

Tema

Vandkredsløbet





Vandkredsløbet

Af Celine Hannemann Madsen¹, Signe H Larsen²,
Marie Frost Arndal¹, Katrine Raundrup³,
Svend Erik Nielsen⁴ og Torben Røjle Christensen¹

¹ Aarhus Universitet, Department of Ecoscience.

² Grønlands Naturinstitut, Nuuk.

³ Frederiksborg Gymnasium og HF.

© Forfatterne. Aarhus Universitet.

Layout: Trine Sejthen

Omslagsfoto: 752 sammensatte drone-fotos
af Zackenberg elven (Daniel A. Rudd).

Illustrationer: Kirsten Hjørne.

Alle rettigheder forbeholdes.

www.gem.dk.

Bogen er udviklet med støtte fra:
Novo Nordisk Fonden, NNF20OC0062439.



Læs mere om Vandkredsløbet her



Tema

Vandkredsløbet

Indhold

1 Vandets kredsløb	4
Faseændringer	6
Afstrømning og nedsivning	8
Vandets opholdstider	9
Det arktiske vandkredsløb	10
Isens rolle i det arktiske vandkredsløb	10
Isens påvirkning på økosystemet i fjorde	11
Drikkevand	12
Klimapåvirkning af vandets kredsløb og konsekvenser	13

Vandets kredsløb

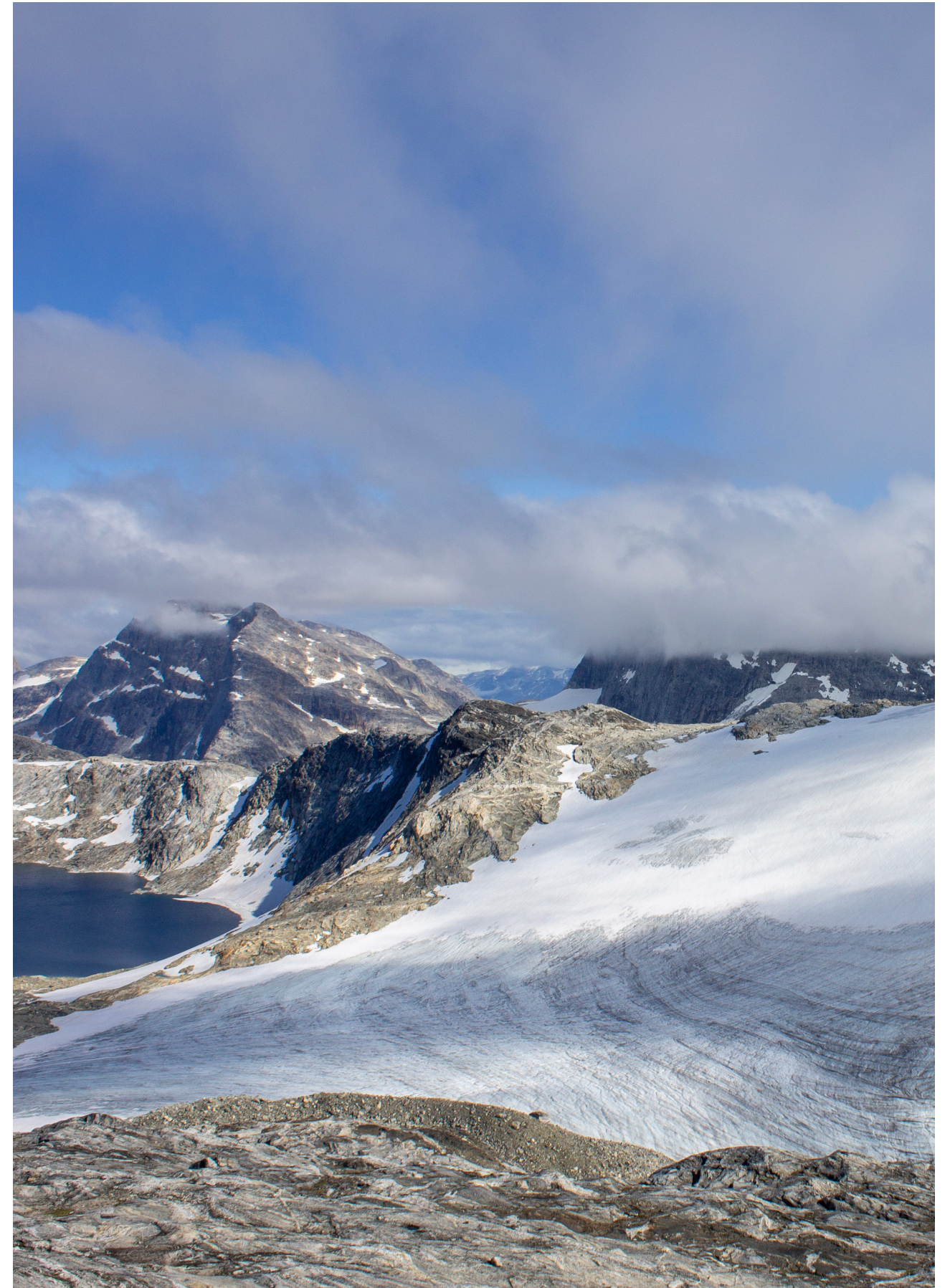
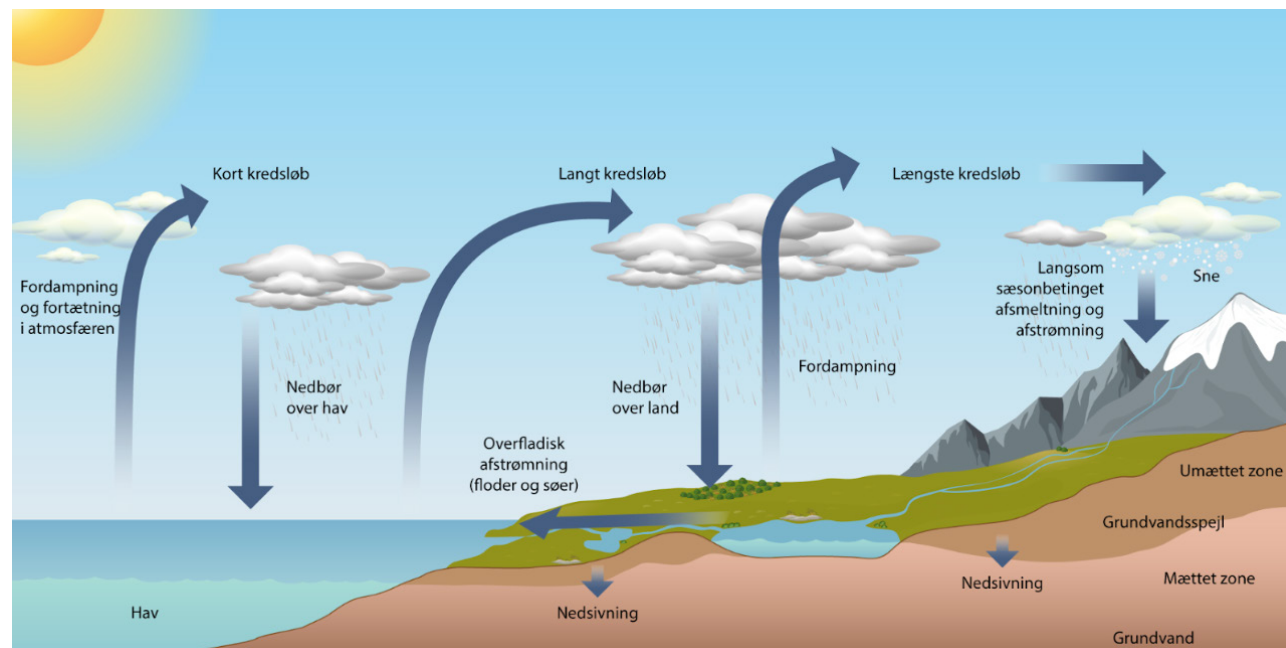
Vand findes overalt på Jorden. Det udgør 71% af Jordens overflade og bevæger sig i et kredsløb mellem luften og jorden. Vandets kredsløb er den konstante bevægelse mellem at være over, på, eller under overfladen af Jorden. Det meste af vandet findes hovedsageligt i havene, og kun 2,5 % af al vand er ferskvand.

Vand fra søer, have, floder, jord og vegetation fx træer, fordamper og stiger op i atmosfæren, hvor det fortættes, bliver til skyer og vender tilbage til Jorden som nedbør (fx regn og sne). Når nedbøren

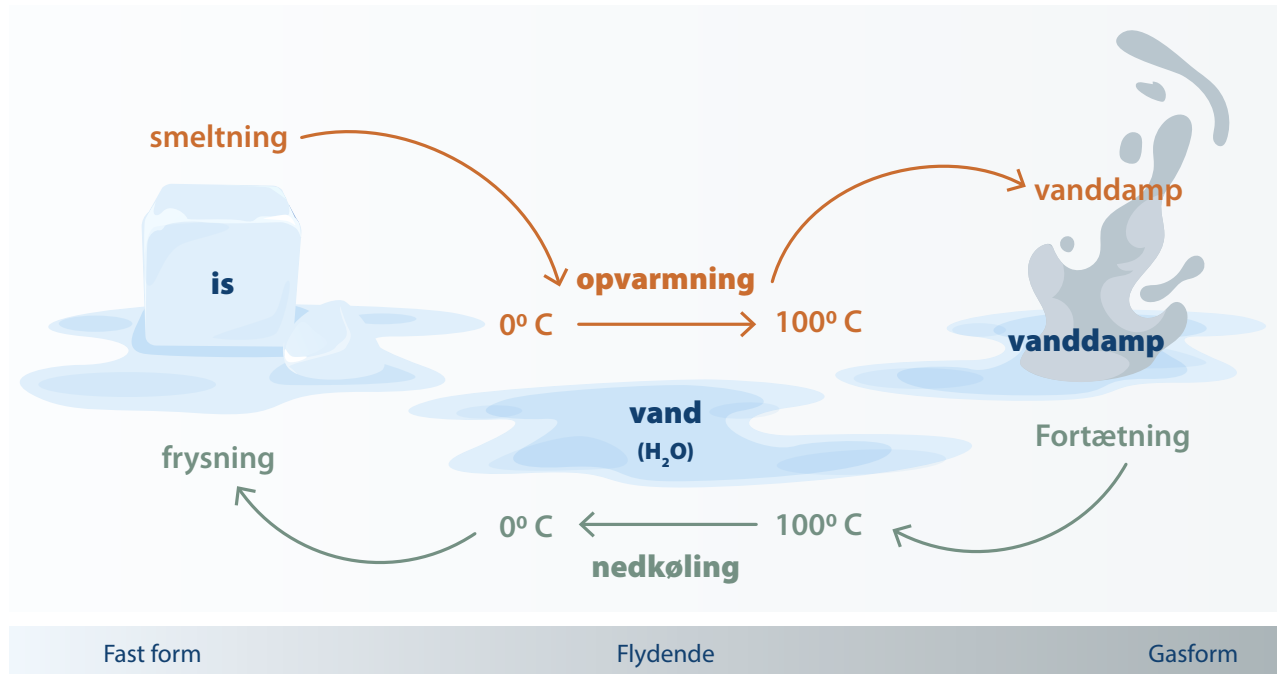
rammer jorden, strømmer det enten tilbage til de frie vandmasser (søer eller havet), eller siver ned til grundvandet.

Hvis vandet er i fast form, kan det også blive liggende på overfladen. Vand flyttes fra et magasin² til et andet ved fysiske processer som fordampning, fortætning, nedbør, nedsivning, afstrømning, smeltning og grundvandsdannelse. Vand kan dermed komme gennem tre faser: flydende, fast (is og sne) og gas (vanddamp).

↓ *Figur 1. Vandets kredsløb kan inddeles i tre under-kredsløb, nemlig det korte kredsløb, det lange kredsløb og det længste kredsløb. I korte kredsløb indgår nedbør og fordampning over havet. Ved det lange kredsløb udvides det korte kredsløb med nedbør og fordampning over land. Ved det længste kredsløb inkluderes det korte med det lange kredsløb og udvides yderligere med sæsonbettinget afsmeltning og afstrømning. I områder med permafrost og grundfjeld er nedsivning af vand mange steder begrænset, hvilket betyder, at grundvand stort set er fraværende i Grønland.*



Qasigiannguut gletsjeren i Kobbefjord-området nær Nuuk i Vestgrønland Foto: Asiaq.



↑ Figur 2. Varmer og dermed energi er nødvendig for at bryde bindingerne, som holder vandmolekylet sammen, Varmer og dermed energi er nødvendig for at bryde bindingerne, som holder vandmolekylet sammen, og derfor fordampes vand meget hurtigt omkring kogepunktet. Omvendt går det langsomt, når temperaturen er tæt på frysepunktet fordi vandmolekylerne bevæger sig langsommere, når temperaturen falder.

Faseændringer

Vandets kredsløb beskriver, hvordan vand bevæger sig rundt i naturen. For at vand kan skifte form, kræves energi. Når is smelter (fra fast til flydende form) eller vand fordampes (fra flydende form til gas), bruges der energi. Denne energi ændrer ikke vandets temperatur, men påvirker vandmolekylerne tilstand. Energien lagres i vandmolekylerne og frigives, når vanddamp kondenserer (fortættes) til væske, eller når vand fryser til is. Denne energi kaldes latent varme, og er den energi, der tilføres eller frigives, når et stof skifter fra en fase til en anden (som fra fast til flydende eller fra flydende til gasform).

Fordampning kaldes også evaporation, når det sker ved overfladen af havet, søer og floder. Når fordampning sker fra planter's spalteåbninger (stomata) på bladenes undersider kaldes det for

transpiration. Samlet set kaldes disse to typer af fordampning for evapotranspiration. Evaporation sker, når umættet luft ² kommer i kontakt med en fugtig overflade og optager varme, som køler den omkringliggende overflade. Havet er den største kilde til fordampning. Der findes forskellige faktorer, som påvirker fordampningen og dens størrelse: solindstråling, temperatur, luftfugtighed, vindhastighed og lufttryk.

Vanddamp stiger til vejrs, hvor den afkøles, og energien frigives dermed fra vandmolekylerne. Denne faseovergang kaldes for kondensation. I løbet af denne proces omdannes vandpartiklerne til skyer. Der vil gradvist blive formet enten dråber eller iskrystaller i skyerne, og når dråberne er store nok, falder de som nedbør.

Vands forskellige former og opholdstider

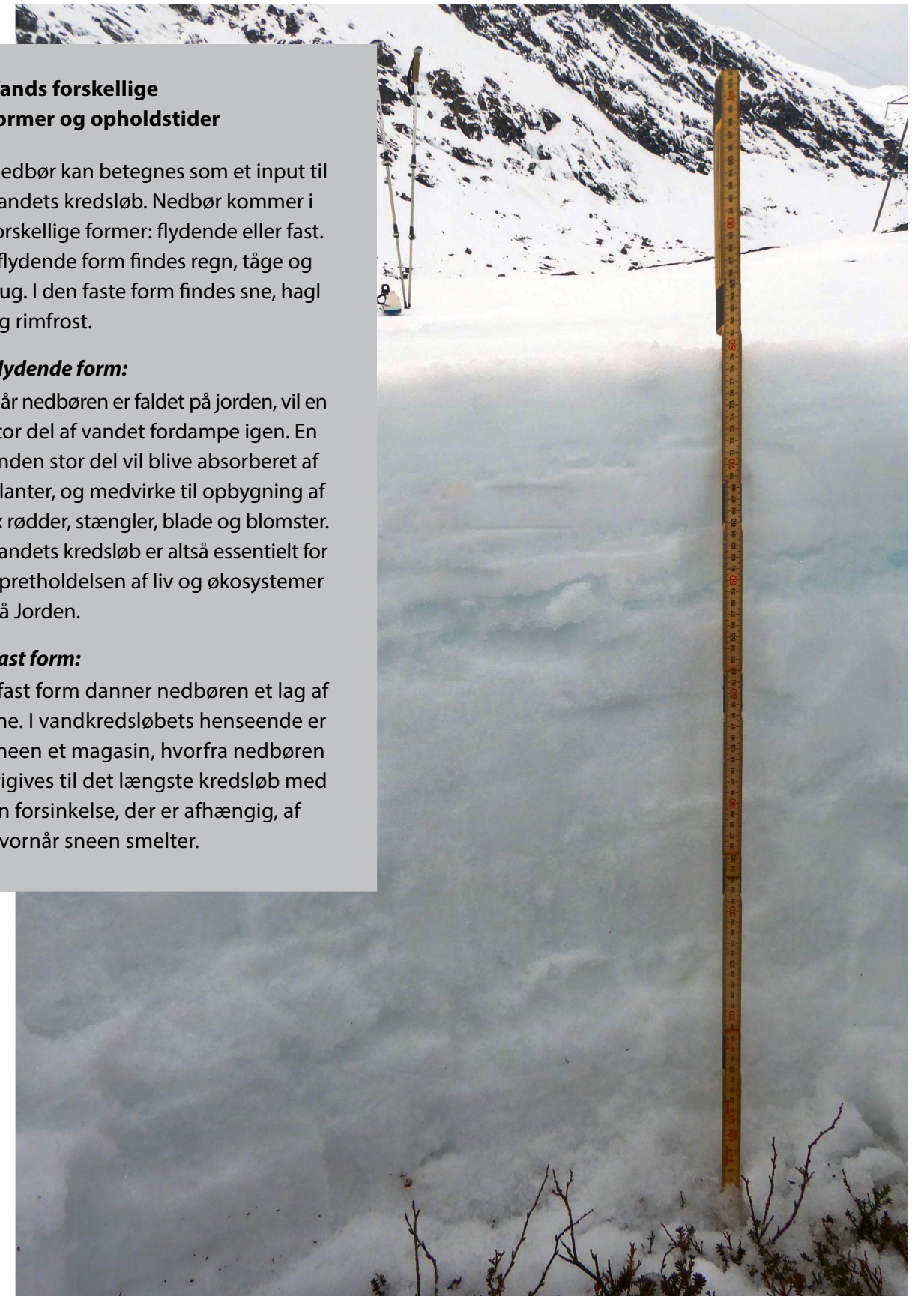
Nedbør kan betegnes som et input til vandets kredsløb. Nedbør kommer i forskellige former: flydende eller fast. I flydende form findes regn, tåge og dug. I den faste form findes sne, hagl og rimfrost.

Flydende form:

Når nedbøren er faldet på jorden, vil en stor del af vandet fordampe igen. En anden stor del vil blive absorberet af planter, og medvirke til opbygning af fx rødder, stængler, blade og blomster. Vandets kredsløb er altså essentielt for opretholdelsen af liv og økosystemer på Jorden.

Fast form:

I fast form danner nedbøren et lag af sne. I vandkredsløbets henseende er sneen et magasin, hvorfra nedbøren frigives til det længste kredsløb med en forsinkelse, der er afhængig, af hvornår sneen smelter.



Et 'snow pit' kan graves for at se snelagene og tykkelsen af snedækket. Snow pits kan blandt andet bruges til at vurdere, om sneen er stabil eller ustabil (om der potentielt kan ske et sneskred). Foto: Kirsty Langley.

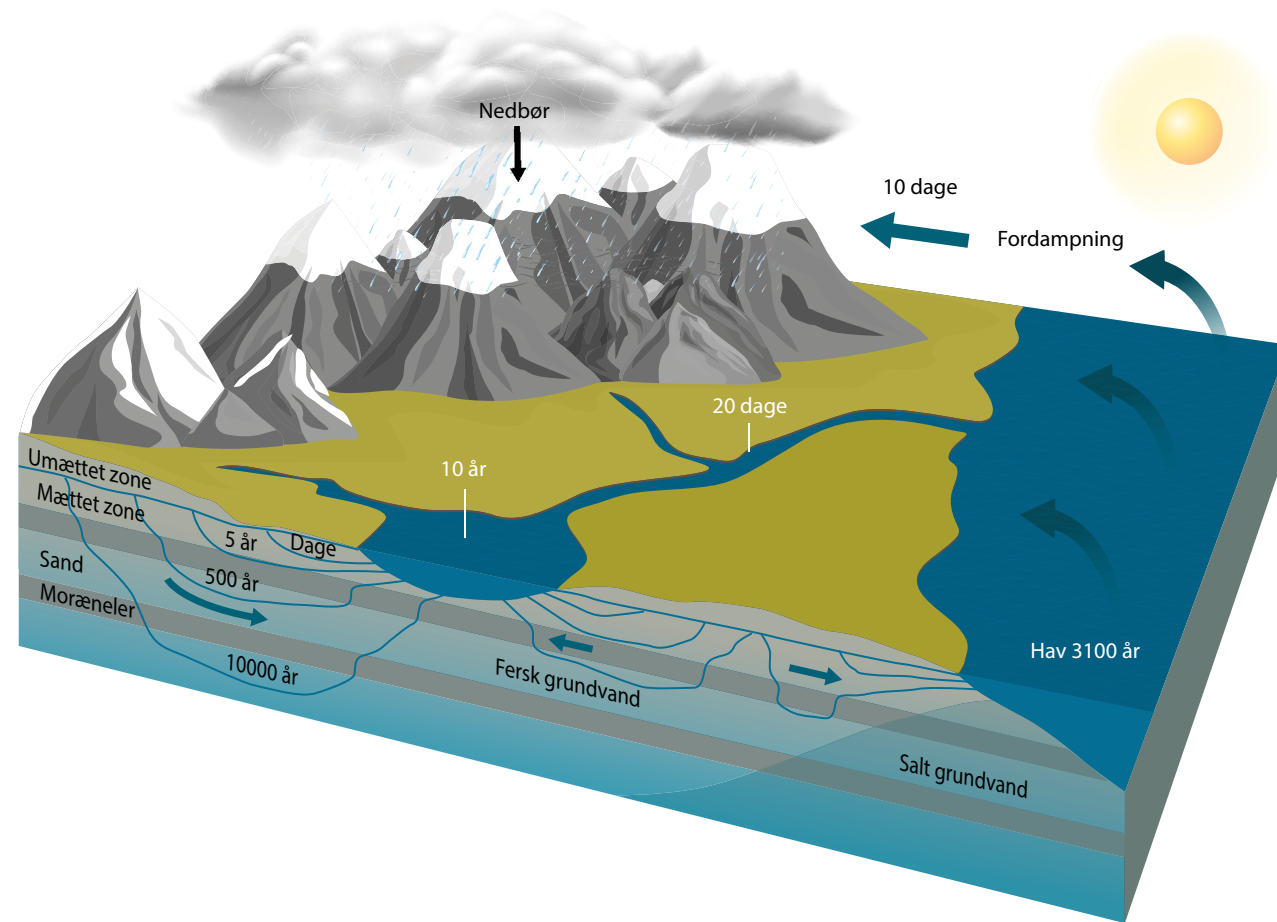
Afstrømning og nedsivning

Den samlede mængde af nedbør, smeltevand og andre vandkilder, som løber hen over overfladen, kaldes for afstrømning. I Danmark vil afstrømningsvandet ofte løbe gennem afløbsrør til åer, søer og dernæst havet.

I arktiske egne med gletsjere, sker der også afstrømning, når gletsjerne smelter om sommeren. Om vinteren vil de lave temperaturer på gletsjere "gemme" på dette vandmagasin, i form af sne og is, indtil afsmeltningen sker i sommerperioden,

som en sæsonbetinget afsmeltning. Smeltevand fra sne og is betragtes først som en del af systemet, når sneen er smeltet om foråret og sommeren.

De dele af nedbøren, som ikke fordamper eller løber som afstrømning, vil sive ned (infiltrere) i jorden gennem de øverste jordlag og blive til grundvand. Den øverste del af jordlaget kaldes den umættede zone. Zonen under den umættede zone er vandmættet og kaldes grundvandszonen (se figur 1).



↑ Figur 3. Illustration af vandets naturlige cyklus, hvor vandet cirkulerer mellem undergrunden, søer, floder /elve og oceaner, og atmosfæren. Vandet fordamper fra havet, stiger, og vender tilbage som nedbør i form af regn eller sne. Figuren angiver de gennemsnitlige opholdstider for vandet i forskellige dele af kredsløbet. Figur efter GEUS.



En lille bæk strømmer gennem Grønlands landskab. Bækken er en del af et omfattende netværk af vandløb, der samler smeltevand fra gletsjere og nedbør og fører store mængder ferskvand mod havet. Foto: Marie Arndal.



Vandet i den umættede zone kan komme videre i kredsløbet til atmosfæren gennem fordampning direkte fra jordoverfladen. Det sker, så snart der tilføres varmeenergi til systemet fx om foråret og sommeren. Vandet fra den umættede zone bruges også af planterne som en væsentlig ressource for deres fotosyntese (se Tema: Planter i Arktis). Vandet returneres til kredsløbet i form af fordampning fra planterne (figur 1).

Vandets balance kan opstilles ud fra følgende ligning med følgende faktorer:

$$N = F + Au + Ao + \Delta R,$$

hvor N er nedbør, F er fordampning, Au er underjordisk afstrømning, Ao er overfladisk afstrømning, og ΔR er ændring over tid i ophobet vandmængde (søer, moser, sne og lignende). Nedbør, fordampning og overfladisk afstrømning er relativt let at måle og beregne, men det er meget sværere at måle, hvor meget vand, der siver ned i jorden.

I Grønland kan man stort set se bort fra grundvandsmagasinet, når man ser på vandbalance-ligningen, fordi der enten er permafrost (se Tema Kulstofkredsløbet om permafrost), eller at jordlagets dybde ikke er tilstrækkeligt til dannelse af et mættet jordlag, før grundfjeldet nås.

Det arktiske vandkredsløb

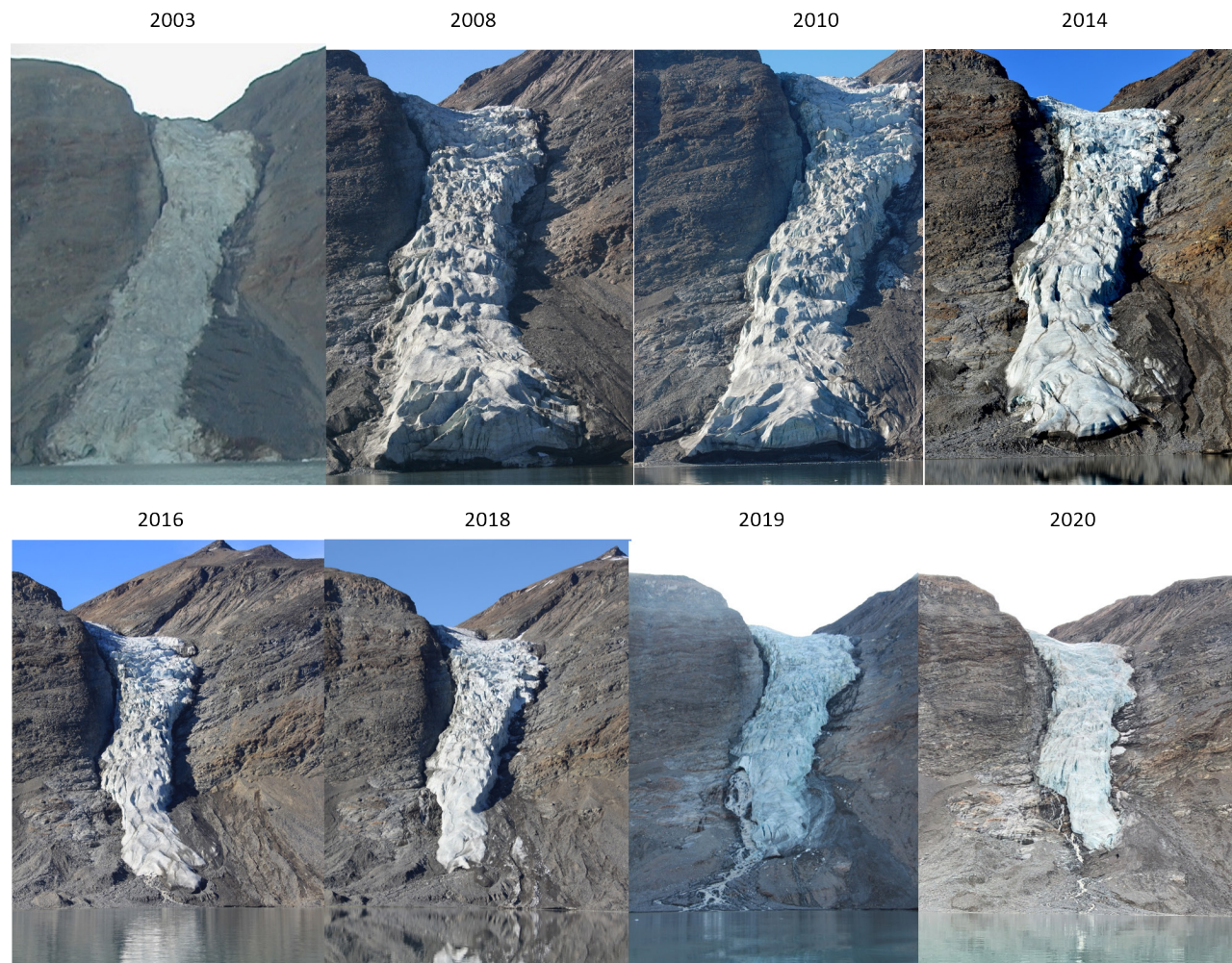
Ser man på det arktiske vandkredsløb specifikt adskiller det sig væsentligt fra det danske ved at:

- Nedbøren, som falder, bliver ikke nødvendigvis en del af kredsløbet lige med det samme.
- Der er en ekstra kilde til vand fra afsmeltning af gletsjere.
- Nedsivning er ikke altid mulig på grund af permafrost (og grundfjeld).

Det arktiske kredsløb er altså meget langsommere, fordi gletsjerne gemmer på nedbør, som er faldet for mange år siden. Nedbøren "gemmes" fra ekstra kolde perioder, og den bliver først frigivet igen, når temperaturen er høj nok til, at isen smelter. Det har indflydelse på afstrømningen i floder og havniveauet på globalt plan.

Isens rolle i det arktiske vandkredsløb

Grønlands indlandsis, iskapper og gletsjere vokser, når der om vinteren falder sne på dem. Isen taber noget af den masse, der bliver bygget op om vinteren, gennem kælvning af isbjerger og afsmeltning af is om sommeren. Man taler om, at indlandsisen, gletsjere og iskapper har en massebalance, hvor sne, der falder på isen, medfører akkumulation (optag) og afsmeltning af overfladen medfører ablation (tab)



Gletsjer i Tyrolerfjord ved Zackenberg er fotograferet hver sommer i august måned siden 2003. Det ses tydeligt, hvordan isen trækker sig tilbage over en 20-årig periode. Foto: MarinBasis

– massebalancen er forskellen mellem optaget og tabet. Akkumulationen og ablationen er styret af forskellige vejrpåvirkninger fx temperatur.

En gletsjer kan inddeles i to zoner afhængig af højden over terrænet: En akkumulationszone, hvor der primært opbygges masse i form af sne, og en ablationszone (som ligger i lavere højde), hvor tabet i form af afsmeltning sker. Store dele af den sne, der falder over Grønland om vinteren, bliver til is i stedet for at smelte og blive til afstrømning. Samtidig smelter is, der er dannet af nedbør, som er faldet for adskillige år siden. Dermed bliver den smeltede is en del af det aktive kredsløb.

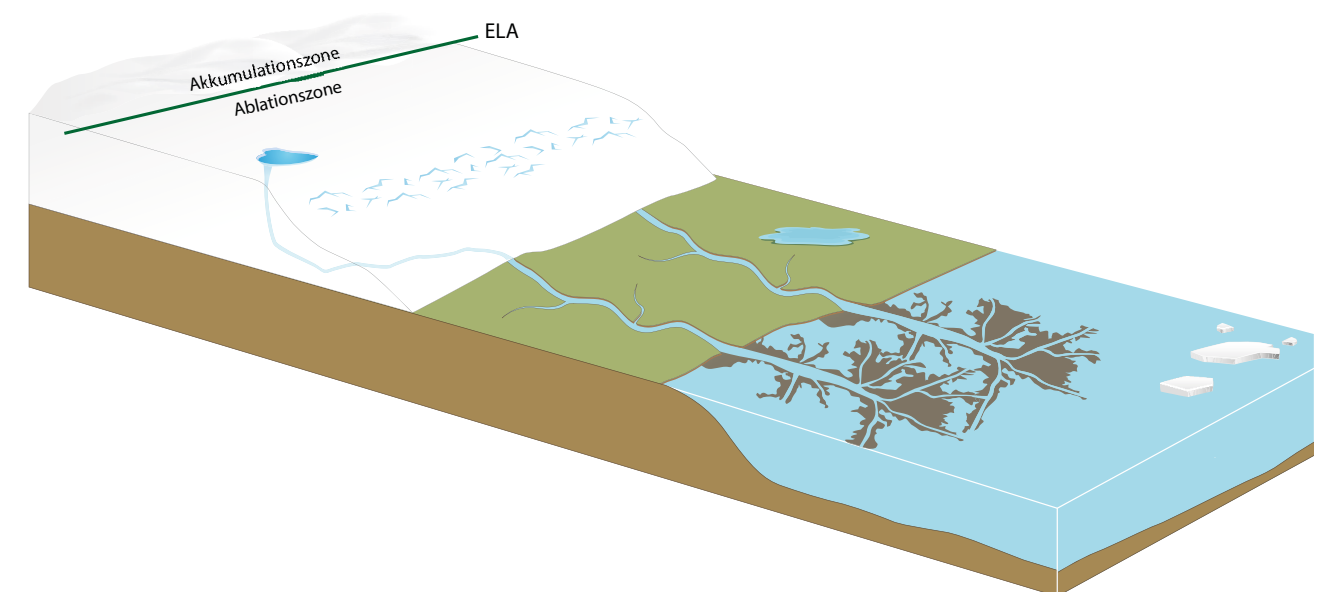
Isens påvirkning på økosystemet i fjorde

Gennem afsmeltning har isen indflydelse på afstrømningen i floder/elve, men den har også indflydelse på, hvor vandet kommer ud. Gletsjere, der ender i havet, kælver. Det sker, når en del af isen brækker af. I fjordsystemer med kælvende gletsjere løber smeltevand fra isens overflade hovedsageligt ud nede ved bunden af isen. Det

betyder, at der dybt nede under havoverfladen presses smeltevand ud gennem isens revner. Smeltevandet er fyldt med næringsrige sedimenter fra miljøet under gletsjeren, som føres ud i havet, når isen kælver. Sedimenterne indeholder en masse næringsstoffer, som føres ud i havet, når gletsjeren kælver. Dette er fordelagtigt for flere led i fødekæden i fx fjorde, hvor planteplankton udnytter de tilførte næringsstoffer. Den store mængde af planteplankton kan give ophav til zooplankton og er dermed grundstenen i fødekæden, der ender med fx fisk, sæler og hvaler.

↓ Figur 4. Gletsjere vokser om vinteren med snefald og mister masse om sommeren via afsmeltning. Gletsjere har to zoner: en akkumulationszone med sneopbygning og en ablationszone med afsmeltning. Massebalancen er forskellen mellem optag (akkumulation) og tab (ablation).

Når særligt gletsjere, der ender ude i havet, smelter, transporteres sedimenter ud i havet, hvilket gavner fødekæden fra planteplankton til større dyr som fisk og hvaler.





I Grønland kan man flere steder drikke vandet direkte fra elven. Alle søer og elve, der benyttes til drikkevand er beskyttet, og der er regler for aktiviteter i området. Foto: Marie Arndal

Drikkevand

Under 1% af al Jordens vand kan benyttes som drikkevand. Desuden er der meget af det ferske vand forurenet. I Danmark kommer denne forurening bl.a. fra pesticider, der bruges i landbruget. Og faktisk er kun 0,007% af al Jordens vand rent nok til at kunne drikkes uden sundhedsfare. I Danmark får man primært drikkevandet fra grundvandet. Grundvandet findes i få meters dybde og pumpes op fra jorden, hvorefter det behandles og filtreres på vandværker, før det er klar til at blive drukket.

I modsætning til Danmark får Grønland ikke sit drikkevand fra grundvand. I Grønland er man afhængig af vand fra søer eller elve. Vandet behandles på forskellige måder alt efter hvor det kommer fra og om der kan være bakterier, vira og ioner, der skal filtreres fra.

Man kan også lave drikkevand ved at fjerne salt fra havvand. Dette benyttes typisk i bygder[?], hvor der absolut ikke er andre alternativer, men det kan være omkostningsfuldt og energikrævende. Det er også muligt at smelte gletsjer-is. Det er en praksis, der fx udføres i Qaanaaq i Nordvestgrønland. Denne afsmeltning af is til drikkevandet er dog meget energikrævende, og sæsonen for indhentningen af gletsjerisen forkortes på grund af klimændringerne.

Reference: Nukissiorfiit Produktion af drikkevand.

Klimapåvirkning af vandets kredsløb og konsekvenser

Stigende globale – men især arktiske – temperaturer har stor indflydelse på det arktiske vandkredsløb, fordi store mængder af is smelter og bliver en del af det aktive kredsløb og bidrager til havniveau-stigninger. Også mængden af sne og tidspunktet, den smelter på, ændrer sig, hvilket har indflydelse på evapotranspirationen (fordampningen) og nedsivningen.

Hvis nedbøren falder som regn om vinteren, kan det få stor betydning for nogle af de pattedyr, der lever i Arktis. Fx kan rensdyr og moskusokser måske ikke

tilpasse sig hurtigt nok til det skiftende klima. Begge arter overlever den arktiske vinter ved at grave gennem sneen for at spise planterne under sneen. Hvis der om vinteren falder regn i stedet for sne (såkaldte rain-on-snow episoder), så fryser nedbøren på snelaget. Der formes en hård iset skal, et ispanser, som kan være uigennemtrængelig for dyrene, og dermed blokere for føden i løbet af vinteren. Snelaget i sig selv har dog en isolerende effekt og beskytter planterne, men hvis dyrene ikke kan slå hul på et eventuelt ispanser i sneen, er der stor risiko for, at de sulter ihjel.



Spor efter moskusokser i sneen. Foto: Lars H. Hansen.



Forskere måler vandføring i en elv. Vandføring er den mængde vand, der passerer tværsnittet af vandløbet pr. sekund. Vandføring (Q) beregnes som tværsnitsarealet (dybde x bredde) gange strømhastigheden (V). Målingerne hjælper med at forstå, hvordan vandføring og strømhastighed varierer i løbet af året, afhængigt af faktorer som snesmeltning og nedbør. Foto: Marie Arndal.



TAG MED I RYGSÆKKEN:

1. Vand flyttes fra et magasin (lager af vand) til et andet ved fysiske processer som fordampning, fortætning, nedbør, nedsivning, afstrømning og grundvanddannelse.
2. Vand kan komme gennem tre faser: flydende, fast og gas.
3. Vandets kredsløb kan inddeles i under-kredsløb: det korte kredsløb, det lange kredsløb og det længste kredsløb. I korte kredsløb indgår nedbør og fordampning over havet. Ved det lange kredsløb udvides det korte kredsløb med nedbør og fordampning over land også. Ved det længste kredsløb inkluderes det korte med det lange kredsløb og udvides med sæsonbetinget afsmeltning og afstrømning.
4. Vandets opholdstider kan variere mellem 10 dage i atmosfæren, før det falder som regn, og mere end 100.000 år gemt i de store iskapper.
5. Indlandsisen og gletsjere har en massebalance med en akkumulation (optag af sne) og en ablation (afsmeltning) af overfladen. Massebalancen er forskellen mellem disse to.