

Kryosfæren



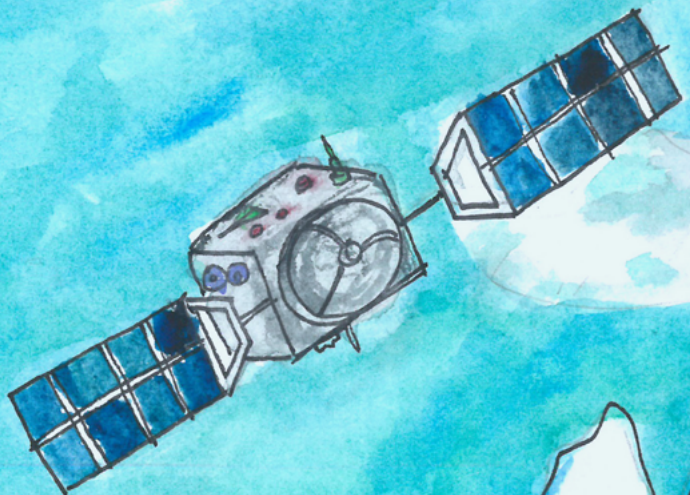
Kryosfæren

I denne del af den virtuelle rejse ser vi på, hvordan det står til i klodens koldeste områder: **kryosfæren** består af alle sne- og isdækkede steder på Jorden. Målet er at give eleverne en forståelse af de grundlæggende dynamikker, der påvirker jordens iskapper, gletsjere og permafrost, samt et overblik over udviklingen i Arktis og Antarktis.

Timen er delt op i tre dele: den første stiller skarpt på iskapperne i Arktis og Antarktis. Her kigger vi samtidig på, hvad albedo betyder, hvordan iskerneboringer fortæller os om fortidens klima og hvilke dynamikker, der er i spil når, gletsjere smelter og kollapseder.

Anden del kommer nærmere ind på permafrosten, gletsjerne i disse områder og de mekanismer, der udløser CO_2 og CH_4 (metan) fra den frosne jord, når den tør. Vi ser også på, hvorfor forskere mener, permafrostens metan kan udgøre et potentielt "tipping point" og gassens rolle i fortidens klimaforandringer.

I den sidste del ser vi dokumentarfilmen "**Chasing Ice**" som følger **James Balogs** projekt "**Extreme Ice Survey**". Dokumentaren giver et godt indblik i udviklingen af mange af den nordlige halvkugles gletsjere og er visuelt et mesterværk, der anskueliggør kryosfærens centrale problematikker.



Målinger med satelliter viser at iskapperne ved polerne bliver mindre, imens iskerneboringer giver os et billede af, hvordan fortidens klima har været.



Energiudvekslingen mellem høje og lave breddegrader i Jordens system gør at polerne opvarmes meget hurtigere end resten af kloden (kaldet **polar forstærkning**).

FORSIDESLIDE: Introducér dagens time. Du kan fortælle, at kryosfæren er en vigtig del af Jordens klimasystem, og at cirka 10 procent af landjordens overflade er dækket af is og sne. Spørg hvad de allerede ved om Jordens frosne områder og om kryosfærens rolle i Jordens system.

1 Fortæl om destinationerne for dagens virtuelle rejse. Vi skal besøge klodens koldeste områder og se, hvordan det går med iskapperne på polerne og permafrosten. Samtidig kigger vi på, hvordan isen bevæger sig og forandrer sig. Man er i de seneste årtier blevet i stand til at kortlægge isens bevægelser meget præcist ved hjælp af satelliter. Is er en vigtig datakilde i klimavidenskaben, da man kan se fortidens atmosfære i de små luftbobler, der i tidens løb er fanget i iskapperne. Vi slutter timen med at tage på rejse sammen med fotografen James Balog til nogle af den nordlige halvkugles største gletsjere i dokumentaren "Chasing Ice".

2 Her kan du kort præcisere, hvad begrebet "kryosfæren" dækker over: samtlige Jordens iskapper og gletsjere, havis, snedækket landjord og områder med **permafrost** (steder hvor jorden eller havbunden er frossen mindst to år i træk). Kryosfæren påvirker det globale klima igennem mange forskellige feedback-mekanismer, som bl.a. har indvirkning på Jordens havstrømme, skydække, energibalance og atmosfærens drivhusgasser.

Afspil video (5:12 min).

3 Fortæl ud fra oversigtsgrafen, hvordan forandringerne i kryosfæren påvirker klimasystemet. Grafikken er hentet fra **denne artikel**, som giver et godt overblik over de forskellige dynamikker, der er i spil i Arktis. Du kan også finde mere baggrund på **NOAAs Arctic Report Card**, som opdateres hvert år. Det er værd at fortælle at der er forskellige mekanismer i spil i hhv. Arktis og Antarktis. Det kigger vi nærmere på i de næste slides (en god introduktion til forandringerne i Arktis og Antarktis er professor Eric Rignots research briefing **How Ice is Melting and What We Should Do About It**).

Afspil video (4:12 min).



Kryosfæren spiller en afgørende rolle i Jordens klima bl.a. fordi is og sne reflekterer solens energi tilbage til rummet.

Forandringerne i kryosfæren har drastiske konsekvenser for de mennesker og organismer, der lever i klodens koldeste områder. Arktiske folk oplever f.eks., at både vejret og deres jagtområder bliver mere uforudsigelige. Dyre- og plantelivet er samtidig i hastig forandring – nogle arters levested forsvinder, imens nye arter vandrer mod polerne.

De sidste årtier har vi fået et ret præcist billede både af atmosfærens sammensætning og Jordens temperatur igennem de sidste 800.000 år ved at studere iskapperne på Grønland og i Antarktis. Disse data hjælper os bl.a. med at forstå istidernes rytme og giver også et indblik i hastigheden, hvormed klimaforandringer kan foregå.



Ved hjælp af satellitmålinger kan man måle isens bevægelsehastighed og se, hvilke gletsjere og isbræmmer, der forsvinder hurtigst. Særligt i Vestantarktis er afsmeltningen taget til i løbet af de sidste årtier.

4 Siden målingerne af havisen med satelliter over Arktis begyndte i 1978, har vi vidst, at **isdækket bliver mindre år for år**. Havisen når sit minimum i september, hvor vinteren begynder at sætte ind og isen igen vokser. Illustration øverst i højre hjørne viser forskellen imellem september 1984 og 2016. Set i forhold til isens gennemsnitsstørrelse mellem 1981-2010 forsvinder havisen i Arktis nu med **omkring 13% hvert årti**. Isen er nu omkring **1 million km² mindre end gennemsnittet fra 1981-2010** (hvilket nogenlunde svarer til størrelsen af Ægypten). Men det er ikke kun størrelsen, der forandrer sig, det er også sammensætningen af havisen: i 1985 var en tredjedel af isen mere end fire år gammel, **i 2019 var det kun 1,2%**. Ældre is er tykkere og har et lavere saltindhold, så den smelter ikke så hurtigt som ny is, der er mere ustabil.

Oversigtsgrafen nederst i højre hjørne viser udviklingen af den arktiske havis mellem 1979-2020. Med henvisning til formen på grafen refererer forskere til denne graf som **den Arktiske dødsspiral**: fremskriver man udviklingen på denne graf bliver Arktis issfri om sommeren fra omkring 2035. Det er accepteret i forskningsmiljøet at Arktis kan blive permanent issfri ved udgangen af det 21. århundrede.

Opvarmningen i Arktis foregår **dobbelt så hurtigt som resten af kloden** og forandringerne er kommet hurtigere end mange forskere forventede få årtier tilbage. Det er dels fordi, afsmeltningen af Arktis er gået fra at være en konsekvens af den globale opvarmning til at være en drivkraft bag klimaforandringerne. Det er flere **positive feedbackmekanismer** involveret i den hurtige opvarmning i Arktis (vi har undersøgt dette emne i timen Jordens system). Hovedårsagen er, at **albedo-effekten** er **blevet mindre** efterhånden som isen er skrumpet – illustrationen i venstre side af denne slide viser, hvordan isen reflekterer mere sollys tilbage til rummet.

Andre potentielle feedbackmekanismer er ændringer i vind- og havstrømme, tilvæksten af alger og planter, samt optøningen af mikro-organismer i den frosne jord, som producerer drivhusgasser (sidstnævnte kigger vi på i næste del af timen).

Temperaturforskellen imellem Arktis og resten af kloden bliver gradvist mindre, hvilket påvirker den **Nordatlantiske Oscillation** (som er trykforskellen imellem Island og Acorerne). Dette forårsager, at vindstyrken i perioder bliver svagere og derfor **begynder den arktiske jetstrøm at "slingre"**, hvilket sender varm luft indover indlandsisen og Nordpolen (og kold luft ned over Nordamerika, Europa og Asien). Denne forstyrrelse påvirker også cirkulationen i havene.

5 Afsmeltningen af **indlandsisen** på Grønland er ligeledes taget til i løbet af de sidste årtier – hvor omkring 26 gigaton (Gt) is smeltede hvert år mellem 1992-1997, forsvandt cirka 244 Gt om året mellem 2012-2017 (grafene og tallene på denne slide tager udgangspunkt i **IMBIEs artikler**). Samtidig med at lufttemperaturen stiger og den arktiske jetstrøm forandres, **opvarmes indlandsisen nedefra** af havstrømme på øst- og vestsiden af Grønland.

Brug grafen øverst i venstre hjørne til at give et indblik i, hvor hurtigt det går.

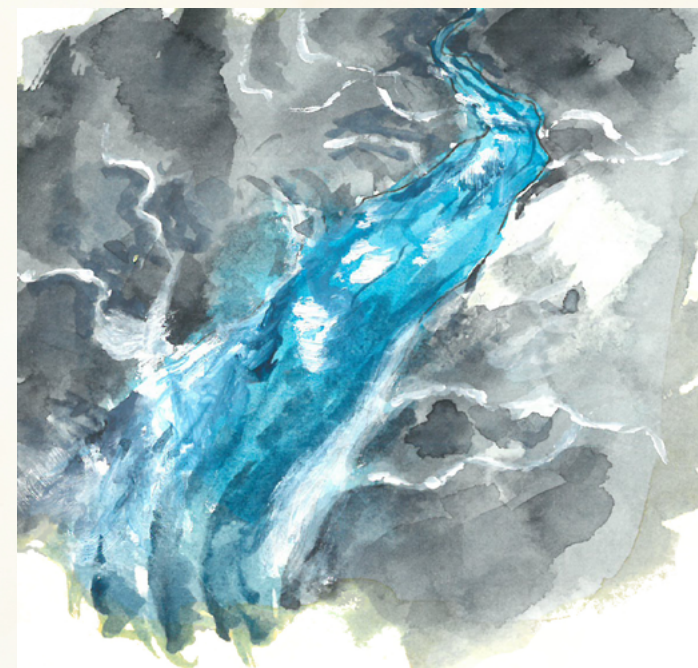
3902 Gt kan være svært at forholde sig til. Du kan fortælle at 1 Gt er 1 mia. tons eller 1 kubikkilometer. **NASA bruger billedet**, at det svarer til man hældte 120 millioner svømmebassiner i olympisk størrelse i havet hvert år i 26 år. Du kan også bede eleverne forestille sig et overfladeareal på størrelse med Fyn, Bornholm og Mors dækket af en iskappe der er 1km tyk. Eller at hele verdenshavet var dækket af et islag på 1,08 cm. (Det er nogenlunde samme mængde vand som hele menneskeheden bruger på et år.)

Indlandsisen bevæger sig igennem gletsjere, der munder ud ved havet, hvor den brækker af (kælver) i isbjerge. Da indlandsisen befinder sig over land udvides vandstanden i havene når isbjerge kælver eller isen smelter og løber i havet. Fra 1992-2018 har afsmeltningen af indlandsisen på Grønland **hævet vandstanden med 1,08 cm**. Fremskriver man den gennemsnitlige afsmeltning i denne periode, vil afsmeltningen af indlandsisen bidrage til en stigning på 7-13 cm i havenes vandstand i 2100. Hvis hele indlandsisen smelter, vil det betyde en **havstigning på 7,2 m**.

Afspil video (3:36 min).

6 Denne slide er med, for at vise hvordan indlandsisen er i forandring. En stigende mængde mørke partikler, som f.eks. sod

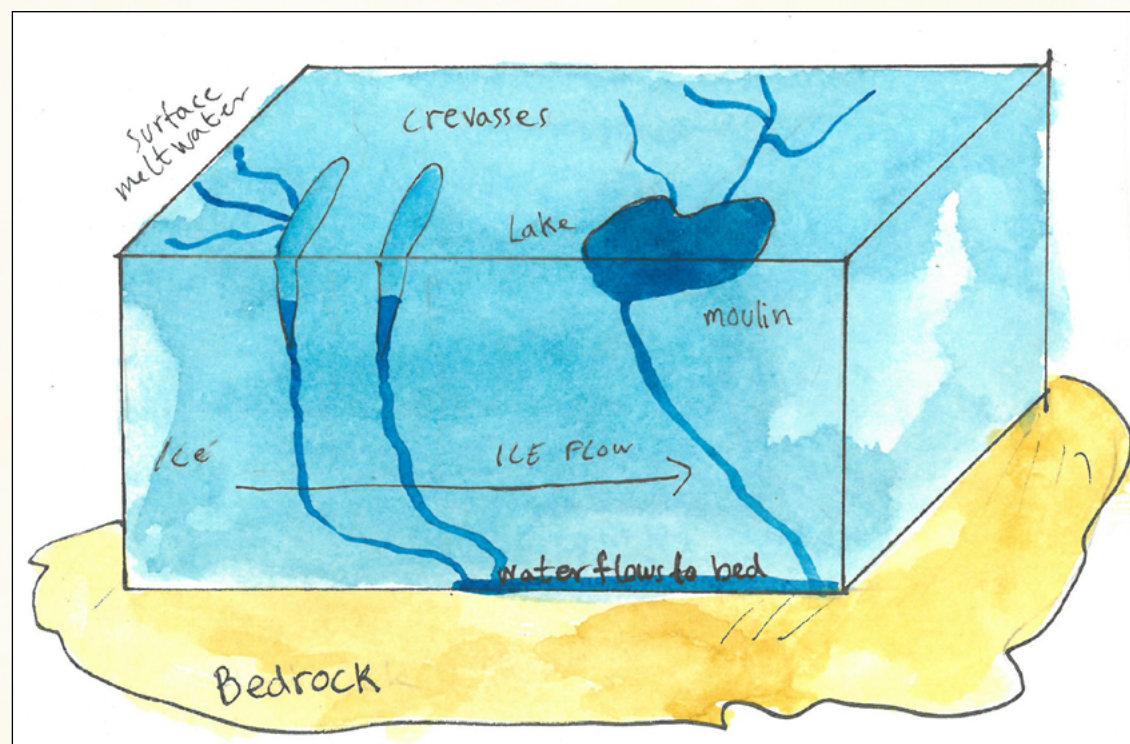
fra skovbrande, aflejres på isen. De danner, sammen med ekstremofile **"gletsjer alger"**, der blomstrer op om sommeren og farver store områder på isen sort, en "mørk zone" langs iskappens rand, hvor isens albedo nedsættes væsentligt. Det er anslået af gletsjer alger er skyld i op til **13% af afsmeltningen på indlandsisens overflade i sydvest-Grønland**.



Mange forestiller sig at indlandsisen er en stor hvid overflade, men mange steder langs randen er isen dækket af smeltevandssøer og farvet grå eller sort af sod og alger.

Samtidig dannes der i højere grad smeltevandssøer på indlandsisen, som også ændrer overfladens albedo og skaber smeltevandssøer, der løber ud og ned igennem isen. De kan danne **"smeltevandssøer" (moulins)** som borer sig ned igennem

isen og finder vej til bunden af iskappen, hvor isen er forankret. Vandet fungerer som "smøremiddel" og trykket "løfter" isen op, hvilket accelerer isens bevægelse og dermed hastigheden hvormed nye isbjerge kælver. Når vandet forbinder sig i kanaler under iskappens overflade og finder vej ud til havet, udlignes trykfor-



Smeltevandssøer og -floder ændrer indlandsisens albedo og dynamik. Du kan bruge denne skematik til at forklare hvordan en smeltevandsbrønd (moulin) dannes og ændrer isens bevægelse.

skellen og isen "falder ned" igen. Langt det meste af afsmeltningen finder sted ved kanten af iskapperne.

7 Her vender vi blikket imod Antarktis. Grafen øverst til højre inddeler Antarktis

i den Antarktiske halvø, Vestantarktis, og Østantarktis. Overordnet set er **2720 Gt is smeltet fra Antarktis i perioden 1992-2017**. Tabet er størst i Vestantarktis (-94 Gt om året) efterfulgt af den Antarktiske halvø (-20 Gt om året). Østantarktis anslås at være vokset med ca. 5 Gt om året i perioden. Afsmeltningen er tiltagende over hele perioden. Brug kortet over Antarktis nederst i højre hjørne til at vise hvilke områder, der er tale om.

Det er nogle andre processer der er i gang her end i Arktis: isen smelter hovedsageligt nedefra. Varmen kommer fra den Antarktiske circumpolare havstrøm, som drives af en stærk vestenvind der opstår pga. forskellen i lufttrykket mellem Sydpolen og ækvator (**Southern Annular Mode**). Den globale opvarmning forstærker trykforskellen og dermed også det vindsystem, der sender mere varmt vand imod Antarktis. Afsmeltningen af de

2720 Gt is fra 1992-2017 på grafen på denne slide har medført en stigning af havspejlet på 7,6 mm.

8 Illustrationen øverst i højre hjørne viser, hvad der sker, når en gletsjer smelter nedefra. Ved polerne er det koldeste vand ved overfladen og det varmeste ved bunden. Efterhånden som en gletsjer smelter, når havvandet det forankringspunkt, hvor gletsjeren hviler på bunden (**grounding line**). Hvis hældningen på bunden skråner nedad bag dette punkt, nedsættes gnidningsmodstanden hurtigt og afsmeltningen accelererer (dette forklares også i videoen på dette slide). Kortet nederst i højre hjørne viser hvor på Antarktis, isen bevæger sig hurtigst mod havet.

Isdynamikker er svære at efterligne i computermødelles, og virkeligheden overhaler hele tiden forskernes fremskrivninger. Som f.eks. med Larsen B isbræmme som **kollapsede på spektakulær vis i 2002**. Billedet nederst i venstre hjørne viser denne hændelse. Syv isbræmmer er kollapsede i Antarktis siden 1989. Forskere er særligt bekymrede for de seks gletsjere i Amundsenhavet, hvor de vurderer, at afsmeltningen er uigenkaldelig. Isen fra de seks gletsjere vil med tiden **føre til en stigning i havspejlet på 1,2 m**.

Afspil video (3:34 min).

9 Iskapperne gemmer på en masse viden om fortidens klima. Ved at bore ned igennem isen og efterfølgende datere og analysere den kemiske sammensætning i de luftbobler, der er bevaret i isen, giver **iskerneboringer** os et indblik i sammensætningen af Jordens atmosfære og Jordens temperatur mange hundredetusinder år tilbage i tiden. Vi har iskerneprøver fra både Grønland og Antarktis, der viser istidernes svingninger og afslører at **vindsystemer og havstrømme kan ændre cirkulation på kort tid** og føre til **bratte klimaforandringer**. Det bedst studerede eksempel på dette er den **Yngre Dryas**, en periode på ca. 1,200 år som startede for omkring 12,900 år siden med et brat fald i temperaturen. For omkring 11,700 år siden steg temperaturen igen pludseligt i Grønland med **så meget som 10 C° på bare 10 år**. Grafen nederst i højre hjørne illustrerer dette. Du **kan genfortælle denne historie** som et eksempel på bratte klimaforandringer. Forskning peger på at nogle af de samme mekanismer kan være på spil i dag, hvor vi ser tegn på at **Golfstrømmen er aftagende**.

Afspil video (5:48 min).

10 Når is, der befinder sig over landjorden smelter, stiger havet. Fra år **1900-2016 steg havniveauet med 16-21 cm** og udviklingen er accelereret: fra **1993-2017 steg havniveauet 7.5 cm**. Det er anslået at Grønland og Antarktis har bidraget henholdsvis 15% og 8% til denne stigning. Resten skyldes gletsjere andre steder på Jorden (21%) og den termiske udvidelse af havvandet (42%). IPCC vurderer at havvniveauet vil stige **mellem 0,26-1,1 m i 2100 på tværs af deres forskellige scenarier** – vis dette på grafen til venstre på denne slide. Havniveauet vil fortsætte med at stige efter 2100 og **ifølge professor Eric Rignot vil havene med tiden stige 6-9 m**, selv hvis vi begrænser den globale opvarmning til 1,5-2 °C. Åbn linket til det interaktive kort nederst i højre hjørne og undersøg, hvordan verden ser ud meter for meter.



Diskussionen af stigningen af vandstanden i havene bør også indeholde en samtale om hvordan eleverne oplever disse scenarier. Er det noget de har tænkt på før? Hvordan har de det i maven lige nu? Hvordan håndterer man den slags oplysninger uden sortsyn? Forbind evt. denne samtale til timen "Jordens system", hvor vi også snakkede om fremtiden.

FORSIDESLIDE: Spørgsmål? I næste del af timen ser vi nærmere på, hvordan det står til med permafrosten.

11 Introducér definitionen af områder med **permafrost** og fortæl om, hvad vi skal kigge på i de næste fire slides.

12 Brug kortet til at udpege de områder på den nordlige halvkugle, der er præget af permafrost. Knap halvdelen af landjorden der ligger indenfor denne zone, er kontinuerlig permafrost (90% af landjorden er permafrost), lidt under en femtedel er diskontinuerlig permafrost (50-90% af landjorden er dækket af permafrost) og ca. en tredjedel er sporadisk eller isoleret permafrost (0-50% af landjorden er dækket af permafrost) – se **denne rapport** for flere detaljer. Bemærk: Permafrost er mere udbredt på den nordlige halvkugle end den sydlige halvkugle, hvor permafrost primært er at finde i Antarktis, Andesbjergene og New Zealand.

13 Her kan du fortælle, at udviklingen i Arktis og Antarktis spejles i de **gletsjere, der befinder sig på lavere breddegrader**. Det er ikke kun gletsjere, der bliver mindre, permafrosten tør også dybere ned. Det er et problem, fordi permafrosten er **et stort reservoir for kulstof**: set i geologisk

sommeren, begynder mikroorganismer at fortære disse planterester. Anaerob forrådnelse danner CH_4 og aerob forrådnelse danner CO_2 (metan er 84 gange så kraftig en drivhusgas som CO_2 over de første 20 år i atmosfæren). Samtidig findes der store mængder frosset metan, kaldet **metan klatrater**, som siver ud i atmosfæren når permafrosten tør.

Det er anslået at der findes **1.330-1.580 Gt kulstof i den frosne arktiske landjord**, hvilket er næsten to gange så meget som findes i atmosfæren. Til sammenligning udledte menneskeheden i gennemsnit knapt **40 Gt kulstof om året til atmosfæren fra 2010-2019**. Studier peger på at **permafrosten i løbet af de sidste årtier er blevet en kilde til kulstof i atmosfæren** i stedet for et dræn, som det ellers har været de sidste mange tusinder år.

Afspil video (3:51 min).



Permafrosten i Siberien er i forandring. De sidste årtier er såkaldte "pingoer", forhøjninger i landskabet skabt af is, begyndt at eksplodere og skaber store kratere i tundraen – formodentligt fordi der opbygges gaslommer under isen.

tidsskala har der været en højere grad af fotosyntese end respiration i disse områder. Med årene er en enorm mængde biologisk materiale blevet begravet i jorden og frosset ned. Når jorden tør op om

14 Dette slide viser, hvordan forandringerne ser ud. Det er ikke kun dannelsen af drivhusgasser, der er et problem. Mange steder sker der jordskred, når permafrosten tør. Nogle områder oplever allerede **60 gange så mange jordskred som**

for 40 år siden. I Siberien er der også opstået et nyt fænomen i landskabet: siden 2014 er der fundet kratere som formodentlig er opstået ved, at en lomme af metan-gas har ophobet sig under en pingo og er eksploderet, når trykket er blevet for højt. Billedet øverst til venstre viser Batagaika krateret, det største krater i Sibirien som er 1 km langt og op til 100 m dybt. Mange steder oplever befolkningen og forskere at forandringerne i landskabet og økosystemerne kan ske fra år til år. Brug skematikken nederst i højre hjørne til at forklare udsivningen af drivhusgasser, hvis dine elever gerne vil vide mere om processerne.

15 Fortæl hvordan afsmeltningen af permafrosten udgør en positiv feedbacksløjfe (forbind evt. til timen "Jordens system"). Der spekuleres blandt forskere om metan i permafrosten er et tipping point i Jordens system der kan føre til en drastisk stigning i Jordens middeltemperatur de kommende årtier. Paleoklimatisk forskning peger på, at metan har spillet en afgørende rolle i fortidens klimaforandringer. Brug denne artikel til at nuancere en eventuel diskussion og perspektivering af dette. Mange klimamodeller inkluderer ikke det kulstof, der bliver udledt fra permafrosten (det gælder også IPCC AR5), som derfor ændrer hele billedet af de tiltag der skal til for at opnå en reduktion, der begrænser opvarmningen til 1,5-2° C.

16 Introducér James Balog, Extreme Ice Survey og dokumentaren "Chasing Ice" (se evt. også Balogs undervisningsmateriale "Getting the picture"). Hold en pause og se filmen bagefter. En anden god dokumentar, som viser hvordan forandringerne opleves af menneskerne i Arktis, er The Last Ice.



17 Alt efter hvor lang tid der er tilbage, slut af med en diskussion af filmen og dagens emne. Henvi til hjemmesiden og baggrundsmaterialet.

Baggrundsmateriale

Fagmaterialer online

Prezi-præsentation: <https://prezi.com/view/Nwvq9JrEARpUlsT017hv/>

Materialebank: <https://klodenkalder.tumblr.com/search/kk-cryosphere>

Isens rolle i Jordens system

David Archer og Stefan Rahmstorf (2010) "Snow and Ice" i *The Climate Crisis – An Introductory Guide to Climate Change*, Cambridge University Press

Opsummering af videnskaben

IPCC (2019) *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, IPCC. Se: <https://www.ipcc.ch/srocc/>

Permafrostens rolle i fremtidens klima

The Permafrost Carbon Network, se: <http://www.permafrostcarbon.org/>

Hyperlinks

Kryosfæren: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cryosphere>

Chasing Ice: <https://chasingice.com>

James Balog: <http://jamesbalog.com>

Extreme Ice Survey: <http://extremeicesurvey.org>

Polar forstærkning: <https://tidsskrift.dk/gn/article/view/3377>

Permafrost: <https://en.wikipedia.org/wiki/Permafrost>
Artikel om feedback-mekanismer: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-011-0215-8>
NOAAs Arctic Report Card: <https://arctic.noaa.gov/Report-Card>
Arktis opvarmes dobbelt så hurtigt: https://nsidc.org/cryosphere/arctic-meteorology/climate_change.html
Havisen i Arktis: https://en.wikipedia.org/wiki/Arctic_sea_ice_decline
Udviklingen af havisen i Arktis: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>
Størrelsen af havisen i Arktis: <http://nsidc.org/arcticseaicenews/>
Gammel vs. ny is: <https://nsidc.org/cryosphere/icelights/2013/09/sea-ice-age-matters>
Den arktiske dødsspiral: <https://www.arcticdeathspiral.org/>
Positiv feedback: https://en.wikipedia.org/wiki/Positive_feedback
Albedo-effekt: <https://klimaleksikon.dk/opslag/albedo>
Albedo-effekten i Arktis: <https://www.pnas.org/content/111/9/3322>
Nordatlantiske Oscillation: <https://ng.systime.dk/?id=171>
Den arktiske jetstrøm: <https://scied.ucar.edu/learning-zone/climate-change-impacts/why-polar-vortex-keeps-breaking-out-arctic>
Indlandsisen: https://en.wikipedia.org/wiki/Greenland_ice_sheet
IMBIEs artikler: <http://imbie.org/news/publications>
Indlandsisen opvarmes nedefra: <https://www.igsoc.org/annals/53/60/a60A136.pdf>
Vandstanden er steget 10,8 mm: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31822019/>
Indlandsisen havstigning: https://en.wikipedia.org/wiki/Greenland_ice_sheet
Gletsjer alger: https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_algae
Gletsjer alger øger afsmeltningen: [\[andbloom.org/our-findings/\]\(http://andbloom.org/our-findings/\)
Smeltevandsbrønd: <http://www.danbbs.dk/~stst/glaciologi/smeltevand.htm>
Moulin: \[https://en.wikipedia.org/wiki/Moulin_\\(geomorphology\\)\]\(https://en.wikipedia.org/wiki/Moulin_\(geomorphology\)\)
2720 Gt smeltet fra Antarktis: <http://eprints.whiterose.ac.uk/132373/>
Southern Annular Mode: <http://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/southern-annular-mode/>
Grounding line: <http://www.antarcticglaciers.org/glacier-processes/grounding-lines/>
Larsen B kollaps: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/LarsenB>
Havstigning på 1,2 m: <https://www.jpl.nasa.gov/news/west-antarctic-glacier-loss-appears-unstoppable/>
Iskerneboringer: <http://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/ice-cores/ice-core-basics>
Ændring i vind- og havstrømme: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18566247/>
Bratte klimaforandringer: <https://www.nap.edu/read/10136/chapter/2>
Yngre Dryas: \[https://da.wikipedia.org/wiki/Yngre_Dryas\]\(https://da.wikipedia.org/wiki/Yngre_Dryas\)
10 °C på 10 år: <http://ocp.ldeo.columbia.edu/res/div/ocp/arch/main.shtml>
Eksempel på bratte klimaforandringer: <http://ocp.ldeo.columbia.edu/res/div/ocp/arch/examples.shtml>
Golfstrømmen er aftagene: <https://www.nytimes.com/interactive/2021/03/02/climate/atlantic-ocean-climate-change.html>
Havniveauet 1900-2016: <https://science2017.globalchange.gov/chapter/12/>
Havniveauet 1993-2017: <https://essd.copernicus.org/articles/10/1551/2018/>
IPCCs vurdering af havniveauet: <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policymakers>
Eric Rignot om fremtidens havniveau: <https://youtu.be/WVEM1cgMc1s>
Permafrost: <https://en.wikipedia.org/wiki/Permafrost>](https://black</p>
</div>
<div data-bbox=)

mafrost
Rapport om permafrosten: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1386A>
Gletsjer retræte: https://en.wikipedia.org/wiki/Retreat_of_glaciers_since_1850
Permafrosten som reservoir for drivhusgasser: https://en.wikipedia.org/wiki/Permafrost_carbon_cycle
Metan klatrater: https://en.wikipedia.org/wiki/Methane_clathrate
Samlet mængde kulstof i permafrosten: <https://www.searcharcticsscience.org/arctic-answers/permafrost/briefs>
Permafrosten en kilde for kulstof: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145880/permafrost-becoming-a-carbon-source-instead-of-a-sink>
40 Gt kulstof om året: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/global-carbon-budget>
Jordskred i Arktis: <https://www.carbonbrief.org/guest-post-arctic-warming-causing-60-fold-increase-permafrost-landslides>
Kraterer i permafrosten: <https://www.bbc.com/future/article/20201130-climate-change-the-mystery-of-siberias-explosive-craters>
Pingo eksplosion forklaret: <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/09/colossal-crater-found-Siberia-what-made-it/>
Batagaika krateret: https://en.wikipedia.org/wiki/Batagaika_crater
Bratte forandringer i permafrosten: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01313-4>
Permafrosten som tipping point: <https://climatedippingpoints.info/2019/05/13/fact-check-is-an-arctic-methane-bomb-about-to-go-off/>
Metans rolle i fortidens klimaforandringer: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871174X16300488>
Artikel om tipping point i Arktis: <https://skepticalscience.com/Schuur2015.html>
Getting the picture: <http://gettingthepicture.info>
The Last Ice: <https://films.nationalgeographic.com/the-last-ice>

Velkommen til en virtuel rejse gennem Jordens system, som stiller skarpt på, hvordan det står til med naturen set i det store perspektiv – og menneskets rolle i de forandringer der er undervejs på vores klode. Denne publikation er tænkt som en vejledning og rejseplan for undervisere, studerende, autodidakte og andre videbegærlige, der ønsker at forstå Jordens økosystem og de planetære forandringer vi står midt i. Den virtuelle rejse er udviklet som en del af faget Kloden Kalder som jeg underviser på Ry Højskole. Rejsen introducerer nogle af økologien og klimavidenskabens grundkoncepter for at forstå, hvordan det går med planeten målt på parametre som biodiversitet, temperatur, isdække, kulturel diversitet og naturens lydlandskaber.

Forløbet er tilrettelagt som et crash course, der i løbet af ni lektioner på cirka tre timer hver, giver en forståelse af de dynamikker der ligger bag de globale forandringer der er i gang i naturen, samt et indblik i hvad videnskaben fortæller om hvordan Jordkloden vil ændre sig de kommende årtier. Hver lektion introducerer et emne som ved hjælp af en Prezi-præsentation bliver en audiovisuel rejse gennem Jordens forskellige sfærer. Præsentationerne kan tilgås via hjemmesiden klodenkalder.com og indeværende vejledning uddyber det materiale der fremvises. Vejledningen skal derfor læses i sammenhæng med Prezi-præsentationerne, som er det primære undervisningsmateriale. Stort set alt det materiale der indgår i den virtuelle rejse er open source og frit tilgængeligt. Jeg håber du vil benytte dig af enhver mulighed for at sakse, remixe, dele eller anbefale materialet.

Kloden Kalder er et fag der har sit udspring i en frustration over den offentlige debat om klimaforandringerne. Alt for længe har klimaet været omtalt, diskuteret og forklaret i tekniske og videnskabelige termer der har et meget højt abstraktionsniveau. Det er et dårligt udgangspunkt for en bred folkelig forståelse og opbakning til den omstilling i vores individuelle og fælles liv, der er nødvendig for at undgå at ende der, hvor vi er på vej hen. Materialet der indgår i den virtuelle rejse er derfor udviklet med henblik på at gøre klimaforandringerne forståelige for sanserne og kroppen. Målet har været at styre udenom abstraktionerne og prøve at italesætte miljøet i dets eget sprog: hvordan lyder det når biodiversiteten ændres, eller hvordan ser det ud når en hedebløge skyller gennem havet, og kan vi leve os ind i den verden der forsvinder, når et sprog forstummer?

Jeg håber, at dette materiale kan være med til at levendegøre de forandringer, vi står overfor og kvalificere samtalen om klimaet, fremtiden, naturen og vores plads på Jorden som en enkelt node i livets store fællesskab. Kloden kalder – vi må lære at lytte, for at forstå hvor vi er på vej hen.

Jeppe Graugaard



Introduktion til den virtuelle rejse

Kloden Kalder er et fag der handler om hvad der sker med naturen på kloden lige nu og hvor vi finder alternativerne til forbrugssamfundet. Faget består af flere moduler, hvoraf den virtuelle rejse er den del der danner grundlaget for en forståelse af naturens tilstand, global økologi og klimavidenskab. Den virtuelle rejse består af ni Prezi-præsentationer som hver introducerer forskellige dele af, og perspektiver på, Jordens system. Denne undervisningsvejledning understøtter disse præsentationer med mere baggrundsinformation, vejledning i de forskellige øvelser og tips til de samtaler der kan opstå undervejs i forløbet.

Materialet er skabt for at kunne give mine elever og andre interesserede en indføring i de grundproblematikker den globale opvarmning præsenterer. Det er min oplevelse, både som forsker og underviser, at de forandringer i naturen vi står midt i som oftest bliver formidlet i tekniske og abstrakte termer. Derfor er målet med den virtuelle rejse at præsentere klima- og miljøforandringerne på en måde som kan forstås af sanserne og med kroppen. Her kan oversigtsgrafer også have sin ret, men som udgangspunkt har hensigten været at

skabe et undervisningsmateriale der ikke kræver nogen forhåndsviden, og som de fleste lægfolk selv kan sætte sig ind i.

Efter en grundig undersøgelse af eksisterende undervisningsmaterialer, fandt jeg ikke noget der uden videre kunne overføres til min undervisning på en høj-

Det primære undervisningsmateriale på den virtuelle rejse er en række Prezi-præsentationer som kan tilgås på hjemmesiden:

klodenkalder.com

Denne undervisningsvejledning giver en indføring i brugen af disse præsentationer og skal læses i sammenhæng med dette materiale.

skole. Faktisk var der, da faget startede i 2016, meget lidt brugbart materiale. Derfor har jeg prøvet at udarbejde den virtuelle rejse så den kan bruges af andre undervisere. Forløbet er et mix af audio-visuelt materiale, historiefortælling, øvelser og samtaler. Det kan bruges i sin helhed, men man kan også udvælge dele af de forskellige lektioner eller bare hente inspiration i det bagkatalog som er at finde i

vejledningens henvisninger og fagets materialebank på klodenkalder.tumblr.com. Materialebanken rummer 1000+ artikler, dokumentarer og andet undervisningsmateriale organiseret efter emne.

Hver lektion er tilrettelagt så den tager cirka tre timer at gennemføre med et kvarters pause undervejs. Prezi-præsentationerne, som kan tilgås via hjemmesiden klodenkalder.com, fremviser det audiovisuelle materiale som danner omdrejningspunktet for lektionens fortællinger, øvelser og samtaler. Nærværende vejledning forklarer indgangsvinklen for lektionerne, uddyber hver slide og giver forslag til hvordan de kan præsenteres. Alle slides er nummereret med et symbol  som også er at finde i vejledningen så man på den måde kan navigere igennem materialet. De referencer i vejledningen der findes online er **farvemarkeret** og vil i den elektroniske version åbne det relevante link i en browser, hvis man klikker på det. Samtlige hyperlinks er angivet i slutningen af beskrivelsen af hver lektion.

Jeg har en fortælling, der fungerer som min røde tråd for hver lektion, og efterhånden som jeg kender de forskellige fakta

bliver de lettere at huske. Men det kræver stadig forberedelse at præsentere materialet – desværre udvikler klimaforandringerne og -videnskaben sig med en hast der gør at materialet skal opdateres hvert semester. Hvis du ønsker at bruge en eller flere af præsentationerne i deres helhed, er mit bedste tip derfor at sætte dig ordentligt ind i stoffet inden du tager andre med på rejsen. Men derudover kræver det ikke en særlig viden at formidle materialet. Det er derimod en fordel at være øvet i at holde en fælles samtale og rumme de tanker og følelser der er forbundet med et så stort og altomfavnende emne som klimaforandringerne.

Som enhver der har givet en Power-Point-præsentation ved, kan det være en fin balance at have et slideshow at læne sig op af – det er let at lade sig styre af sine slides. Derfor vil jeg anbefale at du tænker på Prezi-præsentationen som det sekundære og din egen fortælling som det primære. Præsentationerne skal understøtte din undervisning og ikke omvendt. Hvis der opstår en spændende diskussion, eller det er vigtigere, at I sætter jer udenfor og snakker, så gør det. Følg de spørgsmål og samtaler der opstår undervejs. De forskellige præsentationer er af forskellige længder da nogle af dem indeholder flere øvelser og diskussionspunkter end andre. Nogle af præsentationerne slutter af med

visningen af en dokumentarfilm som evt. kan byttes ud med samtaler eller øvelser.

Det er en fordel at have en udmærket projektor og et sæt gode højtalere. Jo større og skarpere billede og lyd desto bedre! Jeg bruger en klikker/laser-pegepind til at skifte slides. På den måde er jeg fri for at skulle sidde ved computeren og kan pege på billederne uden at stå foran projektoren. Jeg har ofte nogle af de bøger med som jeg refererer til i lektionerne og læser op af dem. Det er en fordel at finde måder at skabe afveksling og bryde fokuset på skærmen. Hold pause når du synes at kunne mærke det bliver svært at holde opmærksomheden.

Den virtuelle rejse og den medfølgende undervisningsvejledning skal ikke ses som en færdig pakke, men som et inspirationsmateriale man kan opbygge sit eget læringsforløb omkring eller bruge i uddrag. Forløbet kan skrues sammen som man vil, og lektionerne behøves ikke præsenteres i den rækkefølge der beskrives her. Illustrationerne i denne vejledning er udarbejdet med henblik på at man kan få en fornemmelse af, hvordan materialet og de forskellige øvelser *kan* bruges og udfoldes, men der findes ikke nogen anden måde at gå til det på end improvisationen og opmærksomheden på eleverne. Hvis du bruger materialet og gør dig erfaringer

med det, eller har forslag til at udvide materialet, vil jeg meget gerne høre om det.

Selvom der ikke er nogen forudsætninger for at bruge dette materiale kan man med fordel læse følgende værker, som har inspireret mig i mine egne studier og undervisning:

Lee Kump, James Kasting & Robert Crane (1999) *The Earth System*, Prentice Hall

Mike Hulme (2009) *Why We Disagree About Climate Change*, Cambridge University Press

David Archer & Stefan Rahmstorf (2010) *The Climate Crisis*, Cambridge University Press

Fritjof Capra & Pier Luigi Luisi (2016) *Liv. System. Helhed.*, Forlaget Mindspace

Endelig vil jeg påpege at ingen fortælling er singulær og at man altid skal spørge ind til den position der fortælles fra. Klimavidenskaben er ikke en neutral sfære at hente sine historier fra og man bør finde sin egen vej igennem andres fortællinger.

Det er mit håb at dette materiale kan understøtte og kvalificere undervisning i de globale forandringer vi som art står midt i – både på højskoler og i andre uddannelsesinstitutioner. Vi står med et fælles ansvar for at de næste generationer lærer at se sig selv som en integreret del af livets store fællesskab.