

WILLI DANSGAARD OG ISKERNERNE

TIL UNDERVISEREN

Dette undervisningsmateriale tager udgangspunkt i programserien "Store Danske Videnskabsfolk" og specifikt udsendelsen om Willi Dansgaard.

Før Willi Dansgaard havde opstillet sin teori om forskellen på ^{18}O og ^{16}O i skyer, var der faktisk ingen, som havde gjort sig overvejelser i den retning. Det var ganske nyt, at man kunne måle og veje så små enheder som atomer. Det, som drev det videnskabelige gennembrud for Dansgaard, ser mere ud til at være en konsekvens af en teknologisk mulighed og kreativ tankegang, end teoretiske overvejelser om naturen. Ikke desto mindre fik Willi Dansgaards opdagelse efterfølgende fundamental betydning for udviklingen af vores viden om globale klimaforandringer. I takt med, at Willi Dansgaard og hans team borede kerner ud af indlandsisen, steg vores viden om klimaet under sidste istid og mellemistid.

Det er meningen, at udsendelsen kan anvendes som indgangsvinkel til arbejdet med klimaændringer, både de menneskeskabte og de naturlige. Temaet kan angribes på flere måder: 1) Man kan arbejde med Willi Dansgaards personlige historie som videnskabsmand og hvordan han arbejdede og udviklede sit felt; 2) man kan arbejde med iskernerne som et klimaarkiv, hvor viden om fortidens klima kan anvendes til at forstå fremtidens klima; 3) man kan arbejde med at forstå det spektrum af enkeltfænomener, som tilsammen gennem iskernerne fortæller historien om fortidens klima.

Efter at have set hele eller dele af udsendelsen arbejdes der videre med undervisningsmaterialet, der tilsammen sætter eleverne i stand til at:

- identificere, genkende og klassificere rumlige mønstre i geofaglige sammenhænge
- opsøge, forholde sig til og anvende et spektrum af geofaglige repræsentationsformer såsom data, kort, diagrammer, profiler og figurer
- udskille og redegøre for væsentlige naturfaglige enkeltfænomener og delprocesser i naturen og menneskets omgivelser og sætte dem ind i overskuelige sammenhænge
- ud fra konkrete data og observationer give en samlet beskrivelse af udviklingsforløb i naturen og menneskets omgivelser
- forstå og kritisk anvende komplekse geofaglige modeller som repræsentationer af virkeligheden.

Dette passer ind i læreplanen for både Naturgeografi C og Naturgeografi B, samt i naturvidenskabeligt grundforløb:

- **Kernestoffet på naturgeografi B er:** Klima og klimaændringer, de natur- og samfundsmæssige faktorer, der påvirker det, samt dets betydning for menneskets livsvilkår
 - *klimaændringer på forskellige tidsskalaer*
 - *relevante aktuelle teorier og tolkninger af emnet*
 - *vandets kredsløb*
- **Kernestoffet på Naturgeografi C er:** Klimaet og dets betydning for menneskets livsvilkår
 - *klimaændringer på forskellige tidsskalaer*
 - *vandets kredsløb*
- *Analyse og tolkning af rumlige mønstre på baggrund af kort og billedmateriale*

Tidsforbruget svarer til et til to undervisningsmoduler.

Find udsendelsen om Willi Dansgaard på www.dr.dk/videnskabfolk

INDLEDNING

Willi Dansgaard var uddannet geofysiker og han formåede at kombinere sin nysgerrighed og viden fra forskellige forskningsområder til at forklare nye sammenhænge i naturen. Han opdagede, at der er en tydelig relation mellem indholdet af ilt-isotoperne ^{18}O og ^{16}O i skyer, og at indholdet af isotoperne afspejler temperaturen på det tidspunkt, nedbøren dannes. Denne sammenhæng var ikke set før og blev startskuddet til et helt nyt forskningsfelt, som stadigvæk i dag er i udvikling. Han opdagede, at der lå et arkiv for fortidens klima gemt i indlandsisen.

Formålet er, at eleverne får et indblik i den brede viden, der forudsatte Dansgaards banebrydende opdagelse. Det kræver viden om:

- det hydrologiske kredsløb
- atmosfærens evne til at optage vanddamp - damptrykskurven
- ilt-isotopforholdet i forskellige led af vandets kredsløb
 - fordampning
 - fortætning
 - i iskerne
- iskerner som klimaarkiv
- indlandsisens dynamik

WILLI DANSGAARDS VIDENSKABELIGE RÆSONNEMENT

Videnskabsmanden Dansgaard var tydeligvis et nysgerrigt og aktivt menneske, som gerne ville bruge sit fag. Hans tilgang til arbejdsopgaverne var entreprenant, og Dansgaard afsøgte nye muligheder i de sammenhænge, han var placeret i. Hans ideer blev ikke altid godt modtaget af hans overordnede, men han lod sig ikke stoppe. Han fik til opgave at passe et massespektrometer, hvor han kunne måle vægtforskelle på atomer, men ingen var interesseret i at bruge denne nye mulighed. Det gav Dansgaard tid til at udtænke ideer til, hvad man kunne bruge massespektrometre til.

Fra sin tid på Meteorologisk Institut havde Dansgaard stor viden om vejret og skyer. Han vidste, at når et frontsystem passerer, vil der i forbindelse med en varmefront udvikles Du kan enten læse om frontregn i heldagsregn. Den første regn vil komme fra højtliggende din geografibog eller se denne skyer, og mod slutningen af regnvejret og frontpassagen vil video fra DMI om polarfronten og regnen komme fra lavtliggende skyer.

Han overvejede, om det mon var muligt at måle, om der var forskel på nedbør fra toppen af skyen og fra bunden af skyen med massespektrometeret.

Men inden vi ser nærmere på Dansgaards hypotese, vil vi undersøge den viden, som er nødvendig for at forstå Dansgaards ræsonnement.

Vandets kredsløb

H₂O har tre tilstandsformer: is (fast form), vand (flydende form) og damp (gasform).

Når H₂O skifter form ved smeltning fra fast til flydende eller ved fordampning fra flydende til dampform, skal der tilføres energi. Denne energi kommer fra solen. Jo mere energi der tilføres, jo mere H₂O vil smelte eller fordampe. Fordampningen er meget større i det Caribiske Hav end i Vesterhavet.

Når processen går den anden vej, frigives der energi til omgivelserne. Når vanddamp fortættes til skyer, afgives varme (energi) til luften rundt om vanddråberne, og når vand fryser til is, afgives der varme (energi) til omgivelserne.

H₂O molekyler bevæger sig rundt i naturen i kortere eller længere kredsløb.

Opgave 1

Beskriv vandets kredsløb:

- hvad kendetegner det korte kredsløb?
- hvad kendetegner det lange kredsløb?
- hvad kendetegner det længste kredsløb?

Damptrykskurven/dugpunktcurve

Mængden af vanddamp i atmosfæren varierer fra sted til sted. Dette skyldes en sammenhæng mellem temperaturen og luftens evne til at indeholde vanddamp samt luftmassens adgang til frie vandmasser som en sø eller et hav, hvor vand kan fordampe fra.

Det gælder, at varm luft kan indeholde mere vanddamp end kold luft, fordi molekylerne i den varme luft har så meget fart på, at de hindrer vandmolekylerne i at 'klistre' sammen.

Opgave 2

1. En luftmasse med en temperatur på 25 °C med en *absolut fugtighed* på 10 g/m³ er afbilledet i figur 2. Den har en *relativ luftfugtighed* på 44 %.

Hvor mange gram vanddamp (g/m³) kan en *mættet* luftmasse indeholde ved 25 °C?

_____ g/m³

Til hvilken temperatur skal luftmassen (med *relativ luftfugtighed* på 44 %) afkøles for at ramme dugpunktet? _____ °C

2. Temperaturen falder yderligere til 0 °C.

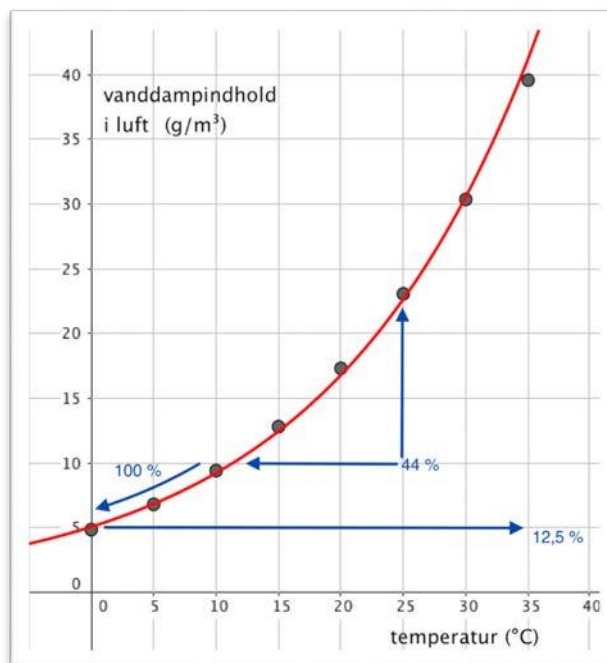
Hvad er luftmassens *absolutte fugtighed*? _____ g/m³

Hvad sker der med den overskydende vanddamp? _____

3. Hvis denne luftmasse opvarmes til 35 °C, falder den relative luftfugtighed fra 100 % til 12,5 %.

Hvor mange gram vanddamp (g/m³) kan en *mættet* luftmasse indeholde ved 35 °C?
_____ g/m³

Hvor og hvordan kan luftmassen optage vanddamp? _____



Figur 3: Luftens maksimale vanddampsindhold.

Sammenhængen mellem temperaturen og luftens maksimale vanddampsindhold. En luftmængde, som har vanddampsindhold og temperatur, som ligger lige på kurven, siges at være mættet med vanddamp (dugpunktet). Her er den relative luftfugtighed 100 %. Luft som ikke er mættet med vanddamp, ligger under kurven.

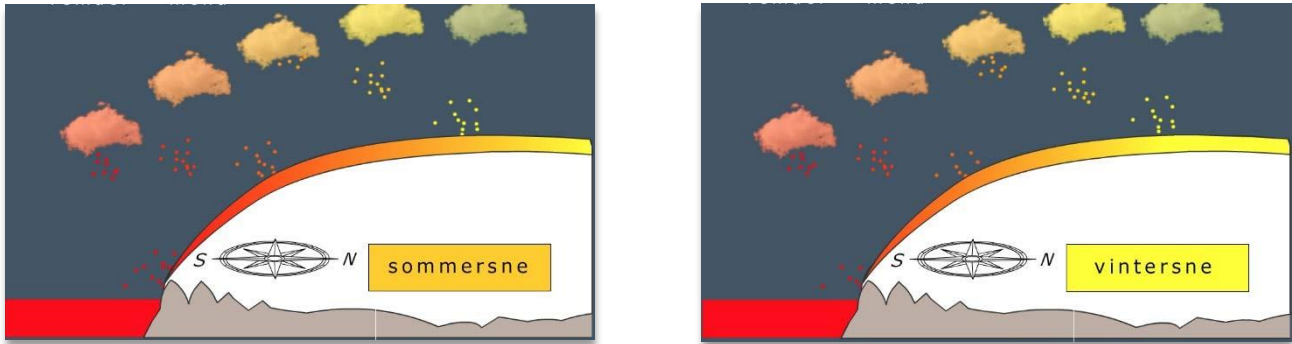
ILT-ISOTOPER

Vand - H₂O består af to brintmolekyler og et iltmolekyle. Ilt findes i naturen i tre stabile isotoper, ilt-16 (¹⁶O), ilt-17 (¹⁷O) og ilt-18 (¹⁸O). At de er stabile betyder, at de ikke henfalder til en anden isotop, og at mængden af isotoper ikke ændrer sig over tid. Tallet indikerer atomets atomvægt, så ¹⁸O vejer mere end ¹⁶O (afhængigt af antallet af protoner og neutroner). Der er flest ¹⁶O isotoper.

| | H ₂ ¹⁶ O | H ₂ ¹⁷ O | H ₂ ¹⁸ O |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Antal molekyler | 998 | 0,37 | 2 |
| Procent | 99,759 % | 0,037 % | 0,2 % |

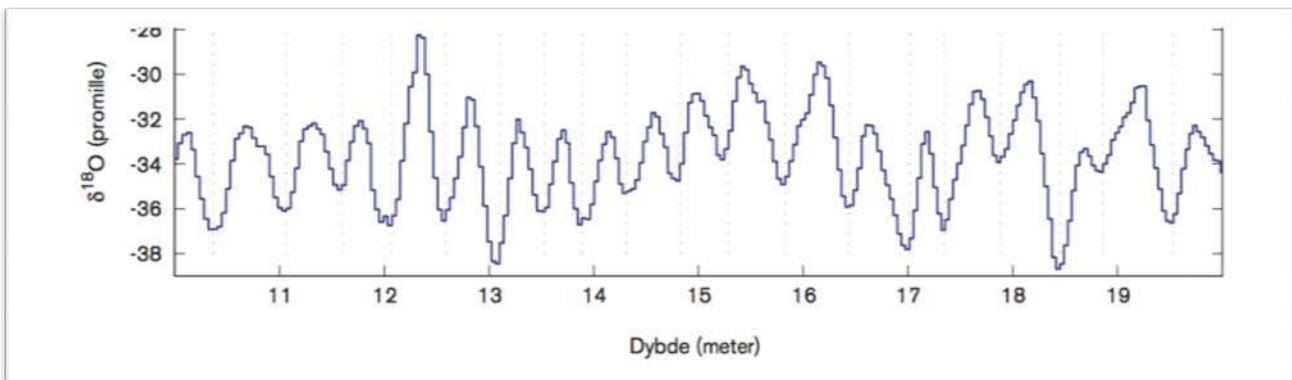
Når man måler forholdet mellem forekomsten af ¹⁸O og ¹⁶O i prøver, får man meget små værdier. Der er kun omkring 2‰ H₂¹⁸O i naturligt vand, og i arktisk nedbør er mængden af H₂¹⁸O aftaget med yderligere 40‰ af de 2‰. Forskellene i H₂¹⁸O-indholdet i nedbøren er derfor meget små, og en særlig enhed, $\delta\delta^{18}O$, benyttes til at beskrive mængden af H₂¹⁸O i vandprøver. $\delta\delta^{18}O$ angives i promille. Denne forskel mellem naturligt vand og arktisk nedbør skyldes, at når vand fordamper, skal der bruges mindre energi til at fordampe H₂¹⁶O end H₂¹⁸O. De tunge vandmolekyler fordampes langsommere fra en vandoverflade end de lette på grund af deres større vægt. Men samtidig fordampes der relativt flere H₂¹⁸O fra en varm havoverflade om sommeren, end en tilsvarende kold havoverflade om vinteren. Varm luft indeholder mere vanddamp og flere H₂¹⁸O. Når temperaturen falder og vanddampen kondenserer, vil de tunge vandmolekyler lettere kondensere end H₂¹⁶O.

Det betyder, at den første nedbør som falder, vil indeholde en større mængde H₂¹⁸O end den, som falder senere. Det betyder på Indlandsisen, at jo længere væk fra kysten og jo længere mod nord, jo mindre H₂¹⁸O kan man registrere. Fordi H₂¹⁸O allerede er regnet ud af skyen! Samtidig vil sommersne indeholde mere H₂¹⁸O end vintersne, fordi fordampningen over havet er større om sommeren.



Figur 4: For at illustrere hvordan der bliver færre ^{18}O , er havet og den nyfaldne sne farvet røde. Jo mere rød, jo mere ^{18}O . De skyer, som danner nedbør over Grønland om vinteren er dannet under koldere forhold end tilsvarende skyer om sommeren. Derfor er der mindre ^{18}O i vintersne end i sommarsne. Fra https://www.isogklima.nbi.ku.dk/forskning/rekonstruktion/fortidens_temperaturer/fraktionering/

Det er det muligt at identificere de enkelte årlag i iskernerne, samt at bedømme, hvad temperaturen var, da nedbøren blev dannet. Dette kan netop lade sig gøre, fordi Dansgaard, opdagede at mængden af H_2^{18}O i nedbør afhang af kondensationstemperaturen.



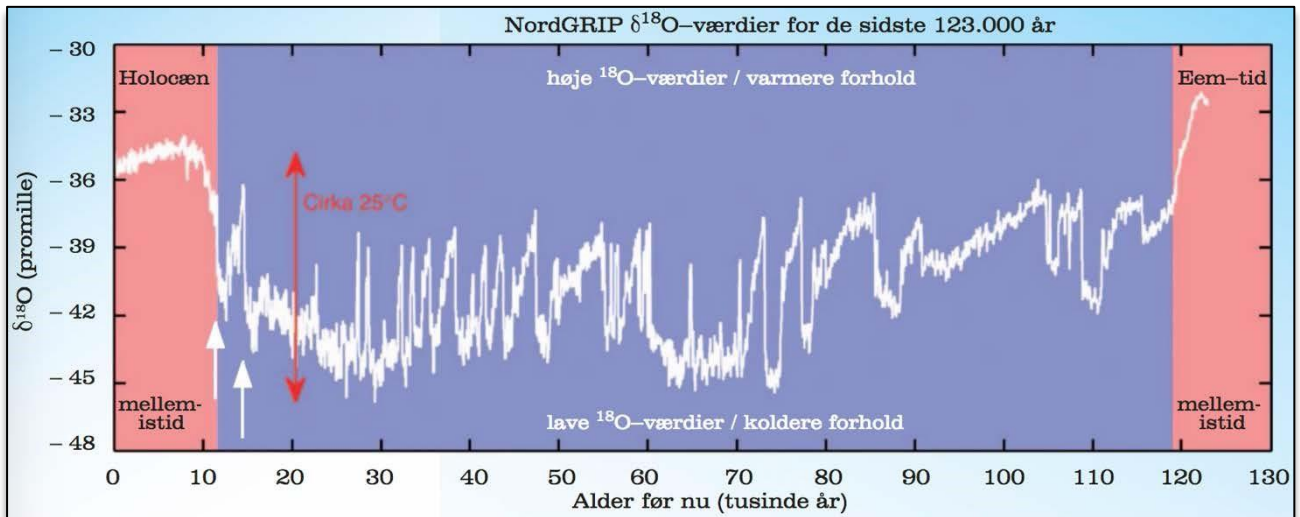
Figur 5: Variation i $\delta^{18}\text{O}$ fra 10 meter iskerne. Variationen afspejler isens isotopsammensætning, så der er en større andel af tunge isotoper, når det er varmt, end når det er koldt. Toppene repræsenterer sommer, og dalene repræsenterer vinternedbør.

Opgave 3

Hvor mange årlag viser udsnittet af iskernen på figur 5? _____

NordGRIP

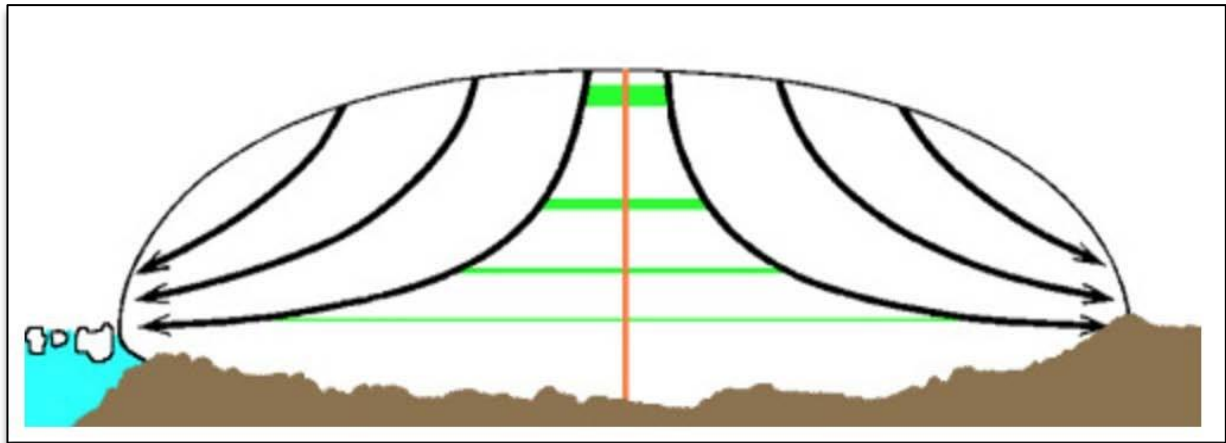
I 2003 nåede man bunden af indlandsisen ved NordGRIP-boringen. Her kunne man ved brug af $\delta^{18}\text{O}$ dokumentere variationer i temperaturen gennem hele sidste istid og noget af Eem, den forrige mellemistid.



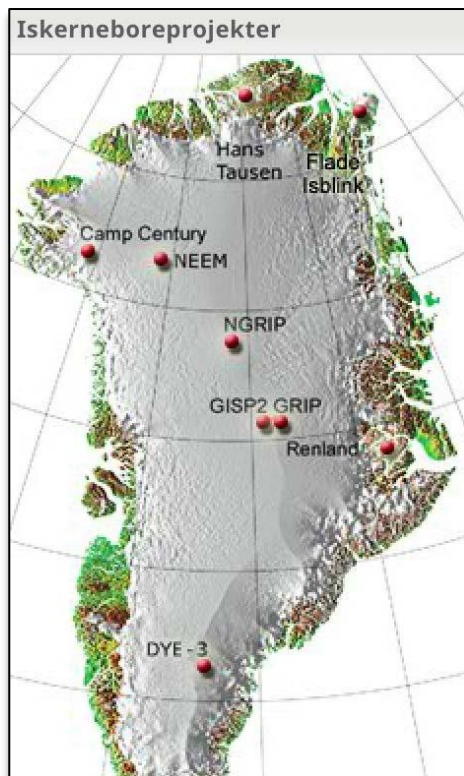
Figur 6: Iskernen fra NordGRIP fra 2003 viser $\delta^{18}\text{O}$ variationen helt tilbage til forrige mellemistid, Eem. I nutidens klima svarer 1 ‰ ændring i $\delta^{18}\text{O}$ til en temperaturændring på ca. 1,6 °C, mens meget tyder på, at 1 ‰ ændring under istiden svarede til en temperaturændring på omkring 3 °C. (figur fra Naturvidenskab for alle, 2008).

Opgave 4

- Hvad kan NordGRIP boringen fortælle os om klimaet under forrige mellemistid, Eem i forhold til den nuværende mellemistid?
- Det ser ud til, at mellemistiderne har mere stabilt klima end under istiderne. Prøv at beskrive udsvingene på $\delta^{18}\text{O}$ i kuldeperioden.
- Hvor meget stiger temperaturen ved de største udsving?
- Giv en forklaring på NordGRIP-boringens placering. Anvend figur 8 med tværsnittet af indlandsisen i din forklaring.



Figur 7: Pilene viser de baner isen flyder langs, alt efter hvor på iskappen den er aflejret. Isdeleren (orange) er det bedste sted at bore dybe iskerner. Figur fra http://www.isogklima.nbi.ku.dk/forskning/isen_flyder/isflydemodeller/



Figur 8: Placering af iskerneboreprojekter på Grønland. Figur fra <http://www.isogklima.nbi.ku.dk/forskning/>

DANSGAARDS RÆSONNEMENT

1. Dansgaard udledte deduktivt, at en regnsky indeholder flere ^{18}O isotoper i den varme bund end i den kolde top af skyen.
 - a. Præmis 1: Skyer dannes af opstigende luftmasser, der kondenserer ved dugpunktet og er varmere i bunden end i toppen, fordi temperaturen falder op gennem atmosfæren.
 - b. Præmis 2: H_2^{18}O molekyler kondenserer lettere end H_2^{16}O , og derfor vil den første nedbør indeholde mere H_2^{18}O end senere dannet nedbør.
 - c. Konklusion: Derfor må der være mere H_2^{18}O i bunden af skyen end i toppen.

2. Da Dansgaard efterviste hypotesen, brugte han den hypotetisk-deduktive metode. Metoden går ud på, at man udleder konsekvenserne af hypotesen og sammenligner dem med observationer. Hvis observationerne ikke passer, forkastes hypotesen. Hvis observationerne passer med de forventede konsekvenser, er hypotesen bekræftet og beholdes foreløbig.

- a. Konsekvensen af hypotesen ville være, at der skal observeres flere H_2^{18}O i bunden af en sky end i toppen.

Det krævede feltarbejde, hvor der blev indsamlet vandprøver fra skyer samt laboratoriearbejde ved massespektrometret, hvor antallet af H_2^{18}O blev bestemt.

- Dansgaard bekræftede eksperimentel konklusionen.

Efterfølgende fik Dansgaard mulighed for undersøge vandprøver fra det meste af verden. Her kunne han eftervise, at der var en direkte sammenhæng mellem den lokale temperatur (kondensationstemperaturen) og indholdet af H_2^{18}O i nedbøren.

Opgave 5: Iskerner sladrer om fortidens klima

Uddyb følgende forklaringer:

1. *Skyens lange vej*-forklaringen
2. *Fanget i indlandsis*-forklaringen
3. Temperaturafhængig fordamning og fortætning af 'let' og 'tungt' vand

FORSLAG TIL LITTERATUR, ARTIKLER OG INTERNETSIDER

Forskningsinstituttet Is og Klima har meget godt materiale og gode forklaringer.

<http://www.isogklima.nbi.ku.dk/forskning/>

Øvelserne på isarkiv.dk kan med fordel laves. Forventet tidsforbrug er ca. et modul.

Artikel: Klimaændringer de sidste 100.000 år fra Naturens Verden, 2003/7/8.

http://isarkiv.nbi.dk/inforum_pdf/Klimaaendringer_de_sidste_100000_aar.pdf

Beregninger af $\delta^{18}O$:

http://www.isogklima.nbi.ku.dk/forskning/rekonstruktion/fortidens_temperaturer/isotoper_delta_notation/

Samsøe, S.: *Naturvidenskabelige metoder – en opslagsbog*. L&R Uddannelse, 2012.

Lykke-Andersen, A. et al.: *Naturgeografi, Jorden og mennesker*, GO, 2008.

Nørrekjær, T.W. et al: *Naturgeografi C*, L&R, 2015.