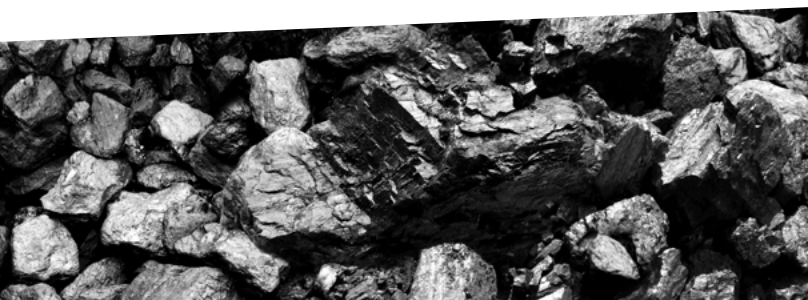


KULSTOF OG VEDVARENDE ENERGI- TEKNOLOGIER ELEVmateriale

MED TEKSTER OG ØVELSER



INDHOLDSFORTEGNELSE

KAPITEL 1: FORBRÆNDING OG ENERGI

Atomer, molekyler og energi	s. 3
Energi og kulstof	s. 3
Biomasse lagrer Solens energi	s. 4
Forbrænding og respiration	s. 4
Fossile energikilder – millioner år gamle energilagre	s. 6
Kul	s. 6
Olie	s. 7
Naturgas	s. 7
Kulstof i olie og gas	s. 9
Hvad sker der, når vi løber tør for fossile brændsler?	s. 9

KAPITEL 2: KULSTOFKREDSLØBET

Det hurtige kulstofkredsløb	s. 12
Fotosyntese og forbrænding	s. 13
Kulstofs bevægelse mellem luft og vand	s. 13
Det langsomme kulstofkredsløb	s. 14
Fossilt kulstof og CO ₂	s. 14
Balancen i kulstofkredsløbet	s. 15
Menneskets påvirkning af kulstofkredsløbet	s. 15
Kulstof, drivhuseffekt og klima	s. 16
Drivhusgasser	s. 17
CO₂-neutral energi fra kulstofforbindelser	s. 18
Bæredygtig biomasse	s. 18

KAPITEL 3: VEDVARENDE ENERGI

Vedvarende energi stammer fra Solen, Månen og Jordens indre	s. 21
Biobrændsel fra biomasse	s. 21
Første og anden generation af biobrændsel	s. 22
Bioethanol: fra første til anden generation	s. 22
Biobrændsel i Danmark	s. 22
Vindenergi fra vindmøller	s. 23
Vindenergi i Danmark	s. 23
Solenergi	s. 25
Solceller – elektricitet direkte fra Solen	s. 25
Solceller i Danmark	s. 26
Varmeenergi fra Solens lys	s. 26
Koncentreret solkraft	s. 26
Solvarme i Danmark	s. 27
Vandenergi	s. 28
Vandkraftværker – vandets bevægelse drives af Solen	s. 28
Vandkraftværker	s. 28
Vandenergi i Danmark	s. 29
Geotermi	s. 29
Geotermiske anlæg	s. 29
Geotermi i Danmark	s. 29

KAPITEL 4: FREMTIDENS SMARTE ENERGISYSTEM

Omstilling til det smarte energisystem	s. 31
Forsyningssikkerhed	s. 32
Da energien forsvandt – Oliekrisen i 1974	s. 33
Hvordan kommer fremtidens energisystem til at se ud?	s. 33
Energilagring	s. 34
Lagringseffektivitet	s. 35
Lagring af el	s. 36
Lagring af vedvarende energi i fjernvarmesystemet	s. 36
Damvarmelagre	s. 37
Varmepumper	s. 38
Lagring af strøm som brændstoffer	s. 39
Hvordan kommer fremtidens energilagring til at se ud?	s. 39
Prisen for et vedvarende energisystem	s. 40
Oversigt over kulstofkredsløbet	s. 42

ØVELSER

Øvelse 1: Hvem er fremtidens vedvarende energimagt?	s. 44
Øvelse 2: Kulstofkredsløbet	s. 49
Øvelse 3: Byg din egen vedvarende energiteknologi!	s. 54
Øvelse 4: Elproduktion	s. 55
Øvelse 5: Planter optag af CO ₂	s. 59

KÆRE ELEV

Du sidder nu med et undervisningsmateriale om energiproduktion, kulstof og fremtidens smarte energisystem i hånden. Det lyder måske ikke som noget, der er særlig relevant for dig, men har du nogensinde overvejet, hvor afhængig du er af energi? Du ville hverken kunne oplade din mobiltelefon, spille PlayStation eller skrive med dine venner på Messenger, hvis ikke dit hus var tilsluttet et energinet, der forsyner dig med energi, når du har brug for den.

Men den måde, du får energi på i din hverdag, er nødt til at ændre sig. Meget af din energi kommer nemlig i dag fra afbrænding af kul, olie og gas som udleder CO₂, der er med til at ændre vores klima. Det kan få store konsekvenser for, hvordan fremtiden på Jorden kommer til at se ud. Derfor er det faktisk ret relevant for dig at finde ud af, hvor energien kommer fra i dag, og hvor den skal komme fra i fremtiden.

I fremtiden skal vi til at få mere af vores energi fra vedvarende energikilder. Solceller, vindmøller, vandkraftværker og måske helt nye teknologier, skal erstatte de gamle kulkraftværker. Derfor skal vi tænke nyt og kreativt, når vi omstiller vores gamle energisystem til fremtidens smarte energisystem.

Alt det vil du blive meget klogere på ved at læse dette materiale og løse de tilhørende opgaver.

Vi ønsker dig rigtig god fornøjelse!

KAPITEL 1: FORBRÆNDING OG ENERGI

I DETTE KAPITEL LÆRER DU OM:

- Hvad en forbrænding er
- Hvordan vi får energi fra kulstof
- Fotosyntese, respiration og forbrænding
- Hvordan kulstof bevæger sig i et kredsløb på Jorden
- Hvordan mennesket påvirker kulstofkredsløbet, og hvordan kulstofkredsløbet påvirker os

Det meste af den energi, som vi bruger, får vi fra en *forbrænding*. På store kraftværker forbrændes kul, olie, gas, affald eller træpiller, så vi kan få elektricitet og varme. I fly-, bil-, eller bådmotorer afbrændes benzin, så vi kan transportere os over lange afstande. Når vi laver mad over gasblus, tænder op i grillen eller griller skumfiduser over et lejrål, kommer varmeenergien fra en forbrænding. Alle disse afbrændinger giver os energi ud fra samme proces, som vi har brugt siden mennesket første gang lærte at tænde bål.



På kraftvarmeværket frigøres energi via en forbrænding.

MOLEKYLER

Molekyler består af flere atomer, som er bundet sammen med molekylebindinger. Der er lagret energi i bindingerne, men udadtil er molekylet neutralt ladet. CO₂-molekylet består af et kulstofatom (C) og to iltatomer (O).



CO₂-molekylet består af et kulstofatom (C) og to iltatomer (O).

KULSTOF

Kulstof er grundstof nummer 6 i det periodiske system, og har forkortelsen C. C'et er en forkortelse for det engelske navn *carbon*. Kulstof er det grundstof som indgår i allerflest kemiske forbindelser. Den rene form for kulstof-forbindelser findes i grafit, som vi kender fra vores blyanter – og i diamanter. De består begge af rent kulstof, og forskellen er kun, hvordan kulstofatomerne sidder sammen. Kulstofatomerne i en diamanter sidder så godt sammen, at de danner et af de hårdeste materialer, vi kender, mens grafit er skrøbeligt og let kan smuldre mellem fingrene.



ATOMER, MOLEKYLER OG ENERGI

Selvom vi alle sammen kender forbrænding fra vores hverdag, er det ikke sådan lige til at forstå, hvor varmeenergien kommer fra. I virkeligheden er en forbrænding en *kemisk proces*.

Alt i verden består af små byggesten, som man kan kalde for *grundstoffer*. Grundstofferne kan sætte sig sammen på et utal af måder og "bygge" alt det, som vi ser – og alt det, vi ikke ser – omkring os. Når grundstofferne sætter sig sammen, kan de danne det, vi kalder for et *molekyle*.

Molekyler består af flere atomer, som er bundet sammen af energibindinger. Når man forbrænder et molekyle, skiller man atomerne ad, og binder dem sammen i nye bindinger. En del af den energi, som blev brugt til at binde molekylet sammen, bliver dermed frigivet som lys og varmestråling. Det er den energi, som vi kan bruge på en masse forskellige måder.

ENERGI OG KULSTOF

Fælles for næsten alle de stoffer, som vi får energi fra i hverdagen er, at de består af det, man kalder organisk materiale. Det organiske materiale er nemlig sat sammen af nogle byggesten – bl.a. kulstof – som er bundet sammen med energi. Bindingerne mellem kulstofatomerne er svage, og det er derfor let at frigive energien. Kulstof er det grundstof i det periodiske system, der kan binde sig på allerflest måder.



Når vi brænder træ af i et bål, får vi energi fra biomasse.

Når forbrændingen sker, brydes bindingerne mellem kulstofatomerne, og bliver til nye forbindelser, som har mindre energi. Den energi, som er tilovers, bliver frigivet.

Kulstofforbindelserne findes rigtig mange steder omkring os, og vi kan altså finde mange forskellige materialer at brænde af for at få energi. De materialer, som vi brænder af, kaldes for *energikilder*. De energikilder, som kan forbrændes, opdeler man typisk i *biomasse* og *fossile brændsler*.

FOTOSYNTESE

I fotosyntesen omdanner planterne CO_2 og H_2O til et sukkerstof, kaldet glukose. Inde i planternes blade findes organeller ved navn grønkorn. I grønkornet findes klorofyl, som opsamler alle andre farver lys fra Solen end grønt. Derfor får planten sin grønne farve.

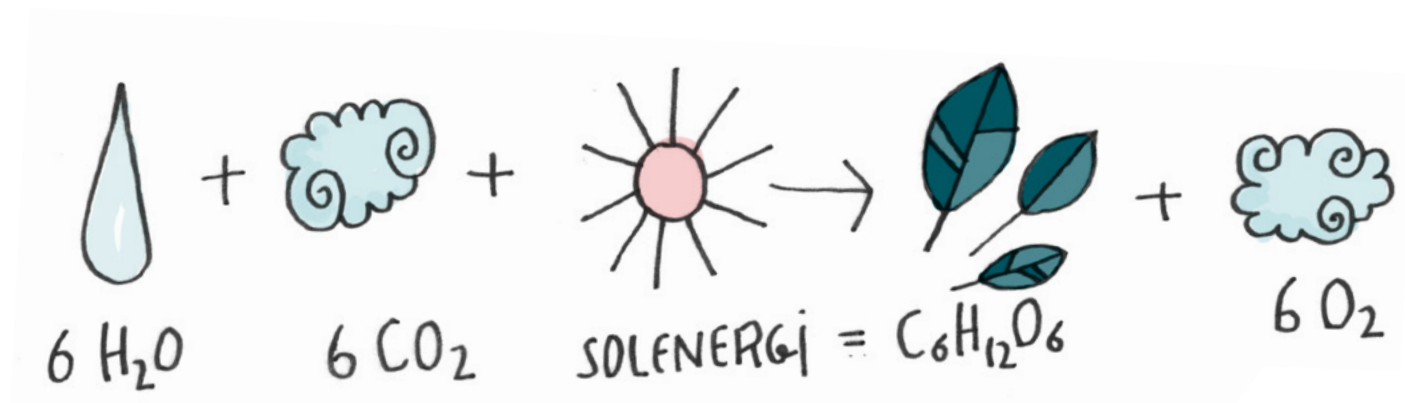
I grønkornet opsamles energi fra Solen, som bruges til at spalte vand (H_2O) fra rødderne til ilt (O_2) og kuldioxid (CO_2) fra luften til kulstof (C). De sættes til sidst sammen til sukker (glukose), som planten bruger til at vokse, og ilt (O_2), som ledes ud i atmosfæren.

BIOMASSE LAGRER SOLENS ENERGI

Biomasse er betegnelsen for energikilder, som kommer fra nutidigt organisk materiale. Det betyder, at biomasse er materiale, som for nyligt har været levende, som f.eks. træer, planter og andet.

Biomassen får sin energi fra Solen. Det gør den, fordi de planter, som den tit består af, skal bruge Solens strålingsenergi for at "bygge" nye plantedele og dermed vokse. Når planter skal samle energi til at vokse, altså opbygge nyt organisk materiale, som blade, stængler eller rødder, så bruger de *fotosyntesen*. Fotosyntesen er en kemisk reaktion, som sker inde i planten. Her omdannes CO_2 (kuldioxid) og H_2O (vand) til nye kulstofforbindelser. Til det, skal der bruges energi, og den energi får planterne fra Solens stråler. På den måde lagrer planterne altså Solens energi, som den senere kan bruge til at vokse.

Planterne får altså kulstoffet fra luften omkring dem i form af CO_2 . CO_2 er en meget stabil form, og derfor vil kulstoffet gerne være på denne form. Der skal altså tilføres energi, hvis CO_2 skal omdannes til en anden kulstofforbindelse. Det sker f.eks., når planter laver fotosyntese.



Fotosyntese-processen. I fotosyntesen skal der bruges seks CO_2 -molekyler, seks H_2O -molekyler og energi fra Solen.

Forbrænding og respiration

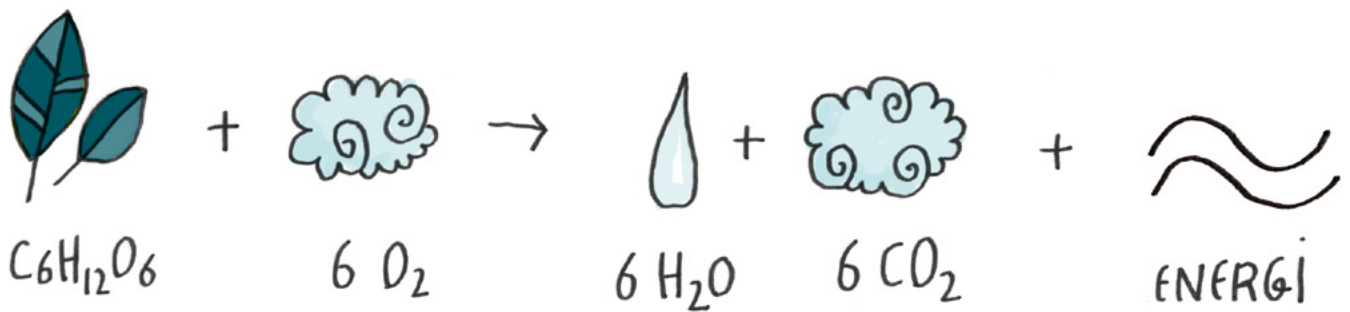
Energien i biomassen kan frigives, når bindingerne imellem kulstofforbindelserne splittes ad. Energien kan frigives på flere forskellige måder.

Frigivelsen kan ske ved en *forbrænding* af biomassen, f.eks. når man brænder træ af. Her reagerer kulstoffet med ilt fra den omkringliggende atmosfære.

Alt levende – dyr, mennesker, svampe og nogle bakterier – kan også frigive energien i biomassens kulstof igennem *respirationsprocessen*. Det sker f.eks., når vi spiser et æble.

Både i forbrændingen og respirationen iltes biomassen og omdannes igen til kuldioxid (CO_2) og vand (H_2O), og den solenergi, som er lagret i biomassens kulstofforbindelser, frigives igen.

Brænder man plantematerialet af ser forbrændingen sådan her ud:



Forbrændings-processen. I forbrændingen skal der bruges et sukkermolekyle og seks O_2 -molekyler.

Energi fra biomasse kan komme fra mange forskellige kilder. Den mest almindelige kilde er plantemateriale som halm, flis, savsmuld eller hø. Biomassen kan dog også udvindes på mange andre måder. F.eks. fra alger, der kan bruges til at producere olie til bil- og flymotorer, fra biogas, som udvindes, når planter og dyr rådner, eller bioethanol, som er alkohol lavet på planter. I Danmark er det i dag lovpligtigt at iblande mindst 5,75 % (energiprocent) biobrændstoffer i den benzin og diesel, der sælges til landtransportformål.

Træpiller



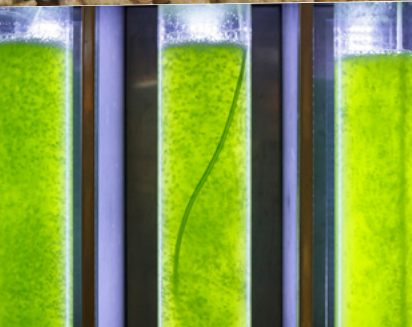
Træflis



Savsmuld



Halm



Algeolie



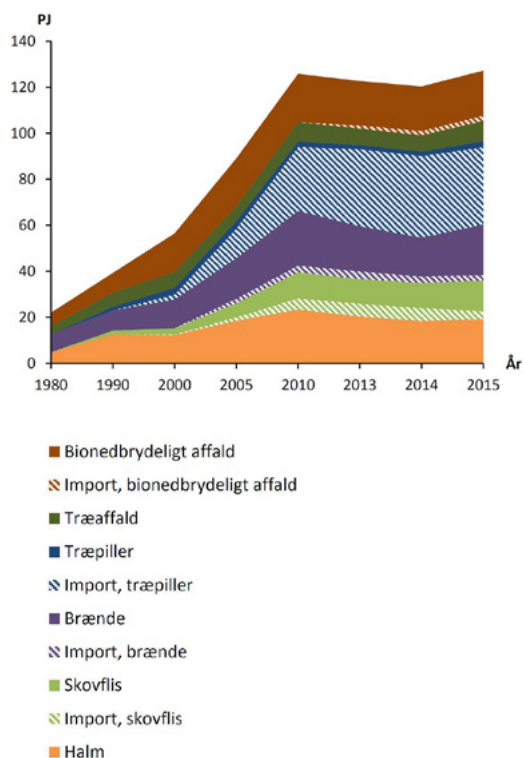
Biogas



Bioethanol

BIOMASSE I DANMARK

I Danmark er en stor del af vores el og varme produceret på biomasse. På figuren kan man se, hvordan brugen af fast biomasse har udviklet sig fra 1980 til 2015. Forbruget måles i petajoule (1015 J). Forbruget er steget markant frem til 2010, fordi vi er begyndt at bruge biomasse i vores kraftvarmeværker. Derefter har vores forbrug været nogenlunde stabilt.



Anvendelse af fast biomasse i dansk bruttoenergiforbrug i perioden 1980-2015, hhv. dansk produktion og import opgjort i direkte energiindhold [PJ] (Kilde: Energistatistikken 2015).

FOSSILE ENERGIKILDER – MILLIONER ÅR GAMLE ENERGILAGRE

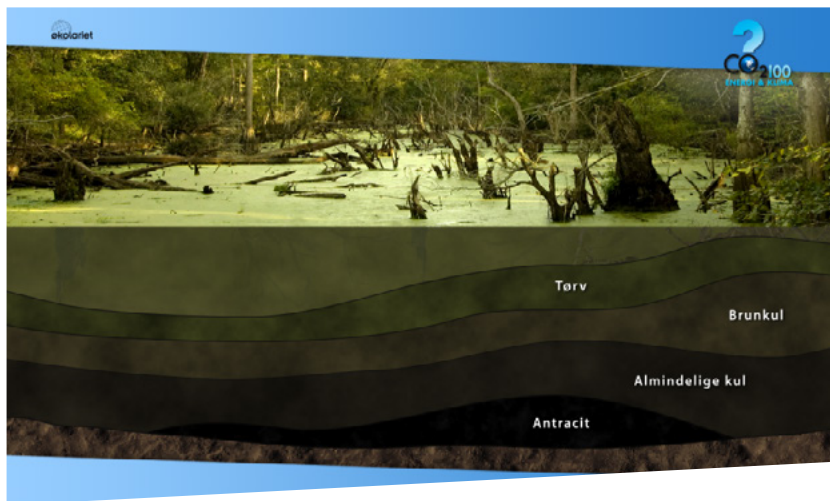
Størstedelen af det kulstof, som vi brænder af for at få energi, er de såkaldte fossile brændsler, i form af kul, olie og gas. Der er rigtig mange kulstofforbindelser i kul, olie og gas, og derfor får man meget energi ud af deres forbrænding. De fossile brændsler er altså en meget effektiv måde at få energi på, og derfor bruger vi dem til at få energi til rigtig mange ting i vores hverdag.

De fossile brændsler er alle sammen dannet af døde dyr og planter, der har ligget i jorden igennem mange millioner af år. At noget er *fossilt* betyder, at det er udgravet og har ligget længe i jorden, og det er derfor man kalder brændslerne for *fossile brændsler*.

Under den proces, er kulstofindholdet i de fossile brændsler steget, og de rummer derfor mere energi pr. kg materiale, end biomasse gør. Træpiller, der er den mest anvendte form for biomasse i kraftvarmeværker, har f.eks. en brændværdi på 4,9 kWh/kg, hvor kul har en brændværdi på ca. 7 kWh/kg.

Kul

Tager man et stykke kul i hånden, står man med planter, der voksede i forhistoriske skove for mange millioner år siden. De forhistoriske skove voksede i et tropisk, fugtigt klima, og mindede om de mangrove- eller regnskove, som vi har i dag.

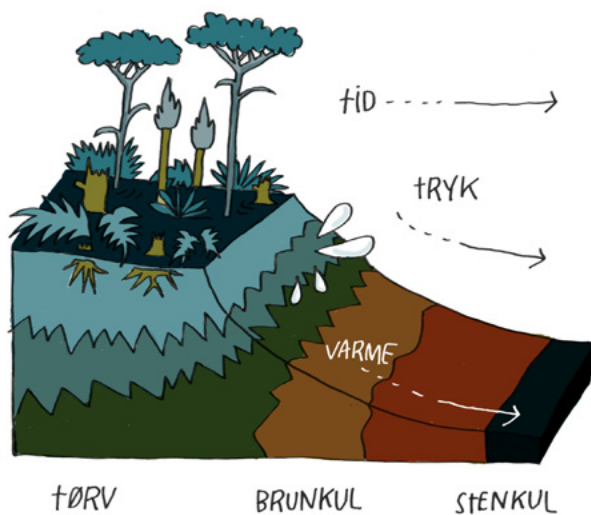


Kul er mange millioner år gammelt
(Grafik: raybender.dk)

Når forhistoriske planter døde, lagde deres organiske materiale sig på skovbunden og blev langsomt nedbrudt. Men fordi skovbunden var våd og tit blev oversvømmet, lå plantematerialet under vand, hvor det organiske materiale blev indkapslet i mudder, så de ikke kunne nedbrydes helt. Over millioner af år voksede lagene af nye planter og mudder, og flere og flere lag af planter og mudder blev presset sammen.

Inden kullet bliver til det stenkul, som vi bruger i kraftvarmeværkernes energiproduktion, bliver det til *tørv*. Tørv består af delvist nedbrudte dyre- og plantedele, og det er et vigtigt brændsel i store dele af verden, især i u-landene. Hvis tørv bliver liggende under pres, sker der en fossilering, hvor planterne langsom omdannes til en blød brun form for kul, som kaldes lignit eller *brunkul*. Hvis det udsættes for et meget højt tryk fra de overliggende lag igennem millioner af år, bliver det til sidst omdannet til hårdt, sort kul, kaldet stenkul. Udsættes kul for et tryk, der er voldsomt nok, kombineret med hurtig afkøling, omdannes det til sidst til diamant. De forhistoriske skove, der dækkede en stor del af Jorden for 360-299 millioner år siden, har faktisk givet tidsperioden navnet *karbon* eller *kulalderen*.

I 2016 var halvdelen af det brændsel, som vi brænder af i kraftvarmeværker i Danmark, kul.

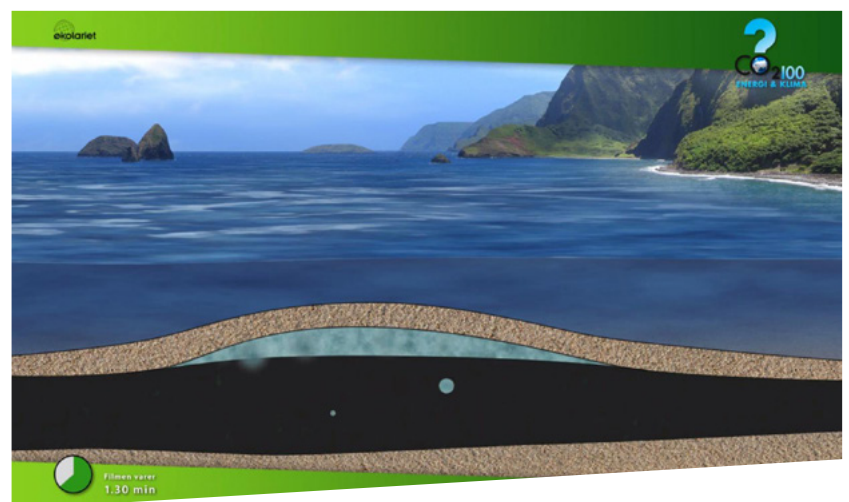


Olie

Olie er dannet ved, at mikroskopiske dyreplankton og alger, som levede i havet eller søer for mange millioner år siden, døde og sank ned på bunden. Her er de med tiden blevet dækket af sand- og mudderlag, som har presset dem sammen. Lagene af sand og mudder har skabt et miljø uden ilt.

Det organiske materiale skal desuden udsættes for et massivt tryk og meget høje temperaturer for at blive til olie, hvilket forekommer, når der aflejres sedimenter ovenpå laget af organisk materiale.

Nogle steder findes olien i jorden, hvor den ligger i hulninger som en slags underjordiske oliesøer. Andre steder findes olien blandet sammen med sand og sten, som kan gøre den sværere at udvinde fra undergrunden.



Olie og gas findes ofte sammen i lommer under jorden. På illustrationen ses en (lyseblå) gaslomme, der ligger begravet under havets overfalde sammen med (sorte) oliereserver.
(Grafik: raybender.dk)

Nogle af de største olieresourcer i verden findes i lande som Venezuela, Saudi Arabien, Rusland, USA og Kina, men man kan også finde olie under havet, bl.a. i Nordsøens undergrund.

I Danmark er det ikke normen at bruge olie i kraftvarmeværkernes energiproduktion.

Naturgas

Naturgas er dannet på samme måde som olie og ligger i hulrum under jorden. Gassen fanges i lommer under sand- og mudderslagene, som den ikke kan komme igennem. Nogle steder ligger gassen sammen med olie, og den kan derfor komme op, når man borer efter olie. Gassen har den laveste densitet og vil derfor ligge ovenpå olien. Andre steder ligger gassen i bittesmå lommer mellem tynde lag af skiffersten, og den kan derfor være svær at få ud. Her bliver man nødt til at bryde skifferlagene ved at pumpe vand ned under jorden og lave sprækker i lagene, før gassen kan komme ud.

I begyndelsen brændte man gassen af, fordi man ikke troede, den kunne bruges til noget. Men i dag bruger man naturgassen til at varme huse op, til at producere strøm med og i gaskomfurer.

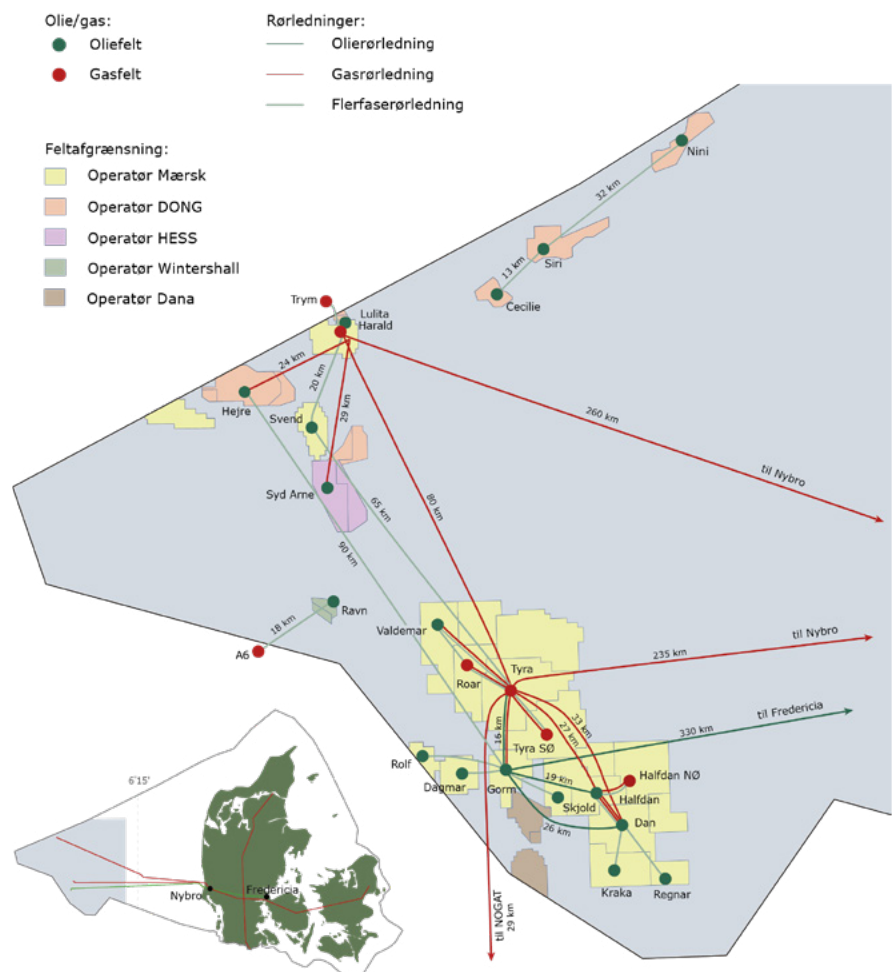


Naturgas bruges i dag både til strøm, gaskomfurer og varme.

OLIE OG GAS I DANMARK

I Danmark har vi reserver af olie og gas i Nordsøen, som vi har udvundet siden 1972. Siden 1992 har vi faktisk udvundet så meget, at vi har kunnet sælge olie til andre lande.

Olien og gassen ligger under havets overflade langt ude fra den jyske vestkyst, og udvindes på boreplatforme. Olien sendes ind til land gennem store rørledninger. Der findes i alt 19 olie- og gasfelter i Nordsøen, men det er begrænset, hvor meget olie der er tilbage i dem. De nyeste undersøgelser viser, at vi kan forvente at kunne eksportere olie fra Nordsøens undergrund frem til et sted mellem år 2023 og 2032.



Danmarks olie- og gasfelter i Nordsøen.
(Kilde: Energistyrelsen)

C1	Methan	CH_4
C2	Ethan	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$
C3	Propan	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
C4	Butan	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
C5	Pentan	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
C6	Hexan	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
C7	Heptan	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
C8	Octan	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
C9	Nonan	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
C10	Decan	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

Fossile brændsler består af forskellige længder af kulstofkæder.

Kulstof i olie og gas

Kulstofforbindelserne i organisk materiale, som dyr og planter, kan sættes sammen på mange forskellige måder og består også af mange andre stoffer end kulstof. Men når de udsættes for tryk og varme under dannelsen af olie og gas, ændrer de sig til kæder af kulstof (C) og brint (H). Kæderne kan have forskellige længder, og længden bestemmer, om der er tale om olie eller gas.

På figuren kan man se fossile brændsler, som består af forskellige længder af kulstofkæder. De får deres navne på græsk efter hvor mange kulstofkæder de består af, og sammen kaldes de også for *alkaner*. Jo længere kulstofkæder de består af, jo mere tyktflydende bliver de. Ved stuetemperatur og normalt tryk er de første fire molekyler på gasform, som f.eks. metan, der kun består af et enkelt kulstofatom. Sammenkædninger af mellem fem og fyrre kulstofatomer er flydende, og kaldes for olie. Jo flere kulstofbindinger, der er i molekylet, desto mere energi kan det indeholde.

Når det organiske materiale udsættes for tryk og varme, stiger koncentrationen af kulstof i molekylerne. Vi kan danne specielle alkaner, ved at efterligne naturens processer, og skabe gasser og olier til helt specielle formål, som f.eks. flybenzin eller diesel til dieselmotorer. Der kan f.eks. produceres dieselolie ud af råolie ved at destillere det (varme det op, og udskille bestemte dele af olien), så man ender med en olie, som består af molekyler med mellem otte og tyve kulstofbindinger. Dieseloliens egenskaber gør, at den er mere energieffektiv end almindelig benzin.

HVAD SKER DER, NÅR VI LØBER TØR FOR FOSSILE BRÆNDSLER?

Alle de fossile energikilder, som vi i dag får store dele af vores energi fra, stammer fra underjordiske lagre af kulstofforbindelser, der er blevet dannet over flere hundrede millioner år. I dag henter vi dem op og brænder dem af meget hurtigere, end de kan nå at blive dannet igen. Hvis vi bliver ved med at bruge dem, som vi gør nu, vil de altså til sidst slippe op.

Selvom vi bruger stadig flere fossile brændsler, så er de beviste globale oliereserver – altså den samlede mængde af olie, som vi ved findes på i undergrunden – faktisk steget siden 1980'erne. Det hænger sammen med, at man stadigvæk finder nye lagre af olie under jorden, og at man finder på nye måder at udvinde olien på. Der findes f.eks. store mængder olie under indlandsisen på Grønland, som man først kan få fat på, når indlandsisen er smeltet. Mange af reserverne bliver dog sværere og sværere at udvinde, og nogle af dem kan måske slet ikke udvindes. Andre oliereserver er så dyre at udvinde, at det slet ikke kan betale sig at udvinde dem. Prisen på olien vil simpelthen være for høj til, at man ville kunne sælge den. Selvom vi finder nye reserver, ændrer det ikke på, at vi bruger en energikilde, som vi på et tidspunkt løber tør for. Vi ved ikke med sikkerhed, hvornår vi har brugt de sidste fossile brændsler, men vi ved, at når vi har brugt dem, bliver vi nødt til at finde på nye måder at få energi på.



Der er olie gemt under den grønlandske indlandsis.

Det største problem ved afbrændingen af fossile brændsler er dog ikke, at vi løber tør for dem. Vores afbrænding af fossile brændsler udleder nemlig kulstof til atmosfæren, og meget tyder på, at det allerede er ved at ændre klimaet på Jorden. Og hvis vi bliver ved med at få vores energi fra fossile brændsler, vil det få konsekvenser for, hvordan vores tilværelse på Jorden vil se ud i fremtiden.

I næste kapitel bliver du klogere på, hvordan kulstoffet bevæger sig rundt på Jorden, og på hvordan vi mennesker påvirker kulstoffets kredsløb. Selvom vi bruger de fossile brændsler hurtigere, end de bliver dannet, er det nemlig ikke ensbetydende med, at kulstoffet forsvinder – det flytter sig bare fra et sted til et andet.

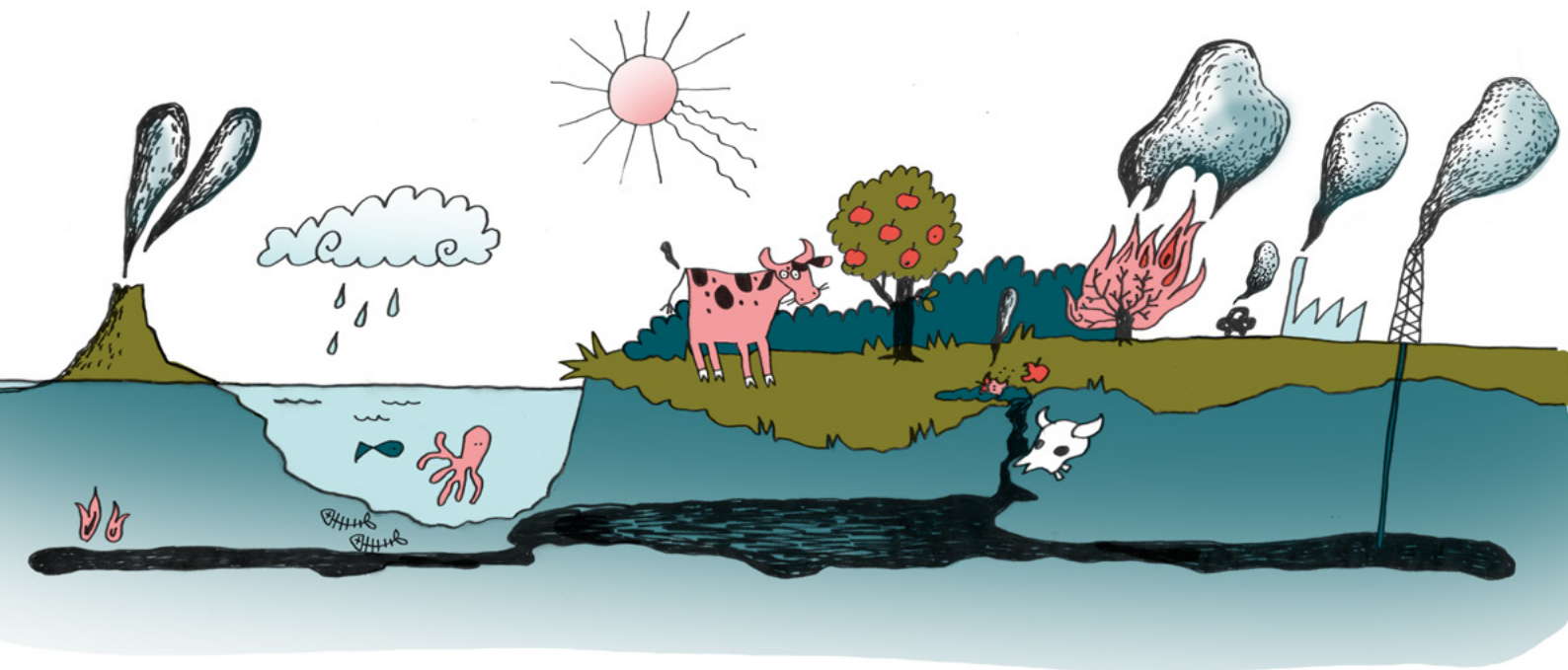
KAPITEL 2: KULSTOFKREDSLØBET

I DETTE KAPITEL LÆRER DU OM:

- Hvad kulstofkredsløbet er
- De forskellige sfærer, som kulstof bevæger sig mellem
- Hvordan kulstof bevæger sig rundt i det hurtige kulstofkredsløb
- Hvordan kulstof bevæger sig rundt i det langsomme kulstofkredsløb
- Menneskets påvirkning af kulstofkredsløbet
- Drivhuseffekt og klima
- CO₂-neutral energi

Kulstoffet bevæger sig rundt i et kredsløb på Jorden. Mængden af kulstof på Jorden er hele tiden den samme, men det kan være meget forskelligt, hvor kulstoffet findes henne. Sammen med kulstoffet bevæger der sig en masse energi, som undervejs frigives og bindes til kulstoffet.

Man kan altså forestille sig kulstofkredsløbet som et kæmpe transportbånd, der optager energi nogle steder og frigiver det andre steder. Kulstoffet bevæger sig rundt på Jorden. Undervejs indgår kulstofatomerne i forskellige molekyler, og frigiver og binder energi i sine bindinger med andre stoffer.



Kulstofets kredsløb på Jorden.

Når vi bruger kulstofforbindelserne til at skaffe os energi, så påvirker vi transporten af energi og naturen omkring os. For at forstå hvordan, må vi først se nærmere på, hvordan kulstoffet bevæger sig på Jorden. Bagerst i materialet kan du finde en oversigt over kulstofkredsløbet og de udvekslinger af kulstof og energi som finder sted i det. Man siger at kulstoffet findes i forskellige *sfærer*, alt efter hvor på Jorden, det findes:



Biosfæren: Alle levende organismer er opbygget af kulstof.



Lithosfæren: Det yderste lag af jordkloden (ca. 100-150 km tykt).



Hydrosfæren: Alt vand som findes på Jorden. Det gælder også vanddamp og is.



Atmosfæren: De luftgasser som omkranser Jorden. Atmosfæren består af en masse forskellige gasser, herunder ca. 0,04 % CO_2 .

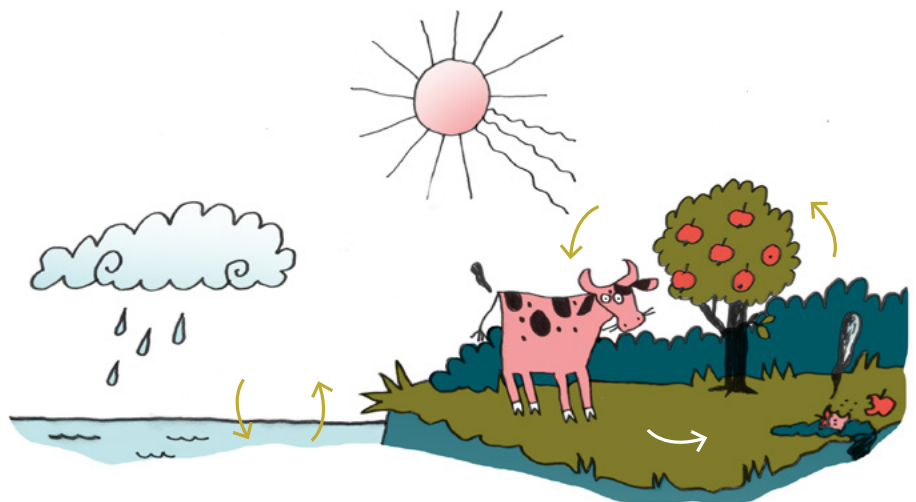
Når kulstoffet bevæger sig fra en sfære til den næste, sker der en *udveksling*. Men der er forskel på, hvor lang tid kulstoffet bliver i de forskellige sfærer. Nogle af processerne, som bestemmer, hvor kulstoffet befinder sig, går nemlig meget hurtigt, og andre går meget langsomt. Derfor siger man, at der findes et hurtigt og et langsomt kredsløb. Dem skal vi se lidt nærmere på i de næste afsnit.

CO₂ OG ENERGI

CO₂ er den forbindelse, som kulstof lettest kan indgå i – det er det, man kalder kulstoffets mest *stabile forbindelse*. Det kræver altså energi, at få kulstof til at ændre sig fra det stabile CO₂ og indgå i andre forbindelser. Derfor tager planterne energi fra Solen og bruger det til at bygge nye blade, stængler eller andet ud af kulstoffet og vandet.

DET HURTIGE KULSTOFKREDSLØB

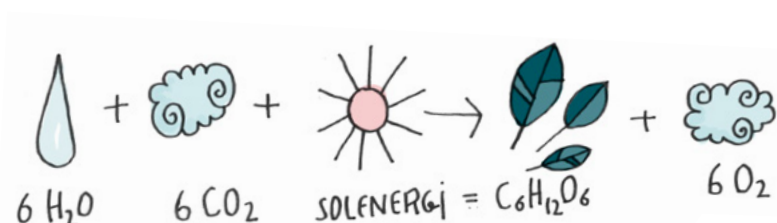
I det hurtige kulstofkredsløb bevæger kulstoffet sig hurtigt rundt imellem de forskellige sfærer. Her betyder "hurtigt" alt fra et par minutter til et par hundrede år. I det hurtige kulstofkredsløb, bevæger kulstoffet sig mellem **atmosfæren** (luften), **biosfæren** (dyr og planter) og **hydrosfæren** (havet, floder og søer).



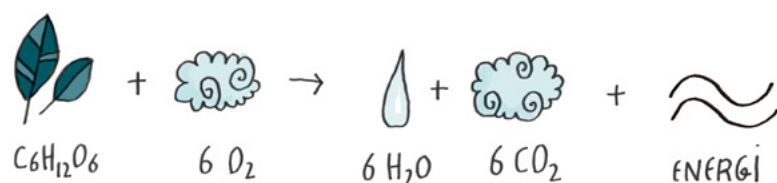
Kulstofs kredsløb mellem atmosfære og biosfære.

Fotosyntese og forbrænding

Under fotosyntesen optager planter (som vi har set i kapitel 1) kuldioxid (CO_2) fra atmosfæren og energi fra Solen, som de bruger til at vokse. I fotosyntesen bevæger kulstoffet sig altså fra **atmosfæren** til **biosfæren**, hvor det lagres, ved at blive til organisk materiale – altså en del af planterne. Samtidigt lagres Solens energi i bindingerne.



Når dyr eller bakterier spiser planterne, eller når vi brænder plantedelene af for at få energi, så sker der en **forbrænding**. Kulstofforbindelserne spaltes, og en del af den energi, som planterne fik fra Solen, frigives igen. I forbrændingen omdannes kulstoffet til CO_2 igen, og det drøner fra **biosfæren** og ud i **atmosfæren** igen. Her kan det igen blive optaget af planter og indgå i det korte kulstofkredsløb. På den måde kan kulstoffet altså cirkulere rundt igen og igen.



I forbrændingen bruges energien til at bygge nyt organisk materiale i dyret eller bakterien, og noget af energien frigives herefter igen, f.eks. som varme eller bevægelsesenergi.

Kulstofs bevægelse mellem luft og vand

I en anden del af det hurtige kulstofkredsløb bevæger kulstoffet sig imellem **atmosfæren** (luften) og **hydrosfæren** (havet, floder og søer). Noget af det kulstof, der findes som CO_2 i atmosfæren, bliver hele tiden opløst i det vand, som bevæger sig rundt på Jorden. Det gælder både for havet, floder og søer.

Når gassen CO_2 går i forbindelse med vandet, så bliver den til kulsyre (H_2CO_3). CO_2 er den gas, som får sodavand til at bruse. I en sodavand er der nemlig så meget kulsyre, at noget af den omdannes til CO_2 på gasform og stiger op som små bobler. I havet er koncentrationen af kulsyre meget mindre, og derfor kan man ikke se bobler af CO_2 , når kulstoffet bevæger sig fra hydrosfæren til atmosfæren. Fordi der findes så meget vand på Jorden (70 % af Jordens overflade er dækket af vand), er mængden af kulstof i hydrosfæren meget stor – det er faktisk den sfære, hvor der findes aller-mest kulstof.



Havet opsuger store mængder CO_2 .



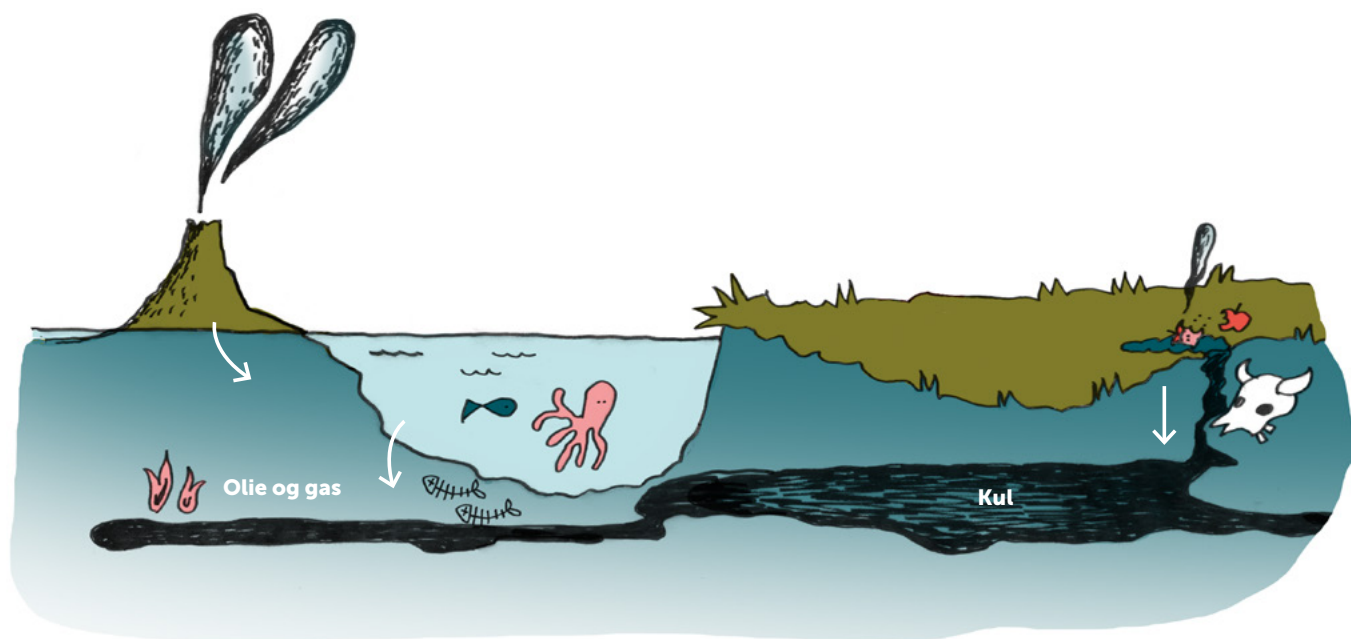
I en vulkan kan smeltede sten og brændende underjordiske lagre af kulstof sende CO₂ ud i atmosfæren.

DET LANGSOMME KULSTOFKREDSLØB

I det langsomme kulstofkredsløb bevæger kulstoffet sig imellem **biosfæren** (dyr, planter og bakterier) og **lithosfæren** (jorden), og mellem **hydrosfæren** (havet, floder og søer) og **lithosfæren**. Her kan kulstoffet blive liggende i samme sfære i mellem 100 og 200 millioner år, og udvekslingen mellem dem sker meget langsomt. Derfor siger man, at det er et langsomt kulstofkredsløb.

Fossilt kulstof og CO₂

Som vi så i kapitel 1, så er kul, olie og gas dannet over mange millioner år af døde planter og dyr. Det samme gør sig gældende på bunden af havet, hvor havdyr og plankton over mange millioner år bliver omdannet til olie og gas. Planternes og dyrenes kulstofforbindelser og den energi, som de holder på, bliver på den måde flyttet fra **biosfæren** (planter og dyr) til **lithosfæren**



Fossile brændsler indgår i det langsomme kulstofkredsløb.

Nogle af de fossile brændsler under jorden bliver brændt af i vulkaner. Når det sker, bliver kulstoffet forbrændt og bevæger sig fra **lithosfæren** tilbage til **atmosfæren** som CO₂. Når sten smelter i vulkaner, sker der en kemisk reaktion, og når magmaen størkner igen, sendes der også CO₂ ud i atmosfæren. Herfra kan det bevæge sig videre rundt i kulstofkredsløbet.

Noget af det kulstof, som de mikroskopiske fortidsdyr i havet bestod af, blev brugt til at danne deres skellet. Når dyrene døde, faldt deres skeletter ned til bunden af havet og blev med tiden presset sammen til kæmpe lag af kalksten. Noget af kulstoffet fra **biosfæren** (dyr og planter) blev altså gemt i **lithosfæren** (jorden) som sten. Når stenene efter millioner af år kommer op til overfladen, bliver de med tiden opløst. Nogle af kalkskeletterne bliver opløst, når der kommer vand på dem, og kulstoffet skylles fra **lithosfæren** til **hydrosfæren** (havet, floder og søer).

SKELETTERNE FORMER VORES UNDERGRUND

Under vores fødder findes en kirkegård, hvor milliarder af små havdyrs skeletter ligger begravet. Over millioner af år har Danmark nemlig ligget i et tropisk øhav, hvor mikroskopiske døde dyrs skeletter har lagt sig på havets bund. Dem ser man f.eks. på Møns Klint, hvor man bl.a. kan finde hajtænder i lagene af kalksten.

Møns klint rejser sig 128 meter over havets overflade.

SUMMEØVELSE

Sæt jer to og to og snak kort om, hvordan I indgår i kulstofkredsløbet.

Hvilken sfære er I en del af?

Indgår I i det korte kulstofkredsløb? I det lange kulstofkredsløb?

Hvilke af Jordens sfærer modtager I kulstof fra, og hvilke afsender I kulstof til?



BALANCEN I KULSTOFKREDSLØBET

Selvom kulstoffets bevægelse i det hurtige og det langsomme kulstofkredsløb sender kulstof rundt på Jorden med meget forskellig hastighed, så har der kun været små udsving i kulstofkredsløbet de sidste mange tusind år. Fra naturens side, får hver sfære nogenlunde lige så meget kulstof tilført, som den mister igen. Derfor siger man, at det naturlige kulstofkredsløb er i balance.



Vores energiforbrug påvirker kulstofkredsløbet.

Menneskets påvirkning af kulstofkredsløbet

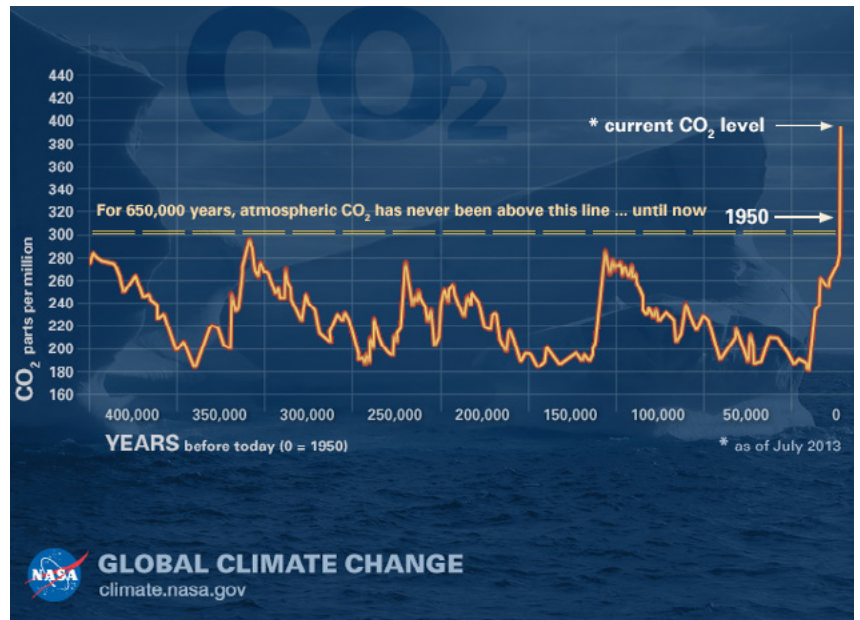
Forskere er kommet frem til, at der i nyere tid er kommet et stor stigning i kulstofindholdet i atmosfæren over tid, og at denne forskel skyldes menneskets udledning af CO_2 til atmosfæren. Når kulstofforbindelser bruges af mennesker til at få energi igennem biomasse fra **biosfæren** eller fossile brændsler fra **lithosfæren**, så udleder forbrændingen CO_2 til **atmosfæren**. Udledningen af CO_2 kan tydeligt ses på de målinger, som forskere har lavet. Inden for de sidste 100 år er CO_2 -koncentrationen i **atmosfæren** derfor meget højere, end man har målt før. Menneskets energiforbrug er altså begyndt at påvirke kulstofkredsløbet, så det ikke længere er i balance.

At kulstofkredsløbet skubbes ud af balance, kan man også se på, at der findes mindre og mindre kulstof i **lithosfæren** som kul, olie og gas. Det er nemlig blevet brugt til at skaffe energi igennem de sidste ca. 150 år. Det vil altså i fremtiden blive nødvendigt at finde andre måder at få energi, end fra lithosfærens fossile brændsler.

ISSØJLER AFSLØRER ATMOSFÆRENS KULSTOF- INDHOLD GENNEM TIDEN

For at lære mere om atmosfærens indhold af kulstof gennem tiden, har forskere brugt en masse forskellige målemetoder, for at finde frem til, hvor meget kulstof der var i atmosfæren før i tiden. En af målemetoderne er at grave ned igennem indlandsisen på Antarktis og i Grønland. Her er små luftbobler nemlig blevet fanget i isen de sidste mange tusind år. Isen har samlet sig i lag, år efter år, og ved at bevæge sig igennem lagene kan forskerne læse islagene som en bog. På den måde kan forskerne "bladre" op til 123.000 år tilbage i tiden og lære om fortidens atmosfære. Ved at måle på luftboblerne, har de kunnet finde frem til, hvor meget CO₂ der har været i atmosfæren gennem tiden.

Forskerne fandt frem til, at selvom der har været mere og mindre CO₂ i luften, har den altid holdt sig under et bestemt niveau – indtil nu. Det var først, da forskerne begyndte at sammenligne målingerne fra iskernerne med målinger fra atmosfæren i dag, at de så et kæmpe spring i CO₂-indholdet.



Atmosfærens kulstofindhold gennem tiden.

(Kilde: NASA, https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/)

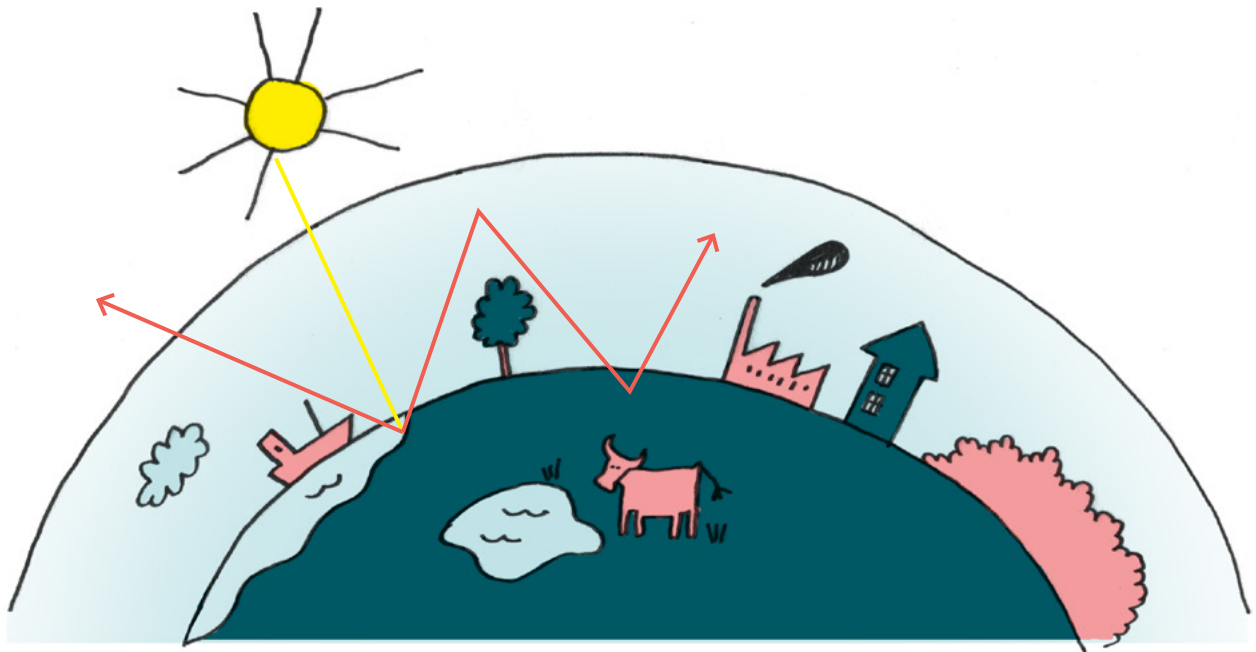
KULSTOF, DRIVHUSEFFEKT OG KLIMA

Et andet problem ved menneskets påvirkning af kulstofkredsløbet er, at det kulstof vi leder ud i atmosfæren som CO₂ er med til at påvirke, hvor varmt der er på Jorden. CO₂ er nemlig en såkaldt drivhusgas, der holder Solens varme på Jorden. Drivhusgasserne fungerer på samme måde som et drivhus, hvor glasset tilbageholder Solens varme. Når Solens stråler rammer Jorden, reflekteres nogle af strålerne tilbage væk fra Jorden. Men drivhusgasserne, og dermed også CO₂, sender de infrarøde varmestråler tilbage til Jorden igen.

Uden drivhusgasser i atmosfæren ville temperaturen på Jorden i gennemsnit være omkring -18 °C. Dermed ville alt vand fryse til is, og det ville ikke være muligt at bo på Jorden. Vi kan altså ikke leve uden drivhusgasser i atmosfæren.

Men når der ledes mere CO₂ ud i atmosfæren holdes der også på flere af Solens stråler, og derfor bliver det varmere på Jorden. Når vi får vores energi fra at afbrænde kulstofforbindelser, er vi altså med til at varme Jordens overflade op, og det er en medvirkende årsag til at vores klima forandrer sig.

Siden 1880 er Jordens gennemsnitlige temperatur steget med 1 grad (i 2016). Selvom det ikke lyder af meget, har det store konsekvenser for vores klima. Allerede nu ser forskere, at klimaet er ved at forandre sig: Havis og gletsjere smelter, vandstanden stiger i havene, og der kommer længere, mere intense hedebølger. Alt efter hvor mange drivhusgasser vi udleder til atmosfæren, tyder meget på, at det kun vil blive voldsommere i fremtiden.



For mange drivhusgasser i atmosfæren giver højere temperaturer på Jorden.

JORDEN SOM EN KÆMPE SNEBOLD

Nogle forskere mener, at det ikke er første gang, at atmosfærens sammensætning har ændret klimaet på Jorden. For ca. 700 millioner år siden var der nemlig en anden forskydning i kulstofkredsløbet, som gjorde, at klimaet blev skubbet ud af balance. Imellem Jordens kontinenter blev en masse sten nedbrudt. Det satte gang i en kemisk reaktion som gjorde, at kulstof bevægede sig fra **atmosfæren** til **lithosfæren**.

Faktisk blev der optaget så meget CO₂, at drivhuseffekten ikke kunne holde på Jordens varme. Det betød, at der opstod en kæmpe istid, hvor isen spredte sig fra polerne til ækvator. Jorden blev dækket af sne og is og kom til at ligne en kæmpe snebold.



For 700 millioner år siden blev Jorden omdannet til en kæmpe snebold.

SUMMEØVELSE

Hvad er konsekvenserne egentlig af klimaforandringer?

Gå på opdagelse på internettet, f.eks. på www.sustainable.dk eller

<http://climate.nasa.gov/> og fremlæg kort for hinanden, hvordan klimaforandringerne påvirker os globalt og nationalt i Danmark.

Hvordan hænger det sammen med vores energiforbrug?

Drivhusgasser

Drivhusgasserne dækker over gasser, der reflekterer varmestråling, men lader lysstråler passere forbi. Derfor kan Solens lysstråler komme ned på Jorden, men varmestrålerne bliver holdt tilbage. CO₂ er den drivhusgas, som mennesker leder mest af ud i atmosfæren – indholdet i atmosfæren var på omkring 400 ppm (milliontedele) i 2015. Men det er ikke den eneste drivhusgas, der findes. Af andre drivhusgasser kan nævnes:

- H₂O (vanddamp) Ca. 4000 ppm
- CH₄ (metan) Ca. 1,8 ppm
- N₂O (lattergas) Ca. 0,32 ppm

De andre drivhusgasser har også stor indflydelse på drivhuseffekten på Jorden. Ét molekyle metan har faktisk en ca. 20 gange kraftigere drivhuseffekt end et molekyle CO₂.

Lattergas kan også volde problemer, fordi den bliver meget længe i atmosfæren – helt op til 120 år.

Vanddamp står for omkring 60 % af den samlede drivhuseffekt, hvor CO₂ står for omkring 30 % – men mængden af vanddamp påvirkes ikke direkte af menneskers adfærd.

CO₂-NEUTRAL ENERGI FRA KULSTOFFORBINDELSER

Som vi har set, kan vores forbrug af energi fra kulstofforbindelser let komme til at skubbe kulstofkredsløbet ud af balance og forårsage klimaforandringer. Det skyldes, at kulstofkredsløbets processer ikke kan følge med vores udledning af CO₂. Vi sender kulstof ud i atmosfæren hurtigere, end den kan nå at blive optaget og fordelt til andre sfærer i kredsløbet. For at kulstoffet fra fossile energikilder kan blive optaget i **lithosfæren** igen, skal det gennem det langsomme kulstofkredsløb. Det kan tage mange millioner år for kulstoffet at blive lagret igen som fossile brændsler eller kalkskeletter. Det langsomme kulstofkredsløb er simpelthen for langsomt til at kunne nå at optage så store mængder CO₂ på så kort tid.



Vi skal plante lige så mange træer som vi afbrænder, hvis brugen af biomasse skal være CO₂-neutral.

For at vores energiforsyning ikke skal skubbe kulstofkredsløbet ud af balance, skal vi altså have et *CO₂-neutralt energiforbrug*. For at energiforbruget kan være CO₂-neutralt, skal der optages lige så meget CO₂ fra atmosfæren, som der udledes til atmosfæren. I det hurtige kulstofkredsløb kan kulstof fra atmosfæren optages meget hurtigt i biosfæren.

Når biomassen dannes – f.eks. når et træ plantes og vokser – så optager det kulstof fra atmosfæren, som hermed lagres i biosfæren. Når træet afbrændes, frigives den optagede CO₂ til atmosfæren igen. Hvis der plantes lige så meget organisk materiale, som der afbrændes, vil det altså være CO₂-neutralt at bruge biomasse som energikilde.

Bæredygtig biomasse

Selvom biomasse optager CO₂ fra atmosfæren, når det vokser, og derfor anses for at være en CO₂-neutral energikilde, så er regnestykket ikke helt så ligetil. For brugen af biomasse til energi kan påvirke naturen, klimaet og menneskers levevilkår på flere forskellige måder.

Først og fremmest skal biomassen komme fra områder, som genplanteres med nye træer, for at biomassen kan siges at være CO₂-neutral. Bliver der ikke givet lang nok tid til, at træerne kan vokse op igen, eller fælder man for store områder på én gang, kan det også gå ud over dyr og planter, som ellers lever i skovområderne.

Biomasseproduktion kan også påvirke folks levevilkår i fattigere lande. Hvis der pludselig opstår et behov for store mængder biomasse til energiproduktion, kan efterspørgslen og prisen nemlig stige. Det kan få bønder fra fattigere lande til at dyrke biomasse, i stedet for mad, med henblik på at tjene penge. Hvis det sker, kan det ende med, at der ikke dyrkes nok fødevarer, eller at man rydder ny skov for at få jord til at dyrke fødevarer på.

For at sikre, at biomassen, som bruges til energiproduktion, ikke påvirker miljøet for meget, har man i Danmark lavet en frivillig aftale med de selskaber, som bruger biomasse til at producere energi. Ifølge aftalen skal al



Bæredygtig biomasse er ikke så ligetil, som man måske skulle tro.

biomasse, som bruges til at producere energi, være bæredygtigt.

Aftalen går ud på:

- at man skal kunne sikre, at biomassen kommer fra bæredygtige skovbrug
- at der plantes træer igen, når skoven fældes
- at økosystemerne i skovene belastes så lidt som muligt.

Desuden er prisen på biomasse fastsat, så det bedre kan betale sig at bruge det gode træ til at lave byggematerialer, og man kun laver biomasse ud af mindre grene og restmaterialer. Det gør, at biomasseproduktionen bliver mere effektiv.

KAPITEL 3: VEDVARENDE ENERGI

I DETTE KAPITEL LÆRER DU OM:

- Hvad en vedvarende energikilde er
- Hvordan vedvarende energikilder kan udnyttes til at skabe energi
- Hvilke vedvarende energiteknologier der findes
- Hvordan fremtidens vedvarende energisystem kan komme til at se ud

Som vi tidligere har set, så kan vi ikke blive ved med at få energi fra fossile brændsler i fremtiden. De fossile brændsler dannes over så lang tid, at der til sidst ikke vil være flere tilbage. Udladningen af CO_2 til atmosfæren er desuden med til at påvirke kulstofkredsløbet og fører til klimaforandringer.

Vedvarende energikilder er kilder til energi, som ikke udgør en begrænset ressource, og som vi kan blive ved med at bruge i fremtiden. Der kan godt være grænser for, hvor meget energi vi kan få fra energikilderne lige nu, men man skal kunne blive ved med at bruge dem i en overskuelig fremtid for at kunne kalde dem vedvarende. Man siger, at de skal kunne gendannes inden for en menneskelig tidsskala. Det betyder, at man ikke skal kunne bruge dem op, og at man ikke må ødelægge det grundlag, som er med til at skabe energikilden, når man bruger dem.

Der findes en lang række forskellige kilder til energi, som er vedvarende, men de mest anvendte er:



Biomasse

Vindenergi

Solenergi

Vandenergi

Jordenergi

Selvom de fleste af disse energikilder ikke får energi fra kulstofforbindelser, så kalder man dem stadig for CO_2 -neutrale, da de ikke påvirker kulstofkredsløbet, når de producerer energi.

VEDVARENDE ENERGI STAMMER FRA SOLEN, MÅNEN OG JORDENS INDRE

De fleste vedvarende energikilder stammer direkte eller indirekte fra Solen. Vindenergi kommer f.eks. fra luftens bevægelse, som forekommer, fordi Solen varmer luft op og sætter den i bevægelse. Det samme sker, når Solens energi varmer vand op, får den til at fordampe og strømme rundt på Jorden. Her kan både luftens og vandets bevægelsesenergi bruges til at lave elektricitet. Solens energi lagres også i biomasse igennem fotosyntese, der kan udnyttes i energiproduktion.

Men enkelte vedvarende energikilder kommer også fra varmen i Jordens indre eller Månens bevægelse om Jorden. I Jordens kerne er der nemlig mellem 5000 og 7000 C° varmt, og selvom der ikke er nær så varmt tæt på overfladen, kan noget af energien udnyttes.

Når Månen bevæger sig over himlen påvirker dens tyngdefelt bevægelserne i det vand, der er på Jorden. Det skaber tidevandsbølger, som kan ses ved, at vandet står højere og lavere langs kysten på forskellige tidspunkter af døgnet. Tidevandsbevægelsen flytter så meget vand, at det også kan bruges til at skabe vedvarende vandenergi.

Ved fuldmåne og nymåne opstår den kraftigste tidevandsflod, kaldet *springflod*. På den måde kan himmellegemernes bevægelse altså også være med til at generere vedvarende energi.



SUMMEØVELSE

Sæt jer i grupper, undersøg på nettet og diskutér, om atomkraft kan siges at være en vedvarende energikilde? Kan man blive ved med at bruge den i fremtiden? Og er den CO₂-neutral?



Bæredygtig biomasse er ikke så ligetil, som man måske skulle tro.

BIOBRÆNDSEL FRA BIOMASSE

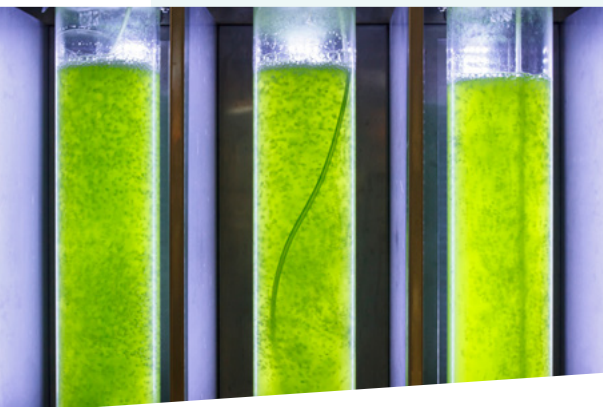
Som vi har set tidligere, så kan biomasse fungere som en vedvarende energikilde, hvis vi sørger for, at der optages lige så meget CO₂ fra ny biomasse, som der frigives, når den afbrændes. En ny, populær metode til CO₂-neutral energi, er, at lave biobrændsel fra biomasse. Biobrændsel er brændsel, som produceres af nutidigt organisk materiale. Det er ikke nogen ny opfindelse, men den har længe været for dyr at bruge, til at den rigtig har kunnet udbredes. Det er først med ny teknologi, at det begynder at kunne betale sig at lave biobrændsel fra biomasse.

Det smarte ved at omdanne biomasse til biobrændsel er, at nogle former for biobrændsel kan bruges i forbrændingsmotorer. De fleste forbrændingsmotorer skal nemlig bruge flydende brændsel for at køre, og nogle former for biomasse kan på forskellige måder omdannes til et flydende brændsel. På den måde kan man bruge biobrændsel i motorer, som sidder i biler, fly eller skibe.

ALGER BLIVER TIL BIOBRÆNDSEL

Der findes flere forskellige måder at lave andengenerationsbiobrændsel på. Forskere arbejder f.eks. med at lave algeanlæg, hvor der kan udvindes biobrændsel af mikroskopiske havplanter. Havalger kan dyrkes til at optage CO₂ fra atmosfæren eller fra røgen fra forbrændingsanlæg, og omdanne det til biobrændsel. På den måde kan alger siges at være CO₂-neutrale. Alger er meget olieholdige, og olien kan udvindes med enzymer og raffineres, så den kan bruges som biobrændsel.

Alger er desuden rige på protein, som kan bruges til fiskefoder – på den måde kan man få flere penge ud af processen, og biobrændslet bliver dermed billigere.



Biobrændsel fra alger er et godt alternativ til fossile brændsler.

Første og anden generation af biobrændsel

Man har i lang tid brugt korn eller frugt til at producere biobrændsel. Det har man, fordi korn og frugt har et højt indhold af sukker, som let kan omdannes til biobrændsel. Men nogle steder har det også skabt mangel på mad, fordi fødevarerne blev brugt til at lave brændsel i stedet for at blive spist. Derfor er forskerne i gang med at udvikle det, de kalder, anden generation af biobrændsel: biobrændsel af materialer, som er billigere, og som ikke er spiselige. Man arbejder f.eks. på at bruge spildprodukter fra fødevarereproduktionen (f.eks. halm og fibre) eller tang til at lave biobrændsel med. På den måde behøver man ikke anlægge marker, som kan bruges til at dyrke fødevarer, til at producere brændsel.

Bioethanol: fra første til anden generation

Bioethanol er et alkohol, ligesom det der findes i vin, øl eller sprit. I stedet for at drikke bioethanolen har man brugt det som brændsel i specielle brændselsmotorer. Bioethanol bliver dannet, når man gærer sukker fra biomasse.

Energien fra de nye typer biomasse har før i tiden været meget svær at lave bioethanol fra, fordi man har haft svært ved at nedbryde kulstofforbindelserne. Men for nyligt har man fundet ud af, at man først skal have nogle enzymer, der kan lave biomassen om til glukose (sukker). Her kan man f.eks. bruge enzymet cellulase, som laves af bakterier, der findes i køers maver. Når biomassen er lavet om til sukker, kan den gæres af gærbakterier, der omdanner den til brændbar alkohol.

Biobrændsel i Danmark

I Danmark er det i dag lovpligtigt at blande 5,75 % bioethanol i den benzin og diesel, som sælges til transport på land. Indtil videre er det mest første generation af biobrændsel, som bruges, fordi udviklingen med anden generations-biobrændsel stadig ikke er kommet så langt. Men i fremtiden kan det komme til at ændre sig i takt med, at forskerne når videre med at gøre anden generation af biobrændsel billigere at producere.

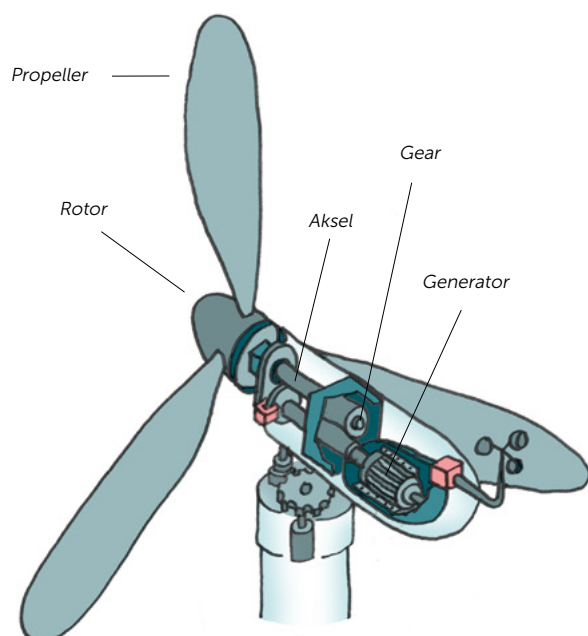


Bakterier i køers mave kan bruges i produktionen af ethanol.

VINDENERGI FRA VINDMØLLER

Vindenergi udnytter luftstrømme til at omdanne bevægelsesenergi til elektrisk energi, som kan bruges i el-nettet. Det kan man blive ved med, så længe det blæser, og derfor ses vindenergi som en vedvarende energikilde.

Vindmøller virker ved, at vinden blæser på en **propeller** (vingerne), som sættes i bevægelse, og som trækker en **rotor**. Rotoren sidder på en **aksel**, der via et **gear** drejer en **generator**.



Principtegning af en vindmølles funktion.

Formen på vindmøllens vinger er vigtig for at få vingen til at dreje rundt. Man kan let tro, at vinden skubber vindmøllevingen til at rotere, men faktisk fungerer moderne vindmøller ved at skabe trykforskel og opdrift i vingen – på samme måde som en flyvemaskinevinge. Ved at skabe undertryk på den ene side af vingen og overtryk på den anden side, så "suges" vingen mod undertrykket og drejer derfor rundt. På den måde udnyttes vindens bevægelser mest effektivt. Vinden skal stå lige på møllen, for at få den til at dreje rundt, og derfor tilpasser møllen sig hele tiden vindens retning ved hjælp af små motorer.

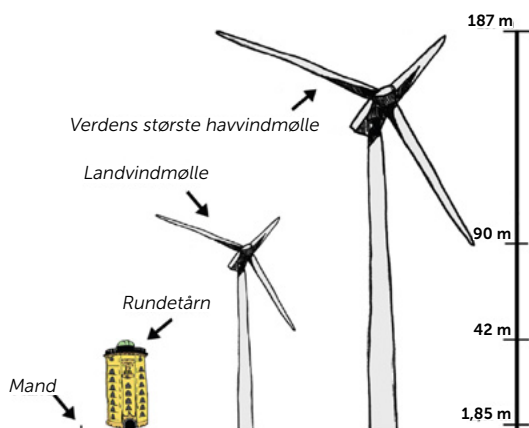
Vingernes rotation får en generator til at dreje rundt, som omdanner bevægelsesenergien til elektrisk energi igennem *elektromagnetisk induktion*. Vindmøllen producerer vekselstrøm, som skal transformeres, inden det kan ledes ud i højspændingsnettet.

Vindenergi i Danmark

Danmark ses som et pionerland inden for vindenergi. Vi har en lang tradition for at udvikle vindenergi, som går helt tilbage til 1891, hvor den danske forsker Poul LaCour begyndte at udvikle vindmøller, der genererede elektricitet på en lille højskole i Askov. I 1970'erne satte Danmark de første

HVOR STORE ER VINDMØLLERNE I DANMARK?

De vindmøller, der opsættes på land i Danmark i dag, har et tårn på ca. 90 m og deres rotorblade har en diameter på ca. 120 m. Havvindmøller er noget større end landmøllerne, deres tårn er ca. 105 m højt og rotordiameteren er omkring 165 m.



Forskellige vindmøllestørrelser.

landvindmøller op, som blev koblet til det danske elnet, og Danmark blev i 1991 det første land i verden med en havvindmøllepark.

Danmark og de danske virksomheder er i dag blandt de førende i verden, når det gælder udvikling, produktion og opstilling af vindmøller, og vi eksporterer vindmøller til hele verden. I 2016 kom 42 % af Danmarks elproduktion fra vindenergi.

I Danmark blæser det forholdsvis meget mange steder, bl.a. langs med hele Jyllands vestkyst, og derfor er Danmark et godt sted til opsætning af vindmøller. Vindmøller i Danmark kan producere el de fleste af årets timer. Hvor meget el hver enkelt mølle producerer, afhænger selvfølgelig af, hvor de står, og hvor meget det blæser. I Danmark producerer landvindmøller årligt op til 3.100 fuldlasttimer og havvindmøller op til 4.400 fuldlasttimer årligt. En fuldlasttime er den energi, som en vindmølle maksimalt kan producere på én time (året har 8760 timer i alt).



Danmark var det første land i verden, der åbnede en havvindmøllepark i 1991. Her er det Anholt Havvindmøllepark, der blev opført i 2013, og som med sine 113 havvindmøller kan producere 400 megawatt el. Det svarer til, at den kan dække 4 % af Danmarks samlede forbrug af el.

(Foto: Ørsted A/S)

SOLENERGI

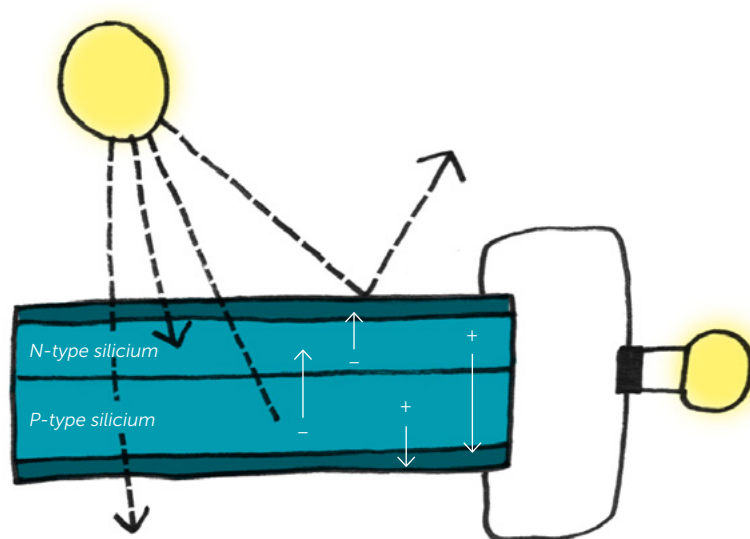
Solens energi kan udnyttes på mange forskellige måder, og som vi har set, så kommer størstedelen af vores energi fra Solen. Hvis Solens strålingsenergi skal bruges direkte som vedvarende energikilde, kan man enten bruge den til at producere *solvarme* eller *solelektricitet*.



Silicium er et af de grundstoffer, som Jorden er rigest på.

Solceller – elektricitet direkte fra Solen

Solceller kan bruges til at producere elektricitet direkte fra Solens lysenergi. Solens stråling er små "energipakker", som kaldes *fotoner*. Fotonerne kommer fra Solen og bærer energi med sig. Solceller er lavet af grundstoffet silicium. I silicium-atomerne sidder elektronerne "løst", og når de rammes af fotonerne fra Solen, bliver de slået løs og erstattes med energien fra Solen. Det kan sammenlignes med energien, som overføres fra en billardkugle til den næste, når de støder sammen.



Energiproduktionen i en solcelle.

Men det er ikke nok, at elektronerne slås løs. De skal også bevæge sig i den rigtige retning, for at man kan bruge energien til noget. Derfor blander man andre grundstoffer sammen med silicium-atomerne, så man får to slags silicium: **N-type-silicium**, som har elektroner tilovers og **P-type-silicium**, som mangler elektroner. Denne uligevægt gør, at elektronerne fra Solen bevæger sig fra N-siliciummet til P-siliciummet inde i solcellen. Solcellen får derved en positiv og negativt ladet side, ligesom et batteri, og der skabes en elektrisk strøm i cellen, som kan bruges til at producere elektricitet. På den måde laver solceller jævnstrøm, som kan omdannes til vekselstrøm ved hjælp af en omformer. Omformningen til vekselstrøm er en forudsætning for, at strømmen kan sendes ud på det danske elnet.

Almindelige solceller kan omdanne 9-15 % af sollysets energi til el, mens de nyeste og bedste typer kan udnytte op til 20 % af den indstrålede energi.

Solceller i Danmark

I Danmark placeres solcelleanlæg typisk på tage eller på Jorden. Størrelsen for et solcelleanlæg på et enfamiliehus er typisk mellem 25-40 m², mens de store anlæg, der installeres på jorden kan være 20.000-50.000 m².

Solcellepaneler opsat i Danmark producerer hvert år energi svarende til, at de producerer maksimalt i ca. 950 timer om året (året har 8760 timer). De producerer mest energi fra april til august og kun i de lyse timer. Hvor meget energi, solcellerne producerer, afhænger bl.a. af, hvordan de er placeret i forhold til Solen.

I Danmark skal orienteringen være mellem sydøst og sydvest og hældningen i forhold til vandret mellem 15 % og 45 %.

Den årlige elproduktion afhænger også af, hvor på jordkloden solcellerne placeres. F.eks. vil den årlige elproduktion i landene omkring Middelhavet være betydelig større, fordi antallet af årlige solskinstimer er betydelig større i disse områder



Solceller installeret på tag.

Varmeenergi fra Solens lys

Solvarme udnytter, at Solens stråler kan absorberes og omdannes til varme. Det sker bedst, når Solens stråler rammer en mørk overflade. Det er det, man kan mærke, når man har en sort trøje på, på en solskinsdag – trøjen bliver hurtigt varm, fordi den absorberer Solens stråling. Solvarme kan bruges i både store og små anlæg til at varme huse op.

Koncentreret solkraft

Ved at koncentrere Solens stråler kan man bruge solvarme til at opnå meget høje temperaturer. Koncentreret solkraft – også kaldet CSP (forkortelse for *Concentrated Solar Power*) – bruger spejle til at koncentrere Solens varmestråler ind imod en modtager. Spejlene kan bevæges, så de hele tiden vender direkte mod Solen. I modtageren koncentrerer Solens varmestråler og varmer modtageren op til meget høje temperaturer. Varmen bruges til



U-formede spejle sender solstrålerne mod et oliefyldt rør.



Flade spejle sender Solens stråler op imod et tårn fyldt med salt.

at producere damp, der f.eks. kan drive en dampturbine. Dampturbinen kan så producere elektricitet på samme måde som generatoren i et kraftvarmeværk, en vindmølle eller en vandmølle. CSP er i dag mest relevant under solrige himmelstrøg og der er brug for store arealer. Derfor er anlæggene i dag bl.a. sat op i ørkenområder. Verdens største CSP-anlæg ligger i den amerikanske Mojave-ørken. Dette anlæg alene kan forsyne 140.000 husstande med strøm.

CSP-anlæggene fungerer på flere forskellige måder. Nogle systemer bruger U-formede spejle, der sender Solens stråler ind imod et oliefyldt rør, der er placeret i brændpunktet langs spejlets centrum. Olien opvarmes til høje temperaturer – op til ca. 400 °C. Den varme olie anvendes til at opvarme vand, der bliver til vanddamp og driver en generator, ligesom i et kraftvarmeværk.

En anden type CSP-anlæg anvender en masse flade spejle, der sender Solens stråler op imod en modtager i et tårn over jorden. Her opvarmer de koncentrerede solstråler en væske, f.eks. flydende salt, der kan holde på rigtig meget varme. Saltet bliver mellem 400 og 1000 C°, og den varme væske anvendes på samme måde som olien i eksemplet ovenover til at generere strøm.

Smeltet salt er effektivt til at holde på varmen, så solenergien kan opbevares i flere dage, før den omdannes til elektricitet. På den måde kan man få en stabil elproduktion, både om dagen og om natten, og når Solen ikke skinner.



Solvarmeanlæg ligner solceller en del, men her løber der varmt vand inde bag den mørke plade.

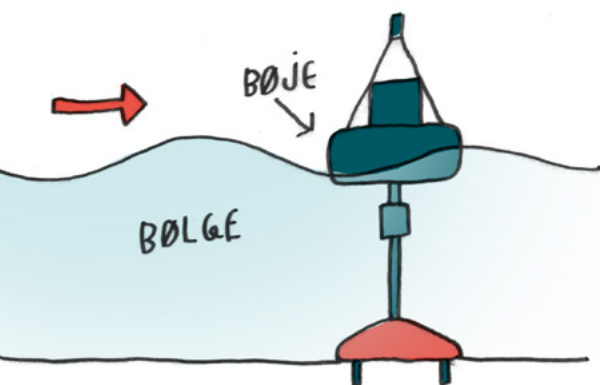
Solvarme i Danmark

Solvarme har størst potentiale i lande med større solindstråling og højere temperaturer end Danmark. Solvarme kan dog benyttes i mindre skala i Danmark, og mange husstande har små solvarmeanlæg på tagene, som de bruger til at få varmt vand fra. Der findes også nogle mindre CSP-anlæg i Danmark, som både bidrager med varme til fjernvarme og til elproduktion. CSP-anlægget i Brønderslev kan f.eks. opnå temperaturer på 320 C°.

BØLGEENERGI – FREMTIDENS VEDVARENDE ENERGIKILDE?

De fleste har nok prøvet at være ude og svømme i blæsevej og mærke de enorme kræfter, der er i bølger. Bølgerne opstår, fordi vinden blæser over havet, og skubber til vandet, så der kommer krusninger på overfladen, og blæser det meget, kan der overføres meget bevægelsesenergi til havet. Disse kræfter kan udnyttes til energiproduktion.

Man kan udnytte bølgenes energi ved hjælp af store anlæg i havet, der via turbiner driver en generator. Det er dog ikke så simpelt, som man kunne ønske sig. Anlæggene skal være enormt robuste, for at kunne holde til vind og vejr, og der er stadig mange usikkerheder forbundet med produktion af bølgeenergi. Der forskes stadigvæk i bølgeenergi i Danmark, men teknologien er endnu ikke så udbredt, som vindmøller eller solceller.



Der er meget energi i bølgenes bevægelser. Bølgenes energi kan udnyttes med et bølgekraftværk.

VANDENERGI

På samme måde som man kan bruge luftens bevægelser til at udvinde energi, kan man også bruge vandets bevægelser. Vandenergiproduktion udnytter nemlig den kinetiske energi (bevægelsesenergien) i vand og omsætter den til elektrisk energi. Det gælder både, når vand bevæger sig i havet, og når det løber igennem vandløb på jordoverfladen.

Vandkraftværker – vandets bevægelse drives af Solen

Vandkraftværker udnytter energien fra vand, der løber på jordoverfladen. Vand, der løber på overfladen, får sin bevægelsesenergi, når den bevæger sig fra et højt punkt til et lavere punkt. Her får tyngdekraften vandet til at løbe nedad på Jorden. Den beliggenhedsenergi, som vandet rummer, kan omdannes til bevægelsesenergi, som kan omdannes til elektricitet ved hjælp af vandmøller eller vandkraftværker.

Vandkraftværker

I vandkraftværker kan vandets bevægelsesenergi omsættes til elektrisk energi. I floder opdæmmes vandet med dæmninger, så der dannes en sø på den ene side. Ved at opdæmme vandet sikrer man, at vandkraftværket kan levere energi, også når der i tørrere perioder ikke løber så meget vand i floden.

For at vandet kan komme forbi dæmningen, skal det igennem små huller i bunden, hvor der er installeret turbiner. Turbinerne drejer rundt, når vandet passerer, og får en generator til at omdanne bevægelsesenergien til elektricitet – præcis som i en vindmølle. Når vandkraftværket først er bygget, er energien, som produceres, meget billig. Derfor er det en populær vedvarende energiteknologi i lande med store floder, som Kina, Brasilien, USA og Norge.



Vandet føres gennem små huller, hvor turbiner driver en generator, der laver elektricitet.

Vandenergi i Danmark

I Danmark er potentialet for vandkraftværker ikke specielt stort. Da Danmark er så fladt et land, har vi ingen store floder, og der kan sjældent udvindes nok energi fra vandet til, at det kan betale sig. Omkring 0,1 % af den danske elproduktion kommer fra danske vandkraftværker.

Bølgeenergi har derimod større potentiale i Danmark, fordi vi har så meget kystlinje og områder med store bølger, især på den jyske vestkyst. Teknologien er dog ikke udviklet nok til, at den for alvor kan blive brugt i kommerciel energiproduktion.

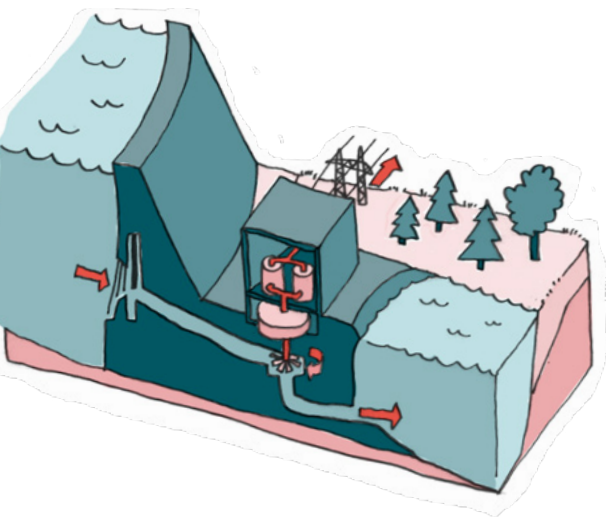


Illustration af et geotermisk anlæg.

GEOTERMI

Geotermi kan udnytte energien fra Jordens indre til at producere varme eller elektricitet. Omkring 99 % af Jordens samlede volumen er over 1000 C° varmt. Det er faktisk kun den ydre skal – skorpen, som den kaldes – der er kold. Den varme, som findes i Jordens indre, stammer fra Jordens dannelse og fra radioaktive henfald inde i Jordens kerne.

Når vi udnytter varmen fra Jordens indre, bruger vi energi, som under alle omstændigheder ville blive frigivet. Desuden vil Jordens indre blive ved med at være varmt så langt ud i fremtiden, at vi kan kalde det for en vedvarende energikilde. I jordlagene i skorpen findes varmt saltholdigt vand, som man kan pumpe op og indvinde varmeenergien fra. Nogle steder er der ikke nok vand til stede naturligt, og man kan i stedet lade overfladevand blive opvarmet i undergrunden.

Geotermiske anlæg

Geotermiske anlæg kan bruge Jordens varme til at producere varme og eventuelt elektricitet. For at indvinde energi fra Jorden må man bore dybt ned i Jorden.



Geotermisk anlæg på Island.

Nogle steder på Jorden, eksempelvis på Island, er der ikke specielt langt ned til den underjordiske magma, og derfor kan man pumpe vand ned i de overliggende stenlag og få varm damp retur. Den varme damp kan bruges til at drive dampturbiner, som laver elektricitet, på samme måde som i et kraftvarmeværk.

På Island kommer omkring 66 % af al elektricitet fra geotermiske anlæg og næsten al deres varmebehov er dækket af geotermisk energi. Andre steder kan man ikke bore dybt nok ned til, at man kan få damp op. Der kan man bruge det varme vand til at varme huse op ved at overføre varmeenergien til fjernvarmesystemet med en varmeveksler.

Geotermi i Danmark

I Danmark har man analyseret undergrunden og fundet frem til, at der findes mange områder, hvor der kan indvindes geotermisk varme. I den danske undergrund stiger temperaturen med ca. 25-30 C° for hver kilometer man borer ned i undergrunden, og analyser viser, at man teoretisk

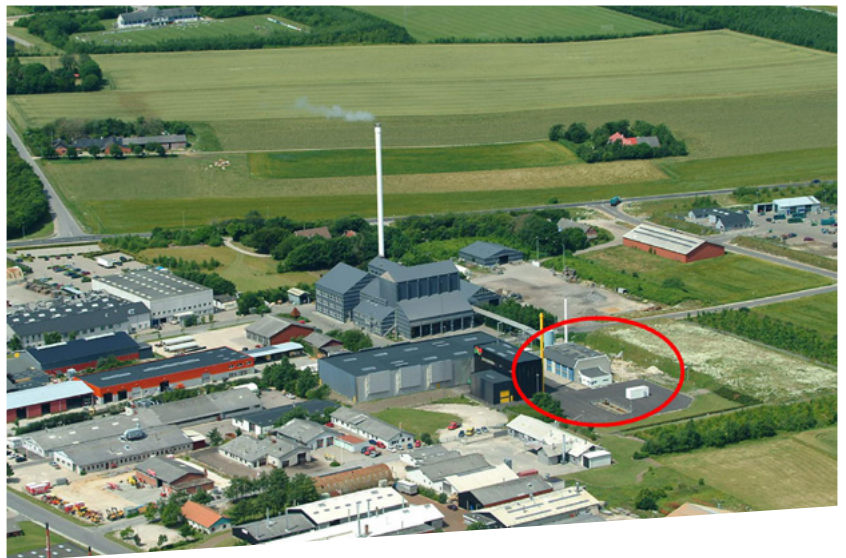
GEOTERMISKE ENERGIRESERVER

Alene i de geotermiske reservoirer, som ligger under Sjælland, er der estimeret energireserver på 60.000 PJ (petajoule) energi! Det er cirka lige så meget energi, som der findes i 285 af verdens kraftigste atombomber. Omkring København ville man, teoretisk set, kunne dække 30-50 % af områdets energibehov i flere tusinde år.

kunne dække Danmarks samlede varmebehov, hvis man kunne udnytte al den geotermiske varme i undergrunden.

Men det kan også være meget kompliceret at udnytte energien. Man skal lave mange undersøgelser og borer i undergrunden, og det er svært at vide præcist, hvor de geotermiske reservoirer er bedst tilgængelige. Omkring Viborg har man forsøgt at etablere et geotermisk anlæg ad flere omgange uden held. Omvendt har man i Thisted haft et fungerende anlæg i mange år, som man nu planlægger at udvide.

I dag findes der tre geotermiske anlæg i Danmark: ét i Thisted, ét på Amager og ét i Sønderborg. Det værk, hvor der er boret dybest ned i undergrunden, ligger på Amager, hvor man fra en dybde på 2,6 km henter vand op på 73 C°. Varmen bliver ledt ud i fjernvarmenettet, hvor det bruges til at varme husstande op. Dette demonstrationsanlæg producerer årligt varme svarende til 4.600 husstandes forbrug, eller ca. 1 % af Hovedstadsområdets fjernvarmebehov.



Det geotermiske anlæg i Thisted.

KAPITEL 4:

FREMTIDENS SMARTE ENERGISYSTEM

I DETTE KAPITEL LÆRER DU OM:

- Hvordan fremtidens energisystem ser ud
- Hvorfor elektricitet er mere sikkert at satse på end varme
- Hvorfor energilagring bliver så vigtigt i fremtiden
- Hvordan vi kan lagre vedvarende energi i brændsler og i fjernvarmenettet



Fremtidens energisystem er smart!
(Foto: Ørsted A/S)

Som vi har set i det sidste kapitel, har vi allerede udviklet mange forskellige teknologier, som vi kan bruge til at producere CO₂-neutral energi. Man kan altså godt få den idé, at vi bare skal bruge penge på flere vedvarende energiteknologier, og så har vi et CO₂-neutralt energisystem. Men selve teknologierne er ikke den eneste udfordring, vi står overfor. For at sikre at fremtidens *energiforsyning* kan blive CO₂-neutral, bliver vi også nødt til at sørge for, at de nye teknologier passer ind i vores energiforsyning. Energien skal nemlig ikke bare produceres – den skal også kunne sendes ud til forbrugerne, når de har brug for den.

Og her kan de nye vedvarende energiteknologier byde på nogle nye udfordringer. For hvor kraftvarmeværkerne hele tiden producerer en stabil mængde energi, og er bygget i nærheden af de steder, hvor vi har brug for energien, så er de vedvarende energiteknologier tit sværere at styre.

Derfor er man gået i gang med at udvikle et nyt smart energisystem. Et smart energisystem skal bl.a. skabe nye smarte måder at koble energiteknologierne sammen, og for at nå dertil skal der løses nogle udfordringer:

1. Der skal findes nye smarte måder at **styre energisystemet** på.
2. Der skal findes måder at **lagre energien**, så den kan sendes ud, når folk har brug for den.

I de næste afsnit skal vi se nærmere på, hvordan man arbejder på at skabe et smart, fleksibelt energisystem i Danmark.

Omstilling til det smarte energisystem

En vigtig del af omstillingen til et smart energisystem er at finde på nye måder at styre det på. Hvis der ikke var nogen, der styrede produktionen af energi, ville vi ikke kunne være sikre på, at der var strøm i stikkontakten

STYRING AF ENERGI-SYSTEMET

Dem, der skal sikre, at der produceres lige så meget energi, som der bruges, kaldes for de *systemansvarlige*. I Danmark er det *Energinet*.

Forsyningssikkerheden sikres ved, at der skrues op og ned for produktionen på kraftværkerne og ved import og eksport fra udlandet.



De systemansvarlige kan skruer op og ned for produktionen af energi på kraftvarmeværkerne.

eller varme i radiatoren, når vi havde brug for den. Når vores energisystem ændrer sig, bliver måden vi styrer det på nødt til at følge med.

I Danmark har vores energisystem længe været bygget op omkring kraftvarmeværker. Værkerne laver varme og elektricitet, som sendes ud til forbrugerne igennem fjernvarmerør og elledninger. Det smarte ved kraftvarmeværkerne er, at man let kan styre, hvor meget energi der produceres ved at fylde mere eller mindre brændsel på det bål, som leverer energien. På den måde kan man tilpasse produktionen til, hvor meget energi der er brug for, og levere en meget stabil produktion af varme og elektricitet. Man kan f.eks. skruer ned for varmeproduktionen på en varm sommerdag og op på en kold vinterdag.

Det er ikke helt så let at lave den samme styring med de vedvarende energikilder. For at producere vind- og solenergi er det f.eks. nødvendigt, at der er nok vind eller solindstråling, og det svarer ikke altid til behovet for energi hos forbrugerne. Mange af de vedvarende energiteknologier kan også kun bruges bestemte steder. Solceller skal opstilles steder, hvor Solen skinner, vindmøller skal placeres, hvor det blæser, og geotermi kan kun bruges de steder, hvor der findes jordvarme i en overskuelig dybde. De vedvarende energiteknologier leverer altså ikke så stabil en produktion, og de er tit spredt ud over hele landet. Det er altså nødvendigt, at det smarte energisystem kan sørge for, at energien sendes det sted hen, hvor der er brug for den.

Selvom vores energisystem er bygget op omkring kraftvarmeværker, så har vi i Danmark i lang tid haft vindmøller integreret i vores energisystem. Derfor er vi faktisk allerede ret gode til at få energi fra vindmøller og solceller ind i vores energisystem. Vi bruger også mange spredte værker til at producere energi i stedet for ét stort, og derfor har vi erfaring med at planlægge energiforsyningen, som man ikke har på samme måde i mange andre lande. Der er dog stadig lang vej fra at have integreret noget vedvarende energi i vores energisystem, til at kunne forsyne os udelukkende med vedvarende energikilder.

Forsyningssikkerhed

For at omstille vores energisystem til vedvarende energi er det vigtigt, at vi får en sikker forsyning. Forsyningssikkerhed betyder, at der både er nok elektricitet i elsystemet – også kaldet *produktionskapacitet* – og at alle kan få adgang til strømmen.

Det er vi rigtig gode til i Danmark. Faktisk er vi blandt de tre lande i verden, der har den højeste elforsyningssikkerhed. I Danmark har vi nemlig en forsyningssikkerhed på hele 99,99 %! Det svarer til, at en dansker i gennemsnit ikke har el i sine ledninger i 40 minutter om året. For det meste skyldes det, at der sker fejl på det lokale elnet og ikke, at der ikke er blevet produceret nok elektricitet.



I et par måneder over vinteren 1973-74 var gaderne lagt øde om søndagen, da det ikke var tilladt at køre i bil.

SMART ENERGIFORBRUG

I fremtiden er planen, at det smarte energisystem i Danmark også skal gøre det lettere for borgerne at tilpasse deres elforbrug. Man vil nemlig sætte nye el-målere op i hjemmet, som hver time måler, hvor meget energi, der forbruges. De skal udskifte de målere, vi har i dag, hvor der måles én gang om året. De gamle målere har nemlig den ulempe, at man ikke kan se, hvornår på døgnet elektriciteten er brugt. Det gør, at borgerne i dag ikke kan få nytte af, at elektriciteten er billigere om aftenen og natten, hvor der ikke er så stor efterspørgsel på elektricitet.

Med de nye el-målere håber man, at man kan få borgerne til at sprede deres energiforbrug ud over hele døgnet – f.eks. ved at vaske tøj eller lade biler op om natten. På den måde kan man få et mere jævnt energiforbrug, som lettere kan dækkes af vedvarende energi.



I fremtiden skal Danmarks smarte energisystem hjælpe med at styre energiforbruget.

Da energien forsvandt – Oliekrisen i 1974

Vi kan dog ikke altid selv styre, om vi har en sikker forsyning af energi. I vinteren 1973-74 skruede de olieproducerende lande prisen på olie i vejret, og truede med helt at stoppe salget til lande, der støttede Israel i konflikten i Mellemøsten. Mange industrilande var afhængige af fossile brændsler og blev ramt hårdt på økonomien. I Danmark indførtes der bl.a. "bilfri søndage", og der blev skåret ned, så der kun var lys i hver anden gadelygte for at gøre energiforbruget mindre. Folk oplevede for alvor, hvor meget deres liv var afhængigt af en billig og stabil energiforsyning.

HVORDAN KOMMER FREMTIDENS ENERGISYSTEM TIL AT SE UD?

Der findes stadig ingen klare planer for, hvordan fremtidens smarte energisystem kommer til at se ud. Men en ting er sikker, at fremtidens energisystem bliver endnu mere bæredygtigt. Danmark har et mål om, at 50 % af energiforbruget skal komme fra vedvarende energi i 2030, og at Danmark i 2050 skal være uafhængigt af fossile brændsler.

Meget tyder desuden på, at fremtidens energisystem kommer til at fokusere mere på at transportere energi i form af elektricitet frem for som varme.

Der er flere grunde til, at det giver mening at få mere af vores energi fra elektricitet i fremtiden. Elektricitet kan bl.a. bruges af elmotorer til transport (i el-biler og el-busser). De el-baserede teknologier er også tit langt mere effektive. F.eks. har en elmotor en virkningsgrad på over 90 %, imens en benzinmotors virkningsgrad kun er på ca. 20 %, og det kan altså spare en masse ressourcer.

En anden grund til, at man regner med at fremtidens energisystem bliver mere elbaseret, er, at el også er let at sende hurtigt rundt igennem energisystemet. Man kan altså hurtigt og let få energi ud til forbrugerne, og med et smart energisystem vil det være let at tilpasse det præcist, til det forbrug den enkelte forbruger har. På den måde kan man også integrere mange forskellige teknologier og få et fleksibelt energisystem.

Endelig så regner man med at komme til at bruge mere el i fremtiden, fordi mange af de vedvarende energiteknologier laver energi i form af elektricitet, og derfor giver det mening at indrette systemet, så det kan bruge elektricitet.

Samtidigt kan man ikke bare omlægge hele energisystemet fra den ene dag til den anden. I Danmark har vi ud over vores ledningsnet brugt rigtig mange penge på at udvikle og udbygge et energisystem, hvor energien produceres centralt og ledes ud til borgerne igennem dyre rørsystemer. I nogle situationer kan det altså give god mening at finde på smarte måder at koble nye teknologier til det system, som vi allerede har. Det kunne f.eks. være at bruge varmepumper til at producere fjernvarme i stedet for, at varmen skal

DANMARK SOM UAFHÆNGIGT AF FOSSILE BRÆNDSLER

Regeringen (VLAK 2017) har en ambition om, at Danmark i 2050 skal være et *lavemissionssamfund*, som er uafhængigt af fossile brændsler. Det betyder, at vi skal producere nok energi til, at vi kan være selvforsynende. Som et skridt på vejen er ambitionen, at 50 % af energiproduktionen skal være dækket af vedvarende energi i 2030.

komme fra kraftvarmeværker. I andre tilfælde kan det måske bedre betale sig at finde på helt nye måder at producere og distribuere energien på.

Et energisystem, der i højere grad bruger vedvarende energikilder, vil under alle omstændigheder have brug for at have flere metoder til at gemme den vedvarende energi, og det skal vi se nærmere på i næste afsnit.



Elmotorer er langt mere effektive end benzinmotorer med en virkningsgrad på hele 90 %.

ENERGILAGRING

Lagring af energi betyder, at man finder en måde at holde på energien, så man kan frigive den, når man har behov for den. Det er vigtigt at finde nye måder at lagre energi på, hvis vi skal omstille vores energinet til kun at køre på vedvarende energi. Der findes mange forskellige måder at lagre energi på, og i det her afsnit skal vi se lidt nærmere på nogle af de metoder, vi allerede bruger, samt dem, som vi måske kommer til at bruge mere i fremtiden.

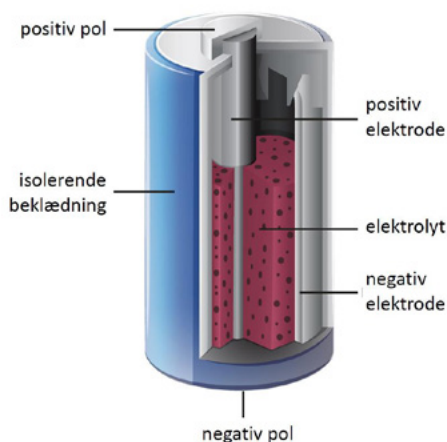
Alle former for energi kan i princippet lagres, selvom nogle former er mere praktiske end andre. **Kerneenergi** er lagret i atomkerner, og **kemisk energi** kan lagres i kemiske forbindelser, f.eks. brændstoffer som olie eller brint. **Varmeenergi** kan lagres ved at varme vand eller andre materialer op og **potentiel energi**, ved at løfte ting højt op. **Kinetisk energi** kan lagres ved at sætte store svinghjul til at køre hurtigt rundt, så energien kan tappes igen ved at lave strøm. **Elektricitet** kan lagres som statisk elektricitet, som man

LAGRING AF ENERGI I ET BATTERI

Vi kender alle batterier fra vores mobiltelefon og computer, men hvordan fungerer de egentlig?

Alle batterier har to poler, en positiv (markeret med +) og en negativ (markeret med -). Batteriet har en oplagret spændingsforskel, som kan aflades gennem et kredsløb – fra pol til pol – udenfor batteriet.

Når batteriet aktiveres, vil elektroner således begynde at bevæge sig fra *katoden*, der sidder ved den positive pol, til *anoden*, der sidder ved den negative pol. Når der ikke kan afgives flere elektroner fra katoden eller optages flere elektroner i anoden, er batteriet ”tomt”. Mange batterier kan dog oplades og bruges igen og igen.



Sådan ser et batteri ud indeni.

Batteriet i din mobiltelefon er meget effektivt.

kender fra balloner, der har været gnedet mod en trøje. **Lysenergi** er straks lidt sværere, og har ikke nogen praktisk anvendelse endnu.

Al omdannelse af energi giver dog et tab af energi, fordi man aldrig helt kan undgå, at en del af energien går til som varme. Når opladeren til en mobiltelefon bliver varm, imens telefonen lader, er det et eksempel på energi, der går til spilde. Derfor vil man helst undgå at omsætte energien alt for mange gange fra den bliver produceret til den skal bruges.

Lagringseffektivitet

Hvis man vil måle, hvor effektiv en type energilagring er, ser man på den samlede effektivitet, η (η udtales ”eta” og er et af de græske bogstaver for ’E’). Effektiviteten viser, hvor meget energi der tapes undervejs. Så hvis effektiviteten er 90 %, betyder det, at man har tabt 10 % af energien.

Den samlede effektivitet defineres af tre faktorer:

- Effektiviteten af den proces, der oplader lageret
- Effektiviteten af lagringsperioden (altså hvor lidt energi man mister fra lageret, mens det er fyldt)
- Effektiviteten af den proces, der aflader lageret.

Et typisk batteri i en mobiltelefon er et såkaldt *lithium-ion-batteri*. Denne type batterier taber ca. 5-10 % af strømmen, når de lades op og ca. 5-10 %, når de aflades igen. Til gengæld taber batteriet meget lidt af den lagrede energi, når det bare ligger opladt. Den samlede effektivitet bliver derfor:

$$\eta_{\text{samlet}} = \eta_{\text{ladning}} \cdot \eta_{\text{lagring}} \cdot \eta_{\text{afladning}} = 95 \cdot 100 \cdot 95 \approx \underline{\underline{90 \% \text{ effektivitet}}}$$

Lithium-ion-batterier er dermed meget effektive – men også relativt dyre – energilagere.



DET NORDISKE ENERGISAMARBEJDE

Når vi har overskud af energi i den danske vindenergiproduktion, sender vi det til vores nabolande. I Tyskland og Sverige kan de i perioder slukke for deres egne kraftværker og bruge vores strøm i stedet. Omvendt kan vi hente strøm fra deres kraftværker, når det er vindstille i Danmark.

Vi sender også overskudsenergi fra vores vindmøller til Norge. I Norge bruger de typisk energien til at pumpe vand op i store vandreservoirer. Nordmændene lagrer altså dansk vindmølleenergi som potentiel energi i vand. Når de – eller vi – får brug for energi igen, kan de producere strøm ved at frigive vandet fra reservoirerne.

Det nordiske energisamarbejde giver således øget mulighed for både at bruge og lagre den vedvarende energi, så den ikke går til spilde – og det er smart!



I Norges vandkraftværker benyttes dansk overskudsenergi til at skabe vandreservoirer, der fungerer som energilager.

LAGRING AF EL

Ca. 42 % af Danmarks årlige elforbrug dækkes af vindmøller, og frem mod 2050 kan den andel vokse til hele 80 %. I nogle perioder er det dog vindstille, og møllerne kører næsten ikke. I andre perioder blæser det meget, og vindmøllerne leverer langt mere strøm, end vi kan bruge. Lige for tiden klarer vi udsvingene i vindmøllernes energiproduktion ved at sende og modtage strøm fra udlandet. Vi har kabler til Norge, Sverige og Tyskland, og der er overvejelser om også at etablere kabler til Holland, England og måske Polen i fremtiden.

I fremtiden er det ikke sikkert, at den norske vandkraft og de tyske og svenske kraftværker kan blive ved med at løse problemerne for os, fordi vi får mere og mere vindenergi, som skal lagres. Til den tid har vi brug for at kunne udnytte overskudsstrømmen fra vindmøllerne til noget andet eller kunne gemme den i længere tid. I Danmark ser vi på to muligheder: Lagring i fjernvarmesystemet og elektrolyse.

SUMMEØVELSE

Gå ind på <http://energinet.dk/DA/El/Sider/Elsystemet-lige-nu.aspx>. Hvor meget energi producerer vi lige nu? Hvor meget energi eksporterer vi, og hvor meget energi importerer vi? Klik lidt rundt på siden og bliv klogere på den danske energiproduktion.

Lagring af vedvarende energi i fjernvarmesystemet

Der er flere metoder til lagring af vedvarende energi i fjernvarmesystemet, hvor vi både kan lagre solenergi i form af varme og vindenergi i form af strøm.

Kraftvarmeværkerne er allerede begyndt at bruge solvarme til at varme vandet i fjernvarmesystemet op. Opvarmningen foregår ved, at Solens stråler skinner på en masse sorte paneler, hvor fjernvarmevandet løber. Solvarmeanlæggene kan varme fjernvarmevandet helt op til 90 grader. Derfor har kraftvarmeværkerne store vandtanke, som de varmer op med solvarmen om dagen og køler ned ved at sende varmen ud til forbrugerne om natten. Disse vandtanke fungerer altså som "varmebatterier". På den måde kan varmeværkerne levere solvarme hele døgnet rundt, og de kan dække ca. 25 % af deres årlige produktion med solvarme.

Fjernvarmesystemets lagertanke kan også bruges til at lagre strøm fra vindmøller ved at bruge strømmen til at varme vandet op. Strømmen kan varme vandet op via varmepumper og varmelegemer. I de perioder, hvor vi bruger overskudsstrøm fra vindmøller til at varme fjernvarmevandet op, slipper vi for at bruge brændstoffer på at lave varme.



Solvarme kan bruges i fjernvarmesystemet.



I Dronninglund i Nordjylland har man verdens største fjernvarmelager. (Foto: Arcon-Sunmark)

Damvarmelagre

Hvis varmegævkerne vil gemme solvarme til om vinteren, kan de gøre det i store damvarmelagre. Et damvarmelager er et kæmpestort hul i jorden – helt op til 200.000 kubikmeter med en presenning i bunden og på toppen, som er fyldt med vand. I løbet af sommeren kan vandet i lageret varmes op til 90 grader, og varmen kan bruges til at lave fjernvarme helt frem til årets koldeste måneder i januar og februar. På den måde kan varmegævkerne dække over halvdelen af deres årlige produktion med solvarme, selvom Solen kun skinner for alvor om sommeren.

SUMMEØVELSE

Tal med sidemanden om det følgende. I får nok brug for papir og blyant eller en lommeregner.

Prøv at regne ud, hvor stort et hul, man skal grave for at få plads til 200.000 kubikmeter vand, hvis hullet er kvadratisk og 20 meter dybt. Sådan et hul kan gemme varme til en by med ca. 10.000 mennesker.

Hvor mange fodboldbaner svarer det til? Og hvor mange liter kan der være i sådan et hul?

Lagereffektiviteten er dog ikke særlig høj i damvarmelagre. Damvarmelagre kan tabe helt op til 20 % af varmen fra om sommeren til februar måned. Grunden til det er, at det ikke kan betale sig, at isolere lageret ned mod jorden. Solvarme er nemlig så billigt, at det bedre kan betale sig bare at producere noget mere varme.

SUMMEØVELSE

Prøv at beregne den samlede effektivitet (η_{samlet}) for et damvarmelager, hvis ladeeffektiviteten (η_{ladning}) er 98 % og afladeeffektiviteten ($\eta_{\text{afledning}}$) er 98 %. Lagereffektiviteten (η_{lager}) finder du i teksten om damvarmelagre.

Er det mere eller mindre effektivt end lithium-ion batterier? Og hvad med lagring i vandkraftværker?

Varmepumper

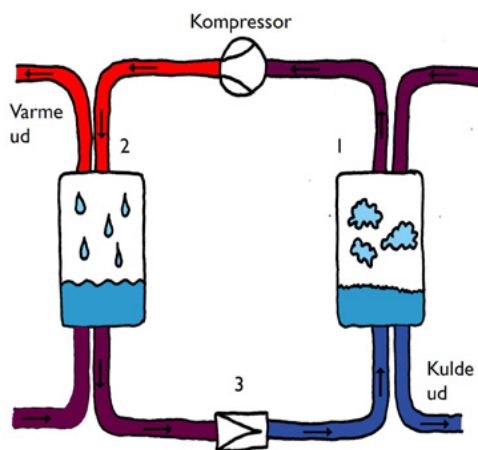
En varmepumpe er en luftpumpe, som kan bruges til at varme luft op med. Varmepumper er smarte, fordi de meget effektivt kan omdanne el til varme. Derfor er de smarte i et energisystem, hvor der nogle gange produceres mere el, end der kan bruges. Her kan varmepumpen f.eks. bruges til at opvarme huse direkte, til at producere fjernvarme eller til at levere varme i industrielle processer.

Varmepumpen består af et kredsløb, som der løber en varmepumpe-væske i, der fordampes ved lave temperaturer. Kredsløbet har en kold side, hvor der er lavt tryk og en varm side, hvor der er højt tryk.

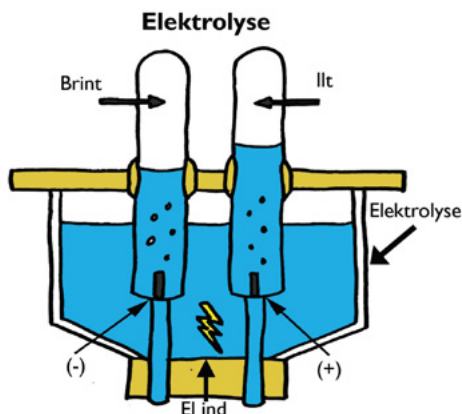
På den kolde side (1), sendes der en "lun" væske ind i kredsløbet. Det kunne f.eks. være afkølet fjernvarmevand, som har løbet i en slange under jorden. Varmen fra vandet afgives til varmepumpe-væsken, så den fordampes. Den fordampede gas sendes igennem en kompressor, som øger dens tryk, og det får gassen til at blive opvarmet til en høj temperatur.

Herefter sendes den til en kondensator (2), hvor den fortættes til væske igen. Når det sker, afgiver gassen sin varme til en væske (f.eks. radiatorvæske), som opvarmes. Herefter sænkes trykket igen (3) og gassen sendes tilbage i fordamperen, hvor det hele kan starte forfra.

Varmepumpen omdanner altså ikke elektricitet til varme, den bruger elektriciteten til at skabe tryk, som "flytter" varmen. Det smarte ved en varmepumpe er, at den energi, som bruges til at skabe tryk er meget lavere end den varmeenergi, som man får ud af varmepumpen. En varmepumpe vil typisk levere tre til fem gange mere energi, end der er blevet tilført som el.



Principtegning af varmepumpens funktion.

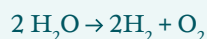


I elektrolysen splittes brinten og ilt i vand.

ELEKTROLYSE

Elektrolyse kommer af de græske ord *elektron*, som betyder ”rav” (der kan lades gevaldigt med statisk elektricitet) og *lysis*, som betyder ”at spalte” eller ”splitte”. Elektrolyse er en betegnelse for kemiske processer, hvor man bruger strøm til at splitte kemiske forbindelser i mindre dele.

Fra kemien ved vi, at vand består af ilt og brint, og også kan skrives H_2O . Formlen betyder, at vand består af to brintatomer (to H 'er) og et iltatom (et O). Når man spalter vand gennem elektrolyse, splittes det til ilt og brint efter denne formel:



Der dannes altså to brintmolekyler (to gange H_2) for hvert iltmolekyle (O_2).

Man kan spalte andre ting end vand gennem elektrolyse, f.eks. kuldioxid (CO_2). Hvis man spalter kuldioxid sammen med vand, vil man kunne lave syntetisk brændstof, herunder kunstig naturgas, benzin eller brændstof til fly. Det ligger dog noget ude i fremtiden.

Lagring af strøm som brændstoffer

En anden mulighed for energilagring er, at man kan anvende strømmen til at producere brændstof. Det kan være brint, syntetisk naturgas eller brændstof til lastbiler og fly. Til det bruger man en teknologi, der kaldes *elektrolyse*. Ved elektrolyse anvendes den elektriske energi til at drive kemiske reaktioner, der f.eks. kan spalte vand til ilt og brint. Iltten kan sælges til industrien, og brinten, som er meget energirig, kan gemmes i vores naturgasnet og bruges i brintbiler eller til at producere strøm og varme i brændselsceller. I mere avancerede former for elektrolyse kan man også lave brændstof til fly eller lastbiler, som det er nemt at gemme i tanke til senere, når der er brug for det. Elektrolyseteknologi er dog stadig under udvikling, så der går nok nogle år, før vi når så langt.

Der findes mange typer elektrolyse. Nogle af dem er meget effektive, mens andre er mindre effektive. Den mest almindelige elektrolyseteknologi har en ladeeffektivitet på ca. 90 %, mens afladeeffektiviteten, hvor man laver strøm af brinten, kun er 60 %. Lagereffektiviteten kan være så høj som 99 %.

Hvordan kommer fremtidens energilagring til at se ud?

Nu har vi set på en række forskellige metoder til lagring af energi. Men hvilken type lagring vil egentlig passe ind i fremtidens vedvarende energisystem? Det er selvfølgelig ikke let at svare på. Men når man sammenligner de forskellige lagringsmetoder, ser man, at der er stor forskel på, hvor effektive de er til at lagre energi, hvilken slags energi man får ud af lageret, og hvor let den kan omdannes til andre energiformer. Det er alle tre vigtige faktorer for, om energilagrene er værd at bruge i fremtidens vedvarende energisystem.

Kemisk energi lagret i brændstoffer som brint, eller potentiel energi lagret i opdæmmede søer, er eksempelvis meget lette at lagre over lang tid, hvorimod varmeenergi er let at generere, men svær at lagre uden tab. Varmeenergi er desuden svær at omdanne til elektricitet igen, hvor elektricitet let kan omdannes til varmeenergi.

Først og fremmest skal lagrene kunne lagre den energi, vi producerer, og den energi der er behov for på forskellige årstider. Her bliver det især vigtigt at have lagre, som kan holde på varmeenergi, fordi den er svær at omdanne til andre energiformer og at finde på smarte måder at lagre energi, som kan omdannes til elektricitet. Meget tyder altså på, at man i fremtiden vil kombinere forskellige lagringsmetoder for at skabe en sikker forsyning af vedvarende energi. I sidste ende er valget af energilagrene dog også meget afhængig af, hvad omkostningerne ved forskellige teknologier er.

PRISEN FOR ET VEDVARENDE ENERGISYSTEM

Som vi har set i dette kapitel, er vi allerede nået et godt stykke af vejen imod et vedvarende energisystem. Vi har udviklet mange af de teknologier, som kan bruges til at omstille vores energisystem, men vi mangler at sætte dem sammen på den rigtige måde og at udbygge dem, så vi kan forsyne hele vores samfund hele tiden. En vigtig faktor for at nå dertil, er prisen på de nye teknologier, som skal producere, lagre og udsende den vedvarende energi.



Vindmøller koster mange penge at opstille og indkøbe – til gengæld er de billige i drift og bruger ingen brændsel.

Der er sket meget med prisen på vedvarende energiteknologier inden for de sidste år. F.eks. er prisen på elektricitet fra Solen faldet med en tredjedel fra 2011 til 2016, og meget tyder på, at prisen vil falde endnu mere. Faktisk er det allerede billigere at få energi fra en ny landvindmølle, end fra et nyt kulkraftværk. Problemet er bare, at kulkraftværkerne, når de allerede er bygget, producerer energi langt billigere, end hvis man skulle ud og bygge nye vindmøller for at erstatte dem – så skulle prisen på vindmøllen nemlig også dækkes af elprisen.

Derfor har man i lang tid givet støtte fra staten til at sænke prisen på vedvarende energi, så den bedre kan konkurrere med den fossile energi. Men i fremtiden regner man med at prisen for at producere nye VE-anlæg kommer til at falde endnu mere. Samtidig regner man med, at prisen på el kommer til at stige lidt, måske faktisk så meget, at den vedvarende energi slet ikke behøver støtte for at være billigere end den fossile energi.

Der er også store forskelle på priserne for de forskellige energilagrings-teknologier. For dem gælder det også, at prisen varierer alt efter, hvor meget det koster at bygge og vedligeholde anlæggene, men som vi har set, så spiller det også en rolle, hvor effektivt de holder på energien. Det koster nemlig penge at producere energi, og man kan altså sige, at man mister penge ved at opbevare den dårligt. Det er svært at sige præcist, hvad de forskellige lagre koster, men teknologierne kan rangordnes efter pris. Her er en liste med teknologierne med den billigste først (til venstre) og den dyreste sidst (til højre):

Damvarmelager

Vandkraftlager

Elektrolyse

Batterier

Billigst

Dyrest

ANDRE HENSYN

Når der skal opsættes vedvarende energiteknologier, er det dog ikke kun det økonomiske aspekt, man skal overveje. Der skal f.eks. også tages højde for naturen og dem der bor tæt på anlæggene. I Danmark er der f.eks. for vindmøller krav til minimumsafstanden til nærmeste boligbebyggelse (der skal være fire gange møllens højde hen til boligområdet). Der er også regler omkring støjgener, og det skal undersøges, om der er miljømæssige konsekvenser ved opførelsen af vedvarende energi-anlæg. Endelig er der udpeget en række naturområder i Danmark, hvor man ikke må opstille vedvarende energi-anlæg.



Kalvebod Fælled er et eksempel på et fredet naturområde, hvor der ikke må opsættes vindmøller.

Når der skal vælges mellem de forskellige lagringsteknologier, må man i sidste ende se på, hvilken type energi man har brug for at lagre. I et land som Danmark, hvor vi både har brug for meget varme og strøm, vil det være nødvendigt at koble flere slags teknologier, der kan fungere sammen.

Som I har set i dette kapitel, er det altså ikke helt så simpelt, som man måske kunne tro at opnå et fleksibelt og smart energisystem. Der er mange hensyn, der skal tages, og mange overvejelser omkring økonomi, praktik og behov, der spiller ind. Der sker dog rigtig meget hele tiden, og det bliver spændende at se, hvor det danske energisystem er om ti år! Hvad tror du?

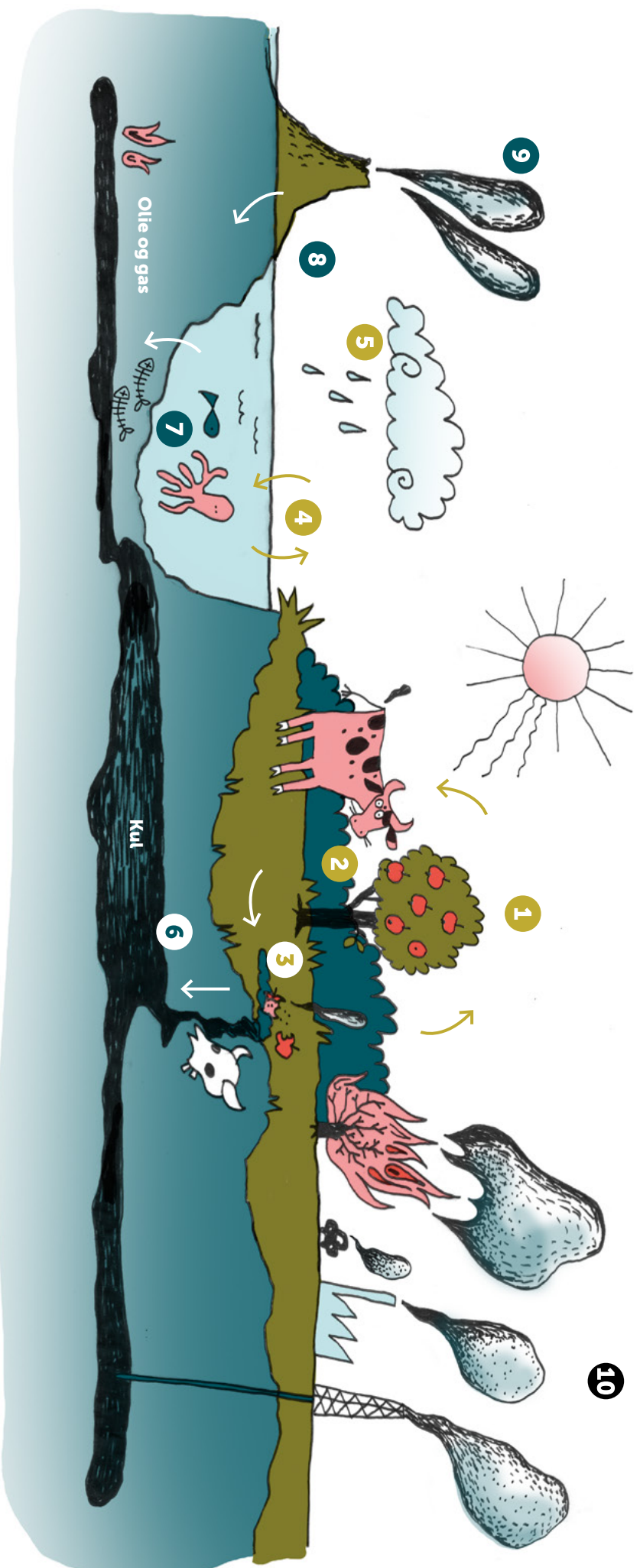
OVERSIGT OVER KULSTOFKREDSLØBET

Menneskets påvirkning af det naturlige kulstofkredsløb

Det er energien fra solens stråler som driver kulstoffets bevægelse rundt på jorden. Planter lagrer nemlig solens energi som glukose, og fra planterne sendes kulstoffet videre rundt på jorden. På den måde bevæger kulstoffet sig hele tiden i et kredsløb mellem levende og døde organismer, luft, vand og jord. Underved frigives og lagres der store mængder energi i kulstoffets forbindelser.

Menneskets påvirkning af kulstofkredsløbet

Det er fra energien i kulstoffets forbindelser, at vi får meget af den energi vi bruger i vores hverdag. Men når vi bruger energi bundet i kulstof, så påvirker vi også kulstofkredsløbet. Når vi brænder biomasse eller fossile brændsler, sendes kulstof nemlig ud i atmosfæren som CO₂, og på den måde er vi med til at ændre balancen i kulstofkredsløbet.



OVERSIGT OVER KULSTOFKREDSLØBET

1 Fotosyntese

Planter bruger solens energi til at omdanne CO_2 fra atmosfæren til kulstofforbindelsen sukker. Processen kaldes for fotosyntese, og danner også H_2O :

$$\text{Solenergi} + 6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{CO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$$

2 Respiration/forbrænding

Når dyr, mennesker, bakterier, planter og svampe skal have energi, får de den ved at nedbryde kulstofforbindelser, og frigive energien i bindingerne. Den kemiske proces kalder man for respiration:

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{CO}_2 + \text{energi}$$

Det er de bindinger som planterne har bundet sammen med energi fra solen, som brydes igen, og solens energi frigives igen. Processen bruger O_2 og sender CO_2 ud i atmosfæren.

3 Nedbrydere

Når planter og dyr dør, bliver de nedbrudt af bakterier, svampe, orme og insekter—også kaldet nedbrydere. De får energi fra kulstofforbindelserne og sender CO_2 og CH_4 (Metan) ud i atmosfæren.

4 Kulstof mellem luft og vand

Kulstof udveksles hele tiden mellem luft og vand. CO_2 fra atmosfæren kan optages af vand som kulsyre (H_2CO_3), som vi også kender som den sure smag i vand med brus. Havene kan også frigive kulstof til luften som gassen CO_2 . Planteplankton i havet bruger også fotosyntese til at optage kulstof fra atmosfæren. På den måde flytter de kulstof fra atmosfæren til hydrosfæren.

5 Kulstof fra atmosfæren til lithosfæren og hydrosfæren

Når det regner kan noget af atmosfærens CO_2 optages i vandet som kulsyre (H_2CO_3). Når den lander på jorden kan kulstoffet binde sig til mineraler i jorden.

6 Fra døde dyr til fossile brændsler

Noget af det døde, organiske materiale fra dyr og planter kan over millioner af år blive omdannet til det fossile brændsel kul under jorden. Det organiske materiale udsættes for højt tryk og varme og det ændrer kulstofforbindelsens form, så energien samles på meget mindre plads.

7 Kulstof fra havets liv til havets bund

Planter, fisk og alger i havet består af store mængder kulstofforbindelser, som også er bundet sammen med solens energi. Når havets planter og dyr dør, synker de ned på bunden hvor de nedbrydes eller lagres. Det kan enten være at deres kalkskeletter ender som kalksten eller at deres organisme over millioner af år bliver omdannet til olie og gas langt under jorden.

8 Kalk udvaskes fra jorden til havet

Når regnen falder på jorden kan der blive vasket kulstof ud af jorden. Det opløste kulstof kan blive ledt ud i havet.

9 Vulkaner

Lithosfæren indeholder en masse kulstof. Meget af den har ligget der i millioner af år som blandt andet kalksten og fossile brændsler. Noget af kulstoffet brændes af vulkaner, som sender ud i atmosfæren som CO_2 . Det er ikke så meget nu, men før i tiden var der meget mere gang i vulkanerne på jorden.

10 Menneskets påvirkning af kulstofkredsløbet

Når mennesket brænder kulstofforbindelser af, uledes der kulstof til atmosfæren, i form af CO_2 . Det sker når vi afbrænder fossile brændsler og biomasse. På den måde sender vi CO_2 ud i atmosfæren og væk fra biosfæren og lithosfæren.

ØVELSE 1: HVEM ER FREMTIDENS VEDVARENDE ENERGIMAGT?

Formål: I skal ud fra kort og viden om Danmarks naturgrundlag lave oplæg i grupper med titlen "Danmark som verdens næste energimagt".

Materialer:

- Kort i øvelserne (evt. som print).
- Links til kort kan findes bagerst i materialet.

Baggrundsmateriale:

- Kapitel 3: Vedvarende energi

FØRSTE DEL AF ØVELSEN: DANMARK

Sådan gør I:

Find sammen i grupper på tre-fire elever. Lad kortmaterialet nedenfor og på næste side og jeres viden danne grundlag for et oplæg med titlen "Danmark som verdens næste energimagt?" I jeres oplæg skal I fokusere på:

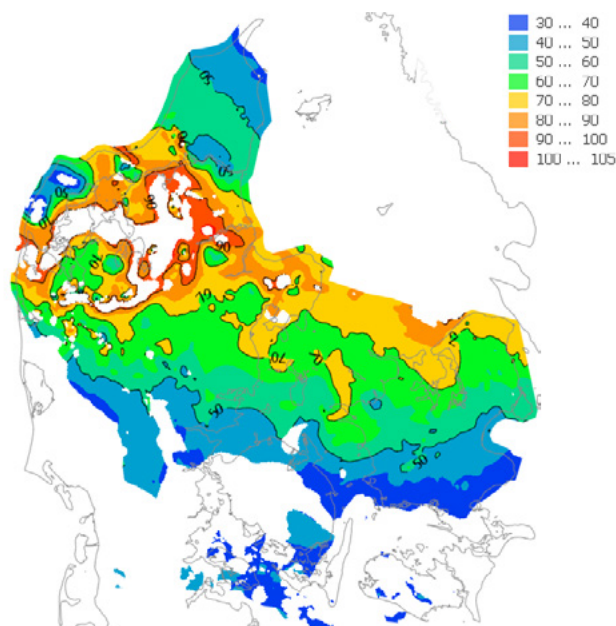
- Hvordan Danmarks energiforsyning kan udvikle sig i en mere bæredygtig og vedvarende retning.
- Hvilke vedvarende energikilder vi vil kunne gøre særligt brug af i den danske energiproduktion, hvor i Danmark de skal placeres, og om der er særlige tidspunkter af året, hvor de skal benyttes.
- Hvilke vedvarende energikilder vi vil være særligt gode til at teste og udvikle i Danmark.
- Hvilket naturgrundlag vi har i Danmark, og hvordan vi kan udnytte dette, i en bæredygtig og vedvarende energiproduktion.

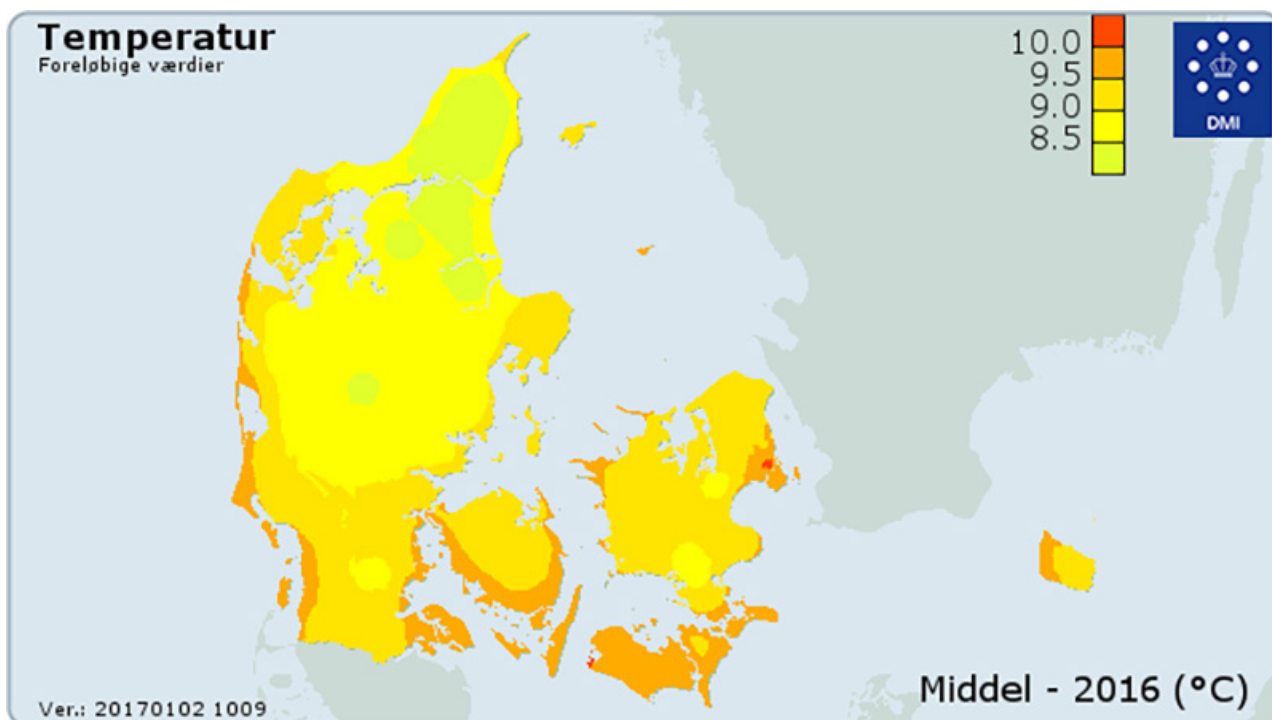
Saml jeres argumenter i en Prezi, PowerPoint, film eller lignende og præsenter det for klassen.

GEOTERMISK POTENTIALE I DANMARK:

Kort 1: Temperatur (°C) for Gassum-reservoiret.

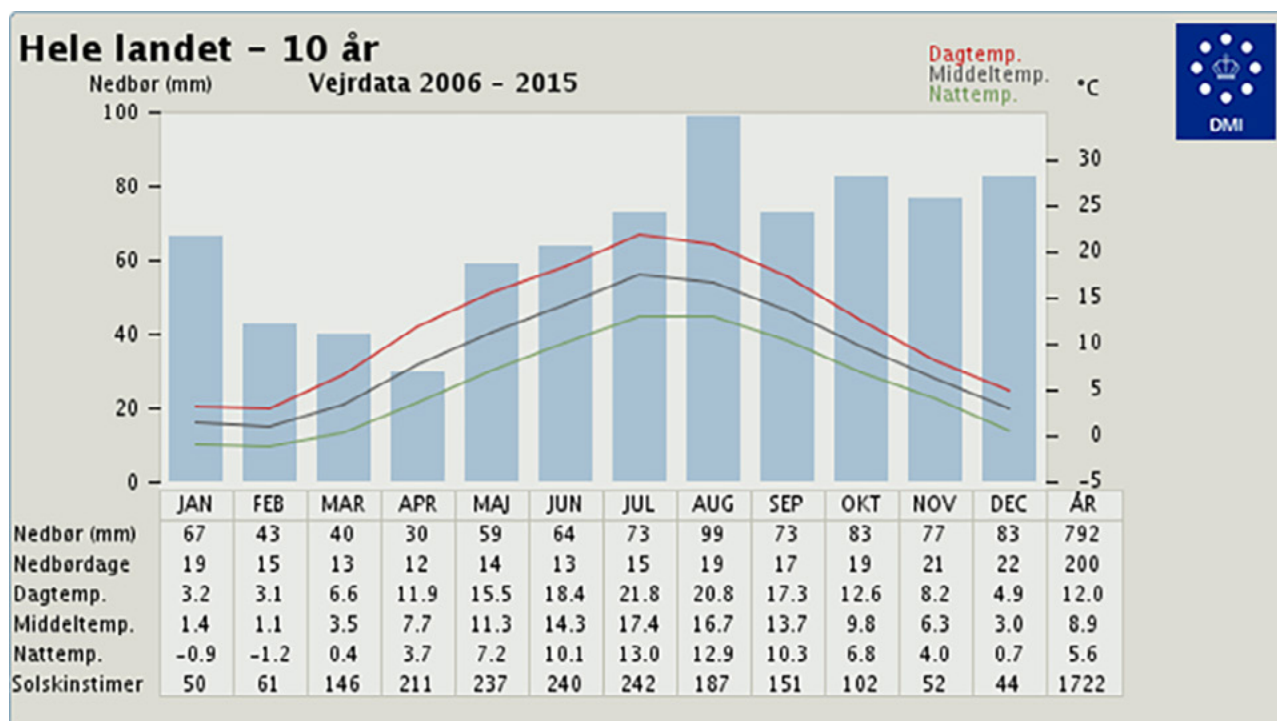
Der er her medtaget områder, hvor reservoiret findes indenfor dybdeintervallet 800-3000 m, og hvor tykkelsen er mere end 30 m.





MIDDELTEMPERATUR I DANMARK (2016 SAMLET):

Kort 2: Middeltemperatur i Danmark for 2016

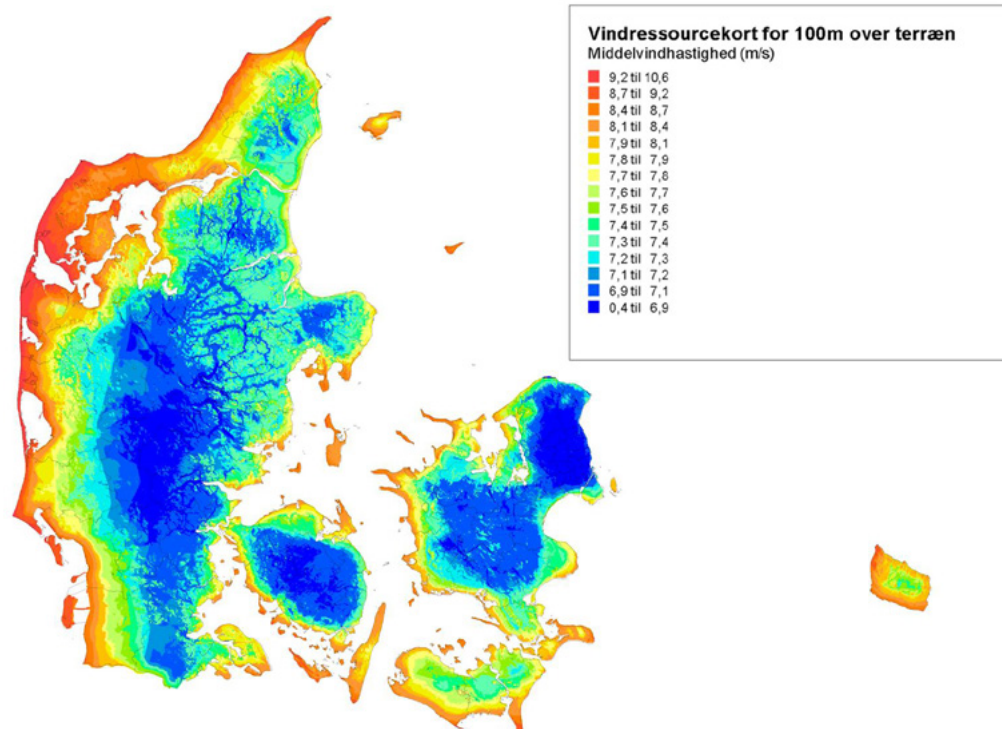


SAMLET VEJRDATA FOR DANMARK I 2006-2015:

Kort 3: Samlet vejrdata for Danmark i 2006-201

På <https://www.dmi.dk/vejr/arkiver/vejrarkiv/> kan

I finde mange flere statistikker og grafer over det danske vejr.



ANDEN DEL AF ØVELSE 1: VERDENS FREMTIDIGE ENERGIMAGT?

Nu har I set på de danske forhold og gjort jer nogle overvejelser omkring Danmarks muligheder for at blive verdens fremtidige vedvarende energimagt. Nu er turen kommet til hele verden!

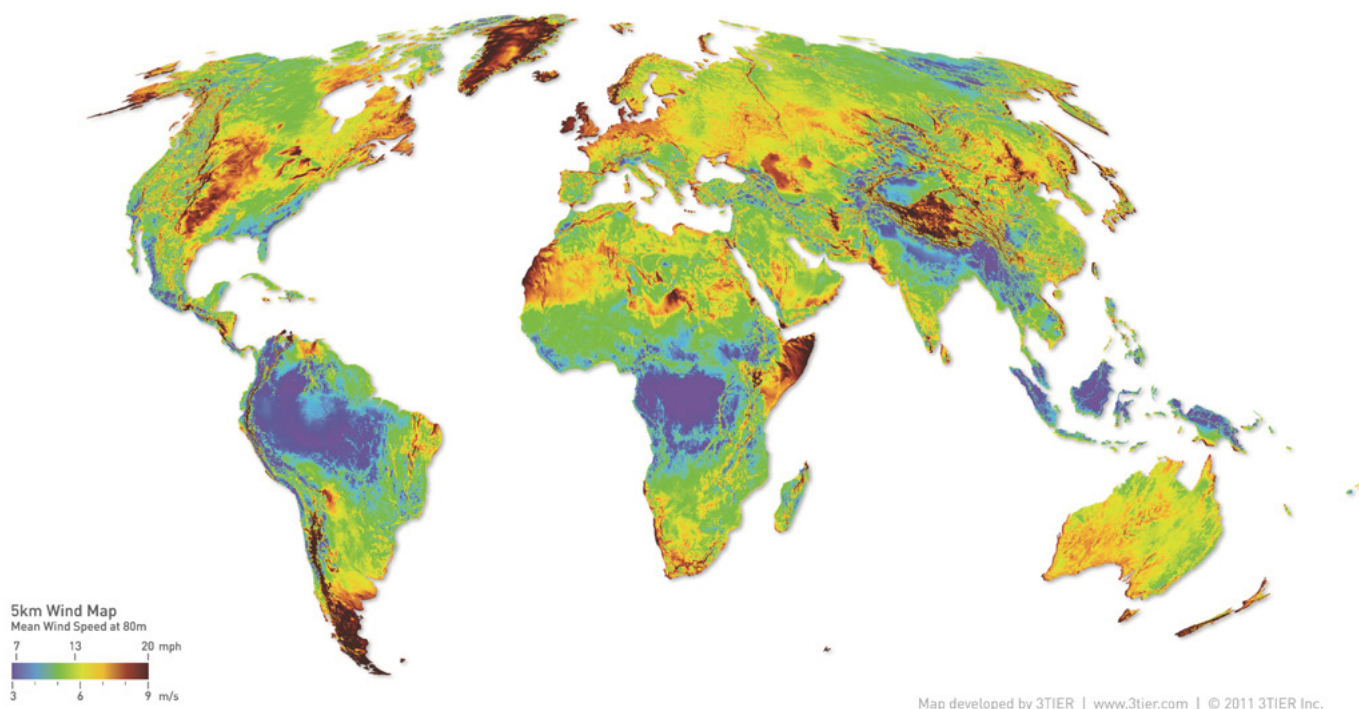
Sådan gør I:

Del klassen ind i fire grupper, der arbejder med hver deres vedvarende energikilde. I kan vælge mellem:

- Geotermi
- Vindenergi
- Solenergi
- Vandenergi

Se eksempler på energipotentiale-kort på de næste par sider og gå selv på opdagelse på nettet og i fagbøger. Fokuser på nedenstående spørgsmål og saml jeres svar og argumentationer i en Prezi, PowerPoint, film eller lignende og præsenter det for resten af klassen.

- Hvordan udnytter man potentialet i jeres vedvarende energikilde til energiproduktion?
- Hvilket land i verden har det højeste potentiale i forhold til at udnytte jeres energikilde? (hvis flere lande konkurrerer om førstepladsen, må I bare udvælge et af dem)
- I hvor stort omfang benytter landet energikilden?
- Hvordan og til hvad benytter landet energikilden?
- Hvordan kunne landets energiproduktion blive endnu mere bæredygtig?
- Er der andre vedvarende energikilder, som landet med fordel kunne gøre brug af? Hvilke?



VINDPOTENTIALE I VERDEN:

Kort 5: Gennemsnitlig vindhastighed 80 m. over jordoverfladen.

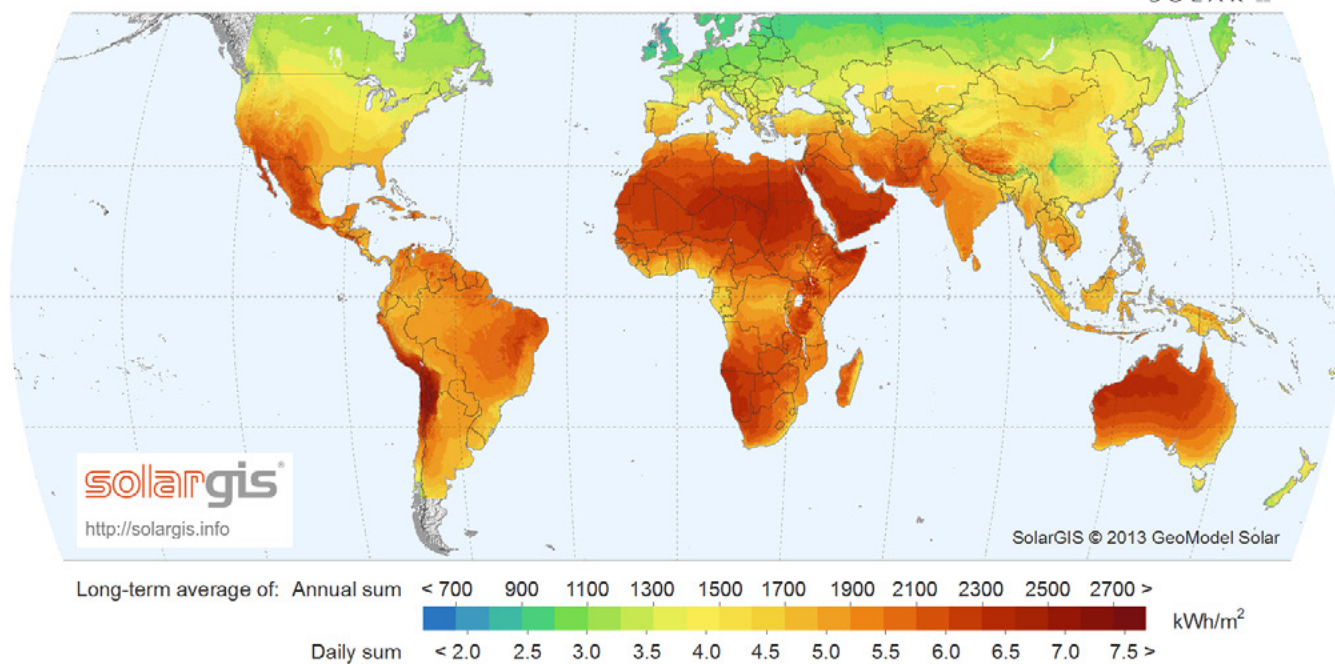


GEOTERMISKE HOTSPOTS I VERDEN:

Kort 6: Geotermiske hotspots i verden.

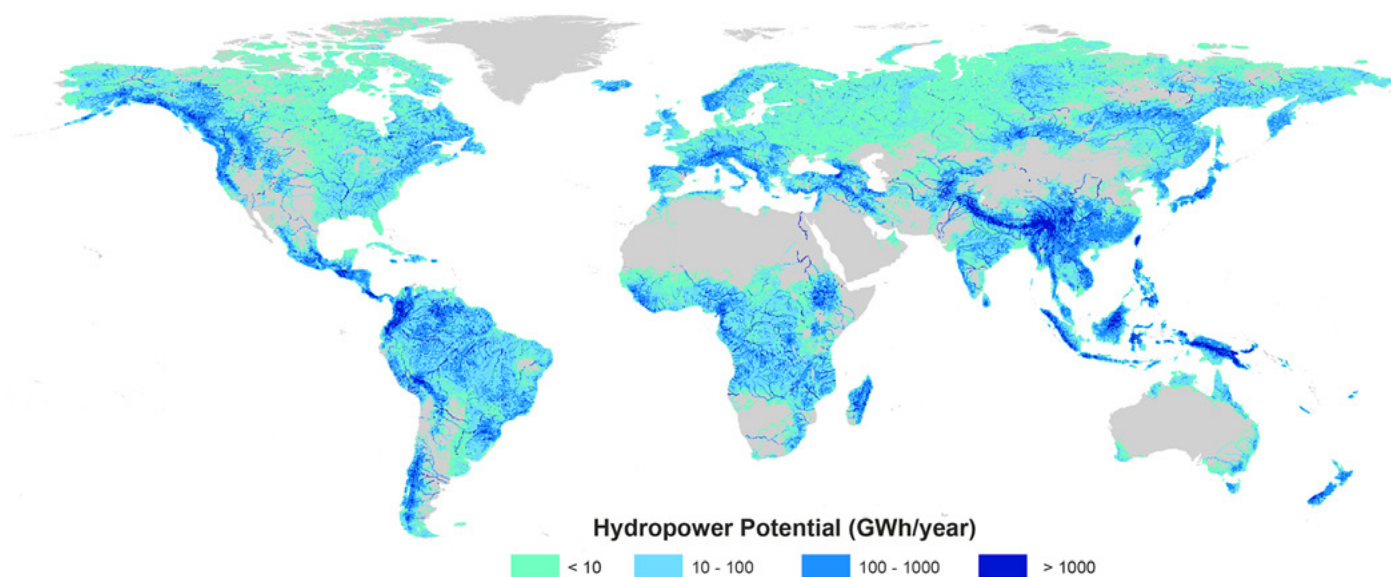
WORLD MAP OF GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

GeoModel
SOLAR



GLOBAL INDSTRÅLING FRA SOLEN:

Kort 6: Global solindstråling målt i kWh/m²



VANDKRAFTS POTENTIALE:

Kort 8: Vandkraftpotentiale (målt i gigawatt-timer om året)

ØVELSE 2: KULSTOFKREDSLØBET

Formål: At lære kulstofkredsløbets forskellige sfærer, samt udvekslingerne af kulstof imellem dem, at kende.

Materialer:

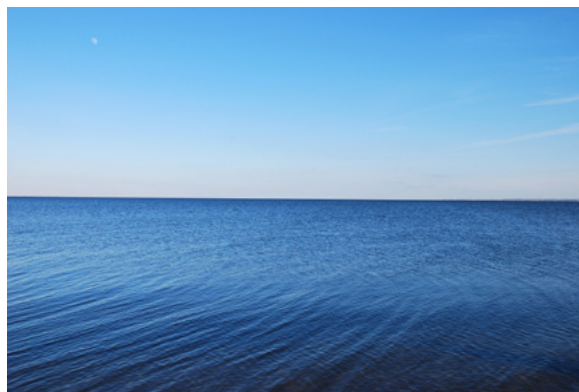
- 1 stk. A3-papir til hver gruppe
- 1 sæt print af billeder fra øvelsesarkene til hver gruppe
- Sakse
- Skriveredskaber

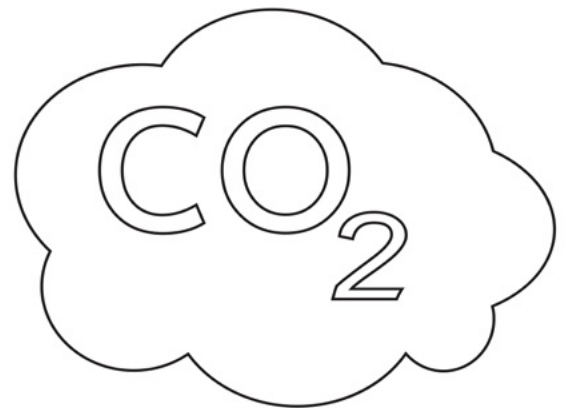
Baggrundsmateriale:

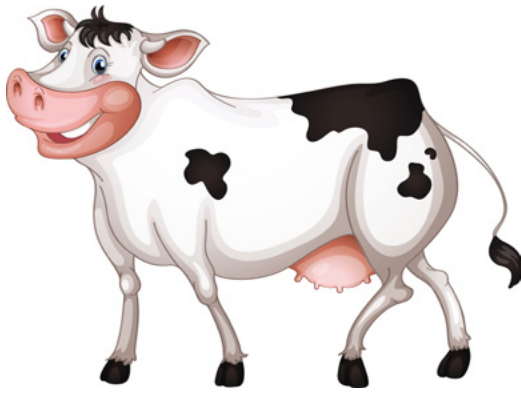
- Kapitel 2: Kulstofkredsløbet

FØRSTE DEL AF ØVELSEN:

- I første omgang skal I have placeret genstandene på tegningerne i de fire sfærer.
- Sæt jer sammen i grupper på 3-4 personer. Tag et stort stykke papir (A2 eller A3) og tegn en streg på langs og en på tværs, så I får fire felter. Skriv navnet på de fire sfærer i hver sit felt.
- Klip tegningerne på denne og de næste to sider ud og placer dem i den sfære, hvor de hører til (lad være med at klistre dem fast!).







ANDEN DEL AF ØVELSE 2: UDVEKSLINGER MELLEM KULSTOFKREDSLØBETS SFÆRER

Formål: At lære kulstofkredsløbets forskellige sfærer, samt udvekslingerne af kulstof imellem dem, at kende. OBS! Lav øvelsens første del, før du begynder på anden del.

Materialer:

- Udklip og ark fra øvelsesdel 1
- 1 stk. udprint af spørgsmålsark til hver gruppe

Sådan gør I:

Gennemgå nedenstående spørgsmål i plenum og svar på dem ved hjælp af jeres papir med sfærer og illustrationen af kulstofkredsløbet i kapitel 2.

Hvilke sfærer bevæger kulstoffet sig fra og til i fotosyntesen?

Hvilke sfærer bevæger kulstoffet sig fra og til i respirationen?

Hvordan foregår udveksling af kulstof mellem biosfæren og lithosfæren?

Hvordan foregår udveksling af kulstof mellem biosfæren og hydrosfæren?

Hvordan foregår udveksling af kulstof mellem hydrosfæren og atmosfæren?

Hvordan foregår udveksling af kulstof mellem lithosfæren og atmosfæren?

Hvordan foregår udveksling af kulstof mellem biosfæren og lithosfæren?

Hvordan foregår udveksling af kulstof mellem lithosfæren og hydrosfæren?

ØVELSE 3: BYG DIN EGEN VEDVARENDE ENERGITEKNOLOGI!

Formål: I denne øvelse skal I bygge og undersøge vedvarende energiteknologier.

Materialer:

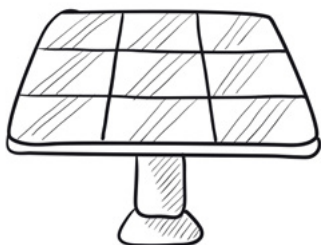
- Se, hvilke materialer det kræver at bygge prototyperne via nedenstående links

Baggrundsmateriale:

- Kapitel 3: Vedvarende energi

Sådan gør I:

- Udvalg en vedvarende energiteknologi.
- Byg en prototype af jeres vedvarende energiteknologi, eller undersøg teknologien på anden vis. Tal med jeres lærer – måske har I solcelle- eller vindmølle-byggekasser på skolen. I kan finde inspiration til, hvordan I kan bygge prototyper af energiteknologier nedenfor.
- Undersøg hvordan energiteknologien virker. I skal være helt skarpe på, hvordan teknologien er skruet sammen, og hvordan man kommer fra energikilde til energiproduktion via jeres teknologi.
- Fremlæg energiteknologierne for hinanden. I skal både kunne vise og fortælle om, hvordan teknologien virker. I kan også printe og bruge tekniske tegninger i jeres præsentation for klassen.



Find inspiration til, hvordan I kan bygge prototyper på energiteknologier:

VINDMØLLER:

<https://www.experimentarium.dk/klima/byg-din-egen-vindmoelle>

<http://www.skoven-i-skolen.dk/content/byg-en-vindm%C3%B8lle>

<http://www.skoven-i-skolen.dk/content/vindm%C3%B8lle-af-papir>

SOLCELLER:

Hvis I har et solcelle-kit på skolen, kan I eksperimentere med at forbinde solceller og undersøge, hvad de kan give energi til. Find inspiration til øvelser her (s. 9 og frem):

<http://docplayer.dk/26162-Forsoeg-med-energi-af-joern-matzen-janus-hendrichsen-og-johan-galster-redaktion-mari-ann-skovlund-jensen-et-materiale-fra-skolernes-energiforum.html>

SOLFANGER:

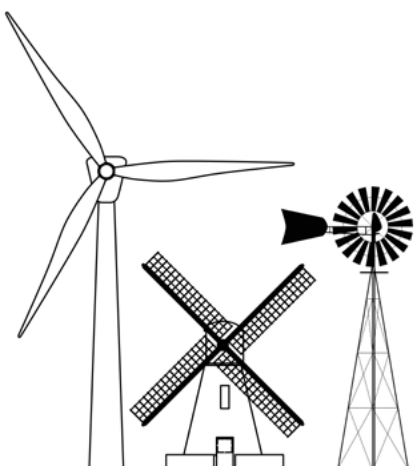
<http://net.grundfos.com/doc/webnet/skoletjenesten/opgaver/opgave-bygdinegensolfanger.html>

<http://docplayer.dk/26162-Forsoeg-med-energi-af-joern-matzen-janus-hendrichsen-og-johan-galster-redaktion-mari-ann-skovlund-jensen-et-materiale-fra-skolernes-energiforum.html> (s. 16)

VANDENERGI:

<http://www.skoven-i-skolen.dk/content/byg-en-vandm%C3%B8lle>

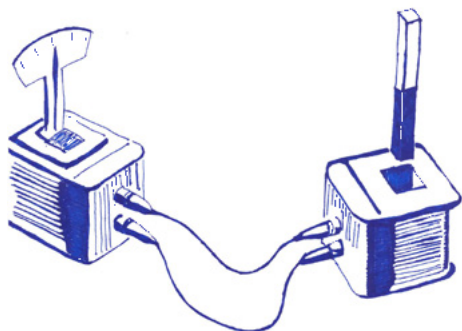
<http://net.grundfos.com/doc/webnet/skoletjenesten/opgaver/opgave-vandenergigiverlys.html>



ØVELSE 4: ELPRODUKTION

FØRSTE DEL AF ØVELSEN: INDUKTION OG ELEKTRICITET

Formål: I skal undersøge, hvordan man kan bruge magneter til at skabe elektrisk strøm igennem induktion.



Materialer:

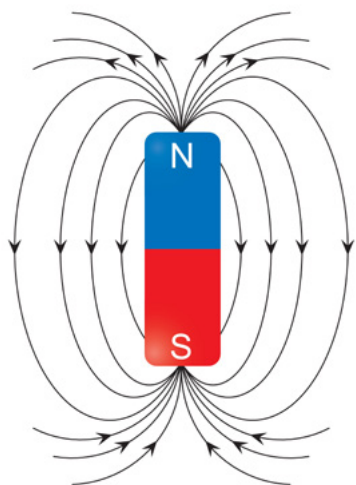
- Stor og lille stangmagnet (alternativt to stangmagneter tapet sammen)
- Forskellige spoler (200 og 400 vindinger)
- Ledninger
- Oscilloskop

Baggrundsmateriale:

- Kapitel 3: Vedvarende energi

Sådan gør I:

- Sæt ledninger mellem spole (200 vindinger) og oscilloskop.
- Tænd oscilloskop og sænk magnet ned i spolen.
- Prøv med forskellige magneter, spoler og med forskellig hastighed.



Magnetfelt for stangmagnet

Næsten alle de måder, vi producerer elektricitet på, bruger magneter til at skabe strøm igennem *induktion*. Enhver magnet er nemlig omgivet af et usynligt magnetfelt, der breder sig ud til alle sider. Når en magnet bevæges i en spole af kobbertråd, påvirker magnetfeltet frie elektroner i tråden, som ledes igennem den.

Når magneten bevæges ind i spolen, strømmer de frie elektroner mod den ene ende af ledningen, hvor der opbygges en minuspol (elektronoverskud), mens der i den anden ende dannes en pluspol (elektronunderskud). Imellem disse poler er der en spændingsforskel. Trækkes magneten ud igen, vil elektronstrømmen skifte retning, og polerne vil skifte side. Strømmen skifter altså hele tiden retning, og skaber det vi kalder vekselstrøm.

Hvis I tilslutter et oscilloskop, vil I kunne se, at der først går en strøm den ene vej og dernæst den anden vej.

**Lav opstillingen på billedet og prøv at bevæge magneten igennem spolen.
Hvornår skabes der en spændingsforskel? Er den konstant? Hvorfor/hvorfor ikke?**

**Prøv at skifte spolerne, magneterne og hastigheden, som magneten bevæges med.
Hvad sker der? Hvorfor?**

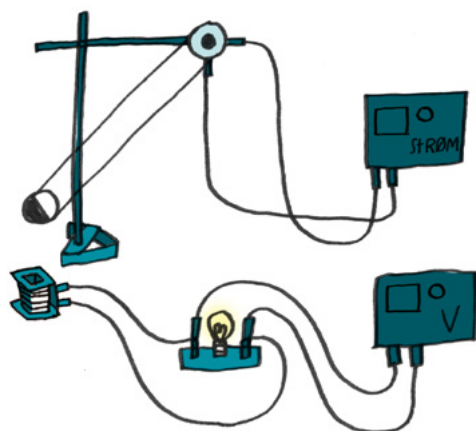
Hvilken form for energi omsættes til elektricitet ved induktion?

ANDEN DEL AF ØVELSE 4: ELPRODUKTION MED EN GENERATOR

Formål: At vise, at en generator kan bruges til at omdanne bevægelsesenergi til elektricitet.

Materialer:

- Spændingskilde
- Elmotor
- Roterende magnet
- Drivrem
- Forskellige spoler
- Pære (2V)
- Fatning
- Ledninger
- Voltmeter
- Amperemeter
- Oscilloskop



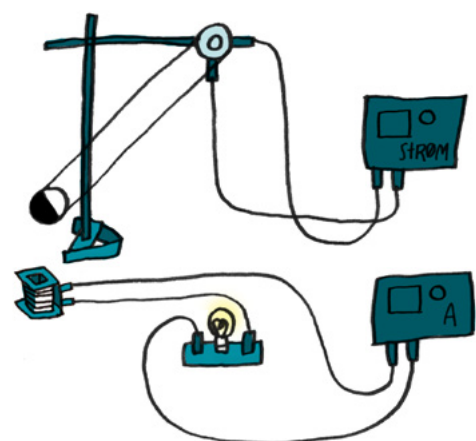
Billede 1

Baggrundsmateriale:

- Kapitel 3: Vedvarende energi

Sådan gør I:

- Lav opstillingen som vist på billede 1
- Prøv at få pæren til at lyse
- Tilslut et voltmeter og derefter et oscilloskop



Billede 2

Ved sidste øvelse så vi, at induktion kan bruges til at omdanne bevægelsesenergi til elektricitet. Det er den metode kraftvarmeværker og flere af de vedvarende energiteknologier bruger til at producere elektricitet. En generator producerer energi ved, at en magnet roterer ved siden af en spole. Her skal du prøve at lave energi med en generator. Lav først forsøgsopstillingen på billede 1.

Hvor stor er spændingsforskellen? Kan du frembringe en større spændingsforskel? Og hvordan?

**Udskift voltmeteret med et oscilloskop. Hvad viser det?
Hvad er det for en slags spænding, du producerer?**

**Lav nu opstillingen på Billede 2 og undersøg, hvor stor strømstyrke
dit kraftværk kan lave. Hvordan kan dette ændres?**

Hvilke vedvarende energiteknologier bruger generatorer til at producere elektricitet?

ØVELSE 5:

PLANTERS OPTAG AF CO₂

Formål: I skal undersøge, hvilke forhold der skal være til stede, hvis grønne planter skal kunne optage CO₂.

Materialer:

- Tre reagensglas
- Reagensglasstativ
- Tre propper markeret med tal
- CO₂-indikator
- Sugerør
- Sort pap
- To friske vandplanter, fx vandpest
- Konisk kolbe (250 ml)

Baggrundsmateriale:

- Kapitel 2: Kulstofkredsløbet

Sådan gør I:

- Fortynd CO₂-indikatoren i postevand i den koniske kolbe. Forholdet skal være ca. 1:10 – altså ti gange så meget vand som CO₂-indikator. I skal bruge ca. 100 ml fortyndet CO₂-indikator i alt.
- Fyld de tre reagensglas 2/3 op med den fortyndede CO₂-indikator.
- Pust udåndingsluft gennem et sugerør og ned i hvert af de tre reagensglas, til væsken bliver gul.
- Sæt en vandplante ned i glas 2 og 3 og dæk glas 3 til med sort pap, så der ikke kommer lys ind. Vandplanterne skal dækkes helt af væsken.
- Sæt prop i glassene og stil glassene i Solen.
- Kig til glassene efter en halv time og noter farven i skemaet nedenfor.
- Kig til planterne næste gang I har time og noter igen, hvilken farve væsken har i de tre glas.

Reagensglas	Startfarve	Farve efter 1/2 time	Farve næste time
Glas 1 (uden vandplante)			
Glas 2 (med vandplante)			
Glas 2 (med vandplante, tildækket)			

Svar på nedenstående spørgsmål:

Hvorfor bliver væsken gul, når I puster udåndingsluft ned i den?

Hvordan ændrer CO_2 -koncentrationen sig i de tre glas undervejs i forsøget?
Forklar hvorfor.

LINKSAMLING TIL KORT I ØVELSE 1

- **Kort 1:** temperatur (°C) for Gassum-reservoirret.
Kilde: <http://dybgeotermi.geus.dk/det-strategiske-forskningsraad/forskningsprojekt-dsf-geotermi/>
- **Kort 2:** Middeltemperatur i Danmark for 2016.
Kilde: DMI. <https://www.dmi.dk/vejr/arkiver/maanedsaesonaar/vejr-ret-i-danmark-aaret-2016/>
- **Kort 3:** Samlet vejrdato for Danmark i 2006-2015
Kilde: DMI. <https://www.dmi.dk/vejr/til-lands/maaned-og-saesonaar/>
- **Kort 4:** Vindpotentiale i Danmark.
Kilde: Erhvervsstyrelsen. https://erhvervsstyrelsen.dk/sites/default/files/Vindres_100mean_A4_1.png
- **Kort 5:** Gennemsnitlig vindhastighed 80 m. over jordoverfladen.
Kilde: <http://i.imgur.com/TjZNYo4.jpg>
- **Kort 6:** Geotermiske hotspots i verden.
Kilde: http://energyeducation.ca/encyclopedia/Geothermal_electricity
- **Kort 7:** Global solindstråling. Kilde: <http://geosun.co.za/solar-maps/>
- **Kort 8:** Vandkraftpotentiale (målt i gigawatt-timer om året)
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0171844>

KULSTOF OG VEDVARENDE ENERGITEKNOLOGIER

Elevmateriale

Udviklet af:

*Energistyrelsen og Afdelingen for Bæredygtig Udvikling
i Københavns Kommune*

Illustrationer og layout:

Line Kjeldsen Jensen

Korrektur:

Rasmus Fredgaard

Tak til:

ENERGI & VAND for lån af billeder og tegninger

*Materialet er udgivet af Energistyrelsen i samarbejde med Afdelingen
for Bæredygtig Udvikling, Københavns Kommune, 2017*

*Elevmaterialer og lærervejledning kan frit downloades fra
www.groen.kk.dk, www.astra.dk og www.emu.dk*