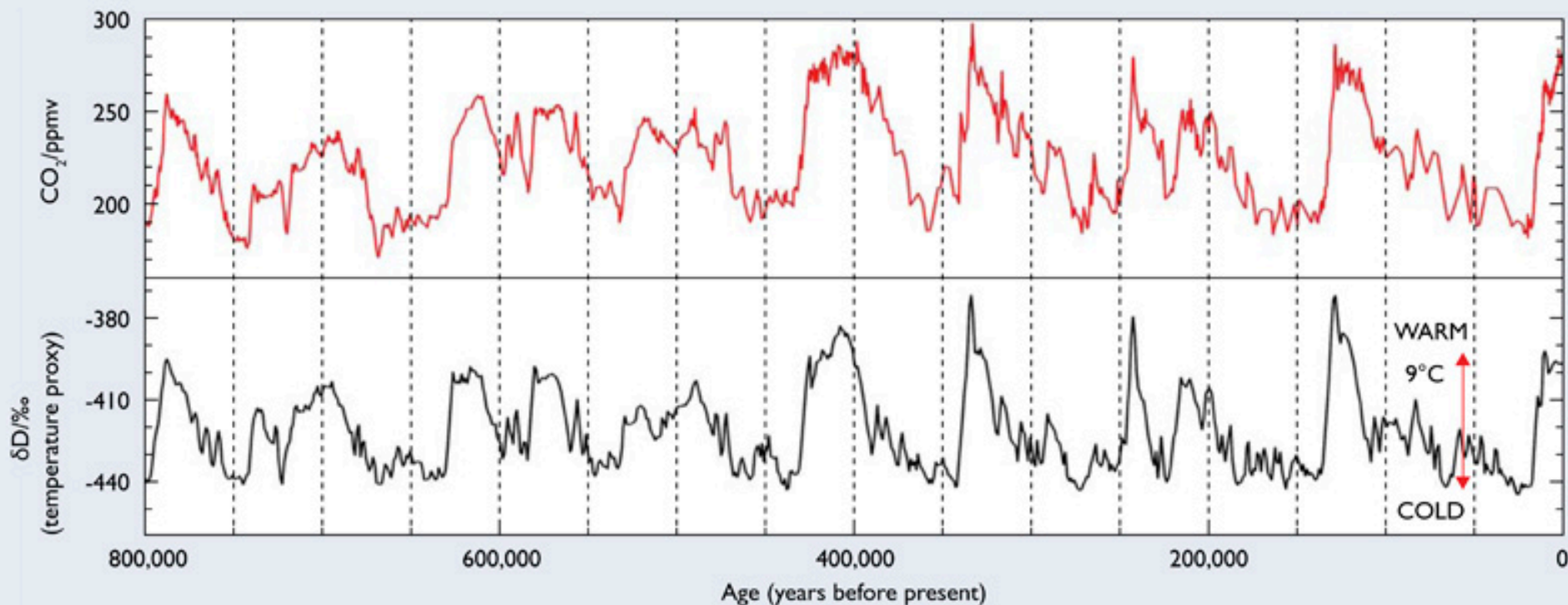


Jordens aksehældning varierer med en periode på 41.000 år. Grafik Bjarne Siewertsen. Klik for større billede.

Klimaændringer over tusinder af år

[British Antarctic Survey](#)

Fig. 3: Ice core data from the EPICA Dome C (Antarctica) ice core: deuterium (δD) is a proxy for local temperature; CO_2 from the ice core air^(5,6)

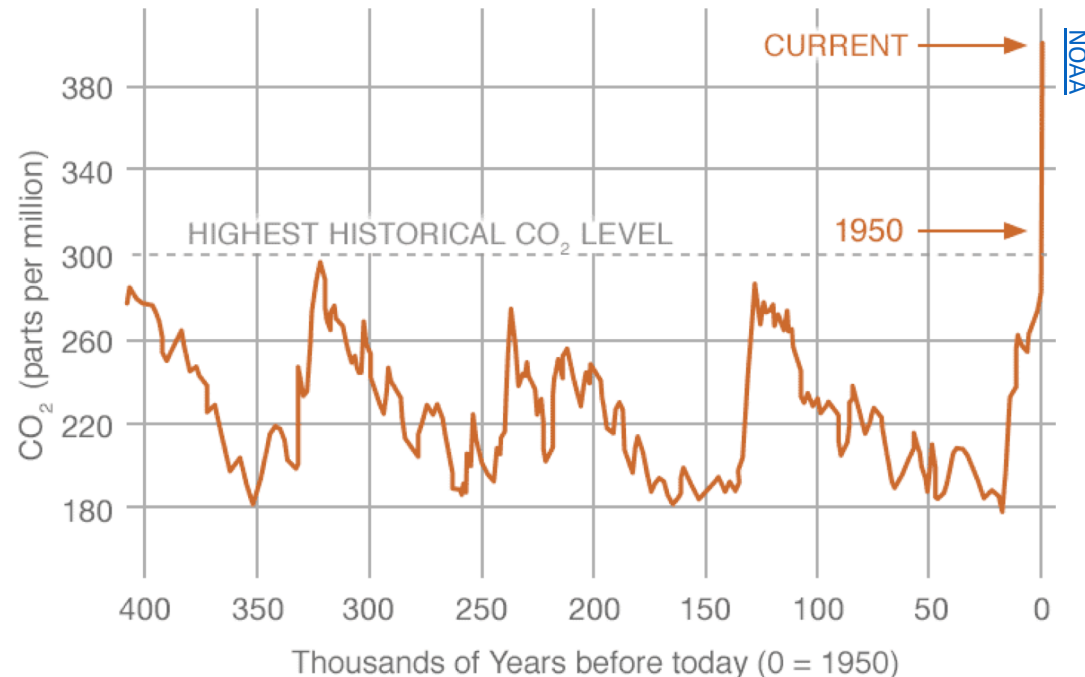


Gennem Jordens 4.6 milliarder levetid har klimaet forandret sig. Det gælder temperaturen og sammensætningen i atmosfæren. Figuren ovenfor viser ændringer i indholdet af CO_2 i atmosfæren, samt variationen i deuterium i vandet, som er et mål for temperaturen lokalt.

Det ses for det første tydeligt, at der har været flere store udsving, og at vi nu lever i en varmere periode. Derudover kan man også se at de to kurver følger hinanden i ret høj grad, og altså påvirker hinanden, enten den ene eller anden vej ([se mere hos NOAA](#)).

Klimaændringer i nyere tid

- Sammenligner man fx koncentrationen af CO₂ i atmosfæren kan man tydeligt se menneskets påvirkning
- I forhold til de store udsving vi ser i fortiden (mellem 180-290 ppm) er koncentration af CO₂ i dag over 400 ppm
- Om denne ændring blot bliver til en opvarmning af Jorden eller om det får yderligere konsekvenser er endnu ukendt
- Alle forskere er dog enige om at en så stor ændring af atmosfæren, en dag vil påvirke livet på Jorden drastisk

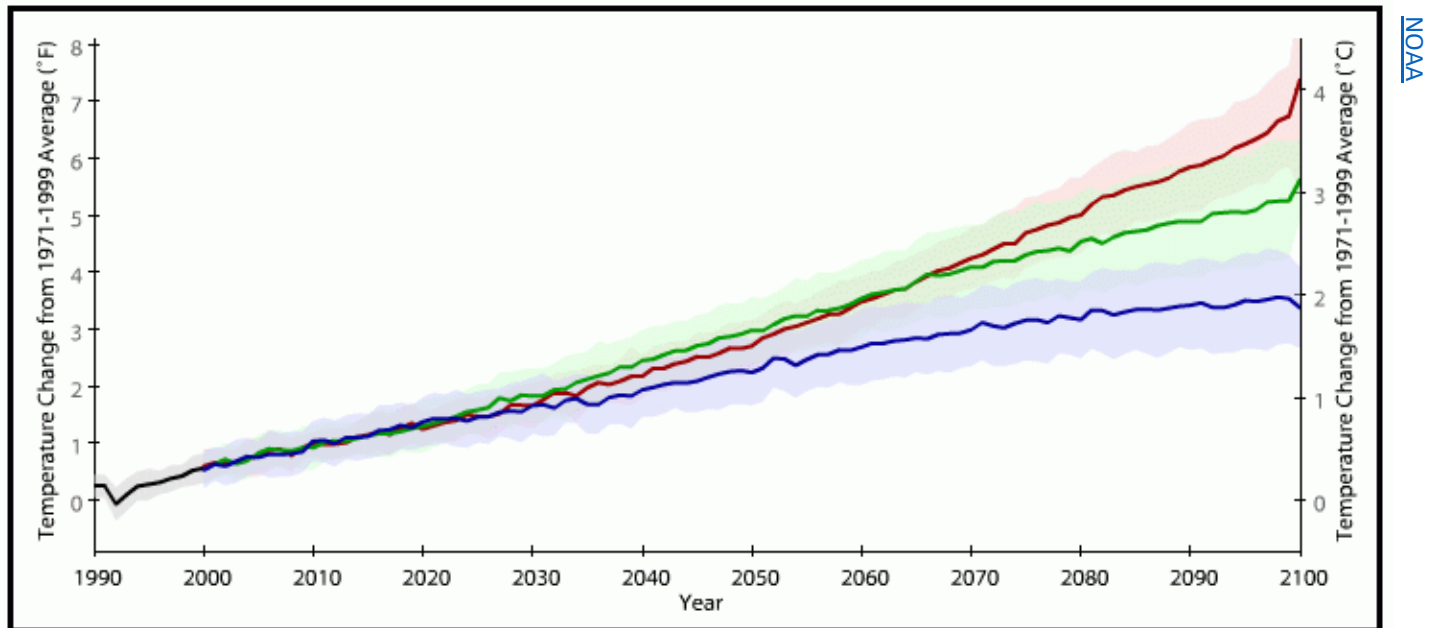


Klimaet har gennem de sidste mange hundrede tusinde år varieret i stor stil og at klimaet ændrer sig er altså ikke et nyt fænomen, men årsagerne til variationerne har ændret sig. Vi står nu i en tid hvor de ændringer vi ser skyldes øget menneskelig aktivitet, og menneskeskabte klimaforandringer er således et nyt fænomen.

Sammenligning af målte værdier i dag og hvad man har målt fra iskerner er illustreret godt i en [animation fra NOAA](#).

Forventninger til fremtidens klima

- Baseret på observationer og modeller af Jordens klima er det muligt at fremskrive og forudsige hvor meget temperaturen vil stige i fremtiden
- Det er dog et meget kompliceret system, så resultaterne er mere usikre længere ude i fremtiden.

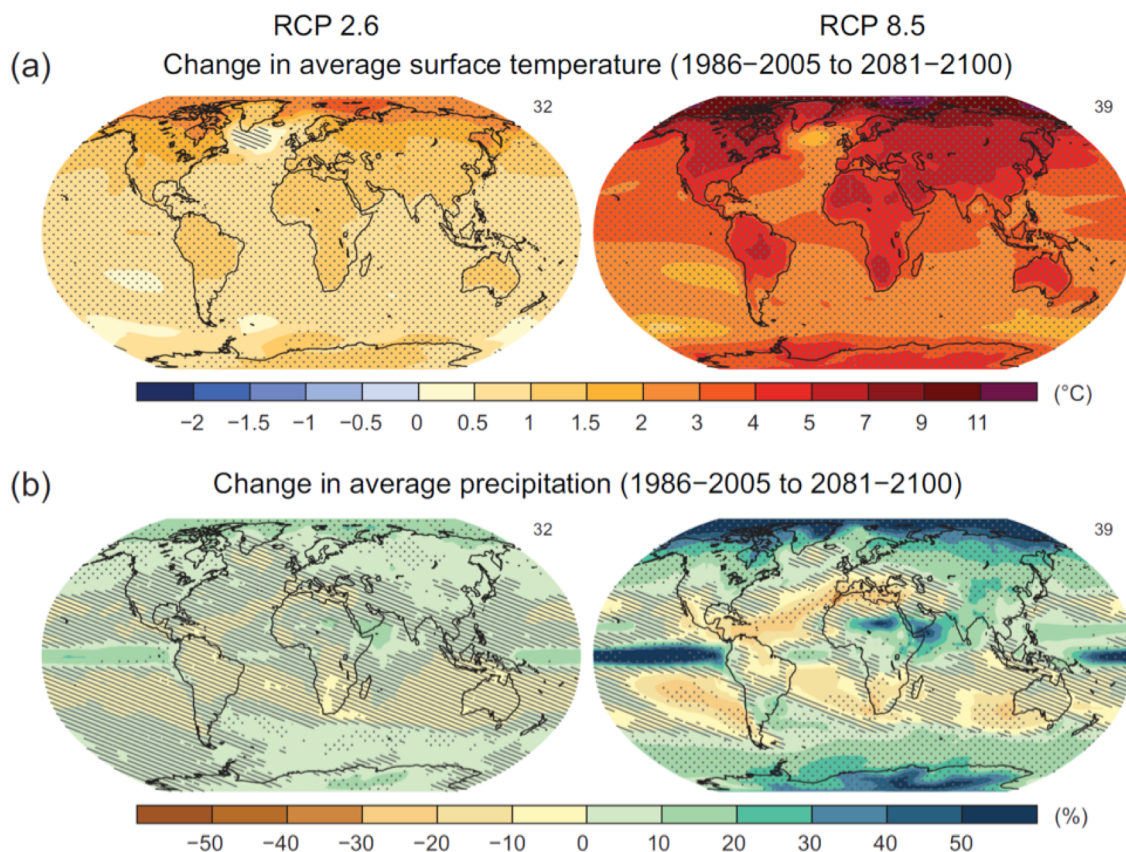


Figuren her illustrerer de forventede fremtidige temperaturændringer på jorden. Den sorte linje illustrerer den gennemsnitlige globale temperatur i det 20. århundrede i forhold til gennemsnittet for 1971-1999. De forskellige farvede linjer indikerer forudsigelser for de kommende temperaturændringer i det 21. århundrede. Tre forskellige scenarier er vist. Røde: Værst scenarie. Grøn: Moderat scenarie. Blå: Lavt scenarie ([interaktiv udgave](#))

På NOAA's (National Oceanic and Atmospheric Administration) hjemmeside: <https://www.noaa.gov> findes mange andre gode interaktive kort og grafer som illustrerer diverse klimatiske udfordringer.

Fremtidens klima – global

- Klimaændringer vil påvirke nogle steder på Jorden mere end andre
- Så selv i nogle af de mere ekstreme scenarier, vil det i nogle områder ikke se ud til at have en stor effekt
- Omvendt vil nogle områder (ofte polerne og ækvator) blive påvirket i langt højere grad, end gennemsnittet



Figuren ovenfor illustrerer at temperaturændringen særligt vil ramme polerne, men at ændringen i mængden af nedbør også særligt vil ramme tættere på ækvator med mere ekstreme udsving.

Ifølge IPCCs fremskrivning af temperaturstigninger på kloden, vil overfladetemperaturen dog stige voldsomt i dette århundrede, både i det optimistiske og i det pessimistiske scenarie.

En skræmmende illustration af [hvis alt is på Jorden smeltede](#) (National Geography).

Om materialet

Big Bang til naturfag

- Materialet er udarbejdet af projektet 'Big Bang til Naturfag' (et samarbejde mellem Københavns Universitet og Aarhus Universitet)
- Big Bang til Naturfag er støttet af A.P. Møller Fonden

KØBENHAVNS
UNIVERSITET



AARHUS UNIVERSITET

A.P. MØLLER FONDEN