



Klima på menuen

Elevmateriale

Fælles introduktion til temahæfter

Med tekster og øvelser

Indhold

Klima på menuen	3
1	
Fødevarer og den globale opvarmning.....	4
Drivhuseffekten.....	6
Drivhusgasser.....	9
2	
Carbonkredsløbet.....	11
Fødevarers påvirkning af carbonkredsløbet.....	15
Produktion af fødevarer.....	15
Transport af fødevarer.....	17
Produktion af fødevareemballage.....	17
3	
Dit videre arbejde	18
Øvelse 1: Model af drivhuseffekten.....	19
Øvelse 2: Eksperiment om drivhuseffekten.....	20
Øvelse 3: Fotosyntese og respiration	21
Øvelse 4: Fødevarer og carbonkredsløbet.....	22



Udarbejdet af
Afdelingen for Bæredygtig Udvikling i Københavns Kommune
Med støtte fra
Forskningens Døgn under Uddannelses- og Forskningsministeriet
Layout og illustrationer
Stine Engels / www.stineengelsdesign.com

Klima på menuen

Kære elev

Du skal nu til at gå i gang med undervisningsmaterialet Klima på Menuen. Du får mulighed for at vælge mellem tre forskellige temaer, du kan gå i dybden med: Det første handler om klimavenlig mad, det andet handler om madspild, og det tredje handler om madaffalds forvandling til biogas og gødning. Inden du vælger, hvilket tema du gerne vil undersøge nærmere, skal du først arbejde med dette fælles introduktionshæfte.

I introduktionshæftet finder du al den viden, du har brug for for senere at kunne arbejde i dybden med de tre temaer. Her kan du blive klogere på, hvad drivhusgasser er, hvordan fødevarer hænger sammen med drivhuseffekten, og hvilken rolle fødevarer spiller i carbonkredsløbet.

Klimaet forandrer sig hurtigt i disse år, deraf navnet klimaforandringer. Det bliver generelt varmere og varmere – en tendens vi kender som global opvarmning. Vi oplever oftere ekstreme vejrfænomener som tørke, skybrud og orkaner. Klimaforandringerne er ikke til diskussion – de fremgår tydeligt af alt vores data om bl.a. temperatur, nedbør og vindforhold. Til gengæld har det tidligere været diskuteret, hvorvidt klimaforandringer er menneskeskabte eller ej, da det kan være svært at bevise årsagssammenhænge. I dag er der dog overbevisende stor enighed blandt forskere om, at klimaforandringerne er menneskeskabte. FN's klimapanel (IPCC) har regnet ud, at sandsynligheden for, at klimaforandringerne ikke er menneskeskabte er 1 til 3.500.000¹.

Fødevarer spiller en stor rolle i den menneskeskabte globale opvarmning, fordi fødevarerproduktionen er ansvarlig for en fjerdedel af den samlede udledning af drivhusgasser på verdensplan². Desværre ender omkring en tredjedel af fødevarerne som affald i stedet for at blive spist, og dermed har drivhusgasudledningen fra kasserede fødevarer været komplet meningsløs. Der er derfor et stort potentiale for at mindske drivhusgasudledningen, hvis vi kigger nærmere på, hvad det er der gør, at udledning fra fødevarerproduktion er så høj, samt arbejder med, hvordan vi kan minimere spildet.

Derudover er der et potentiale for at minimere drivhusgasudledningen ved at kigge nærmere på fødevarernes efterliv, dvs. hvad vi gør med maden, når vi smider den ud. Sorteres madaffald fra og genanvendes, kan det nemlig blive til både biogas og gødning. Biogas kan være et alternativ til ikke-bæredygtige energikilder (også kaldet fossile brændsler), hvorved vi kan reducere drivhusgasudledninger.

Alt dette er en lille forsmag på, hvad de tre temahæfter handler om. Når du har arbejdet dig igennem dette introduktionshæfte, er du helt klar til at dykke ned i de spændende temaer, når klima står på menuen.

Rigtig god læselyst!

¹ <https://videnskab.dk/naturvidenskab/9999-procent-sikkert-at-global-opvarmning-er-menneskeskabt>
² <https://ourworldindata.org/food-ghg-emissions>

Fødevarer og den globale opvarmning

I takt med, at vi er blevet flere mennesker på Jorden, er vi også blevet mere effektive til at producere mad. Frem mod år 2050 forventes det, at det globale befolkningstal vil stige fra omkring 7,8 milliarder mennesker i dag til omkring 9,7 milliarder. Det betyder, at vi i fremtiden skal blive endnu bedre til at producere mere mad. Men det betyder også, at vi bliver nødt til at overveje, hvilke fødevarer vi forbruger, hvordan vi forbruger dem – og hvordan vi bortskaffer dem.

I dag står fødevarereproduktionen for en fjerdedel af menneskets samlede udledning af drivhusgasser. Fødevarer spiller derfor en stor rolle i den globale opvarmning og dermed i klimaforandringerne.



Hvad er forskellen på vejr og klima?

Vejret skifter fra dag til dag og fra årstid til årstid. Det er altså et øjebliksbillede, og derfor kan man ikke tale om, at klimaet ændrer sig, når man oplever én slags vejr den ene dag og en anden slags vejr en anden dag.

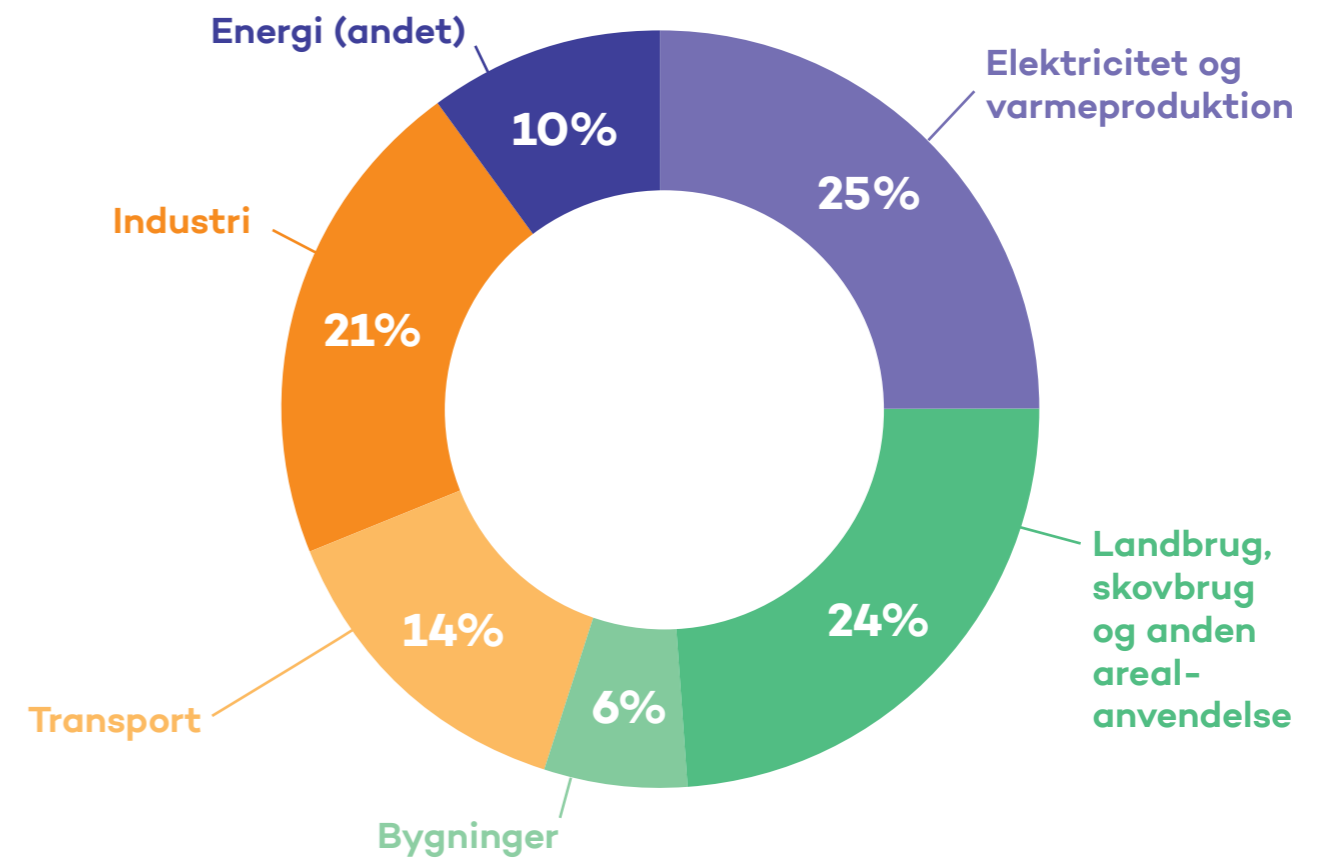
Klimaet er gennemsnitsvejret over en længere periode, normalt 30 år. Klima omfatter bl.a. temperatur, nedbør, vind, lufttryk, skydække og solindfald.

Klimaforandringer

For at kunne vurdere om klimaet ændrer sig, er man nødt til at have en periode at sammenligne med. Ofte bruger man gennemsnitsvejret for en 30-årig periode, og den periode man indtil nu har anvendt er 1961–1990. Her blev Jordens gennemsnitstemperatur målt til 15°C.

Andre gange sammenligner man nutidens klima med klimaet før industrialiseringens begyndelse. Industrialiseringen betegner en tidsperiode fra 1700-tallet og frem med hastige teknologiske fremskridt såsom opfindelse og udbredelse af dampmaskinen og elektricitet, dvs. en periode med støt stigende forbrug af energi og brændsel. FN's klimapanel (IPCC) anvender perioden 1850-1900 som udgangspunkt for den førindustrielle temperatur – dvs. hvor varmt der var på Jorden inden industrialiseringen – og sammenligner altså nutidens temperatur med den førindustrielle temperatur.

Global udledning af drivhusgasser fordelt på økonomiske sektorer



Data fra IPCC (2014)³

Det er meget forskelligt, hvor stor drivhusgasudledningen er for de enkelte fødevarer. Man taler derfor om, at fødevarer har forskellige klimaaftryk. Jo større klimaaftryk, des større drivhusgasudledning.



Hvad er klimaaftryk?

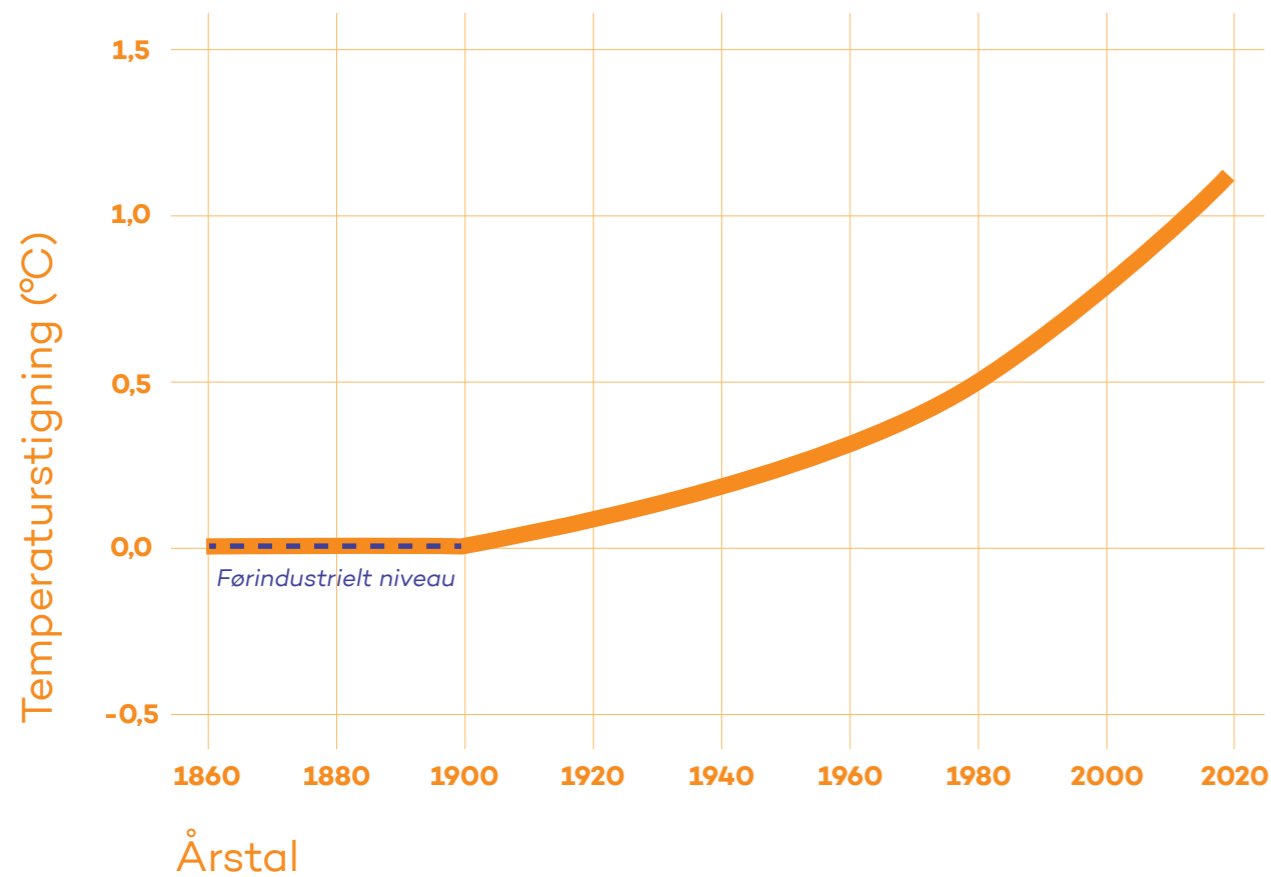
Klimaaftryk er et mål for fx fødevarers samlede udledning af drivhusgasser målt i CO₂-ækvivalenter (se forklaring af CO₂-ækvivalent under afsnit om drivhusgasser).

Den stigende udledning af drivhusgasser fra bl.a. fødevarereproduktionen har medført global opvarmning. Figuren nedenfor viser den globale temperaturstigning set i forhold til et førindustrielt niveau (se faktaboks for forklaring af førindustrielt niveau). Som det kan ses på figuren, er Jordens temperatur altså i gennemsnit steget med omkring 1°C. Det lyder måske ikke af meget, men det har store konsekvenser for klimaet.

³ Kilde: IPCC 2014, <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>

Ændringer i atmosfærens temperatur i forhold førindustrielt niveau

Menneskeskabt temperaturændring



Lavet på baggrund af data fra IPCC 2018⁴

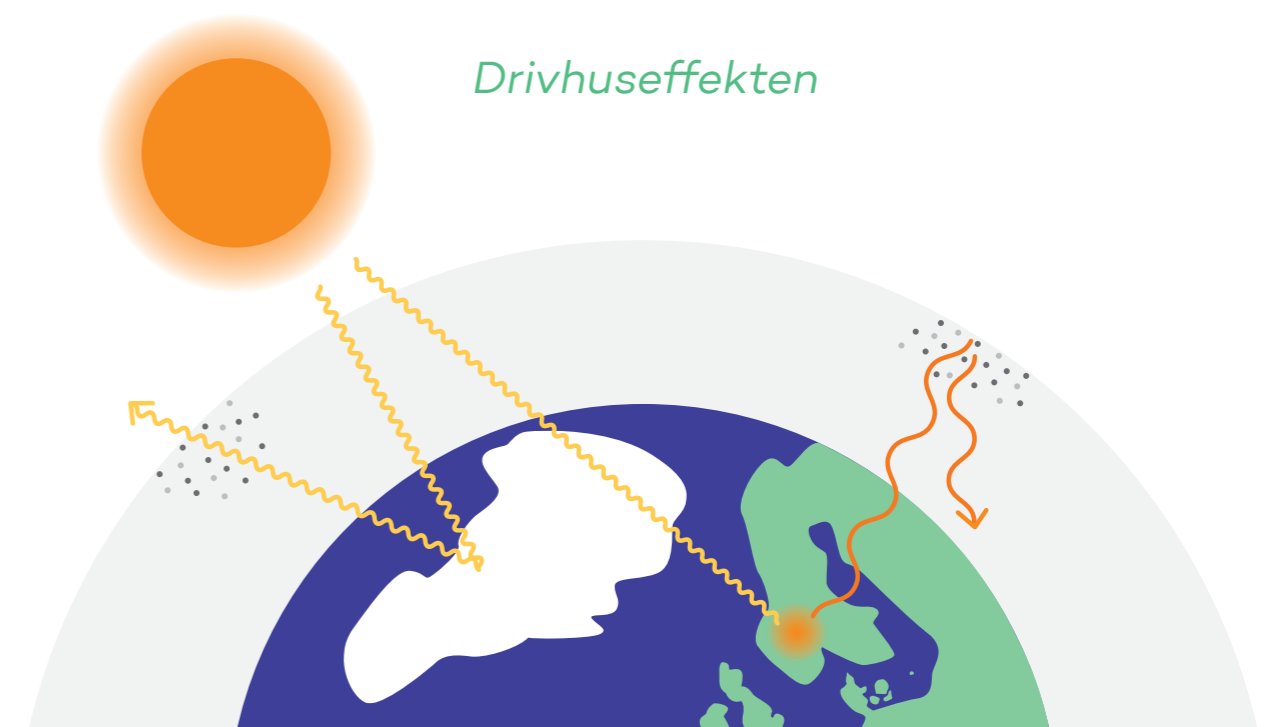
I 2015 blev verdens lande enige om en klimaaftale (Parisaf-talen), hvor de besluttede, at den globale temperaturstigning skal holdes under 2°C – dog helst ikke mere end 1,5°C – i forhold til et førindustrielt niveau. Hvis målet skal overholdes, betyder det, at der meget hurtigt skal ske en kraftig reduktion i den menneskeskabte udledning af drivhusgasser. Heldigvis er der mange måder at nedbringe udledningen af drivhusgasser på, og det skal vi lære mere om i temahæfterne. Men inden du når dertil, skal du først forstå, hvorfor den globale temperatur stiger, når atmosfærens indhold af drivhusgasser stiger. I det næste afsnit skal vi derfor kigge lidt nærmere på drivhuseffekten.

Drivhuseffekten

Hvad tænker du på, når du hører ordet drivhuseffekten? Hvis du nogensinde har prøvet at være i et drivhus, så ved du, at et drivhus holder på varmen. Det er faktisk det samme, der sker ved drivhuseffekten. Hvor det i drivhuset er glasset, der holder på varmen, så er det drivhusgasserne i atmosfæren, der holder på Jordens varme. Men til forskel fra drivhuset, hvor glasset er et afgrænset lag, der holder på varmen, så ligger drivhusgasserne i atmosfæren ikke som et afgrænset lag. Faktisk befinder drivhusgasserne sig overalt i hele atmosfæren.

Hvad er atmosfæren?

Atmosfæren er luftlagene omkring Jorden. Den fylder ikke særlig meget i forhold til Jordens størrelse, men atmosfæren har afgørende betydning for klimaet og livet på Jorden.



Drivhuseffekten bliver ofte omtalt som et problem, når det handler om global opvarmning, men vi skal faktisk være glade for, at vi har den. Uden drivhuseffekten ville Jordens gennemsnitstemperatur nemlig være -19°C, og det er lidt koldere end i en fryser. Drivhuseffekten er altså afgørende for klimaet og livet på Jorden, som vi kender det.

For rigtig at forstå drivhuseffekten er det først nødvendigt at forstå, hvordan drivhusgasserne har indflydelse på Jordens klima. Drivhusgasser findes bl.a. i atmosfæren og har en

⁴ https://www.ipcc.ch/sr15/graphics/#cid_455

særlig egenskab: Gasserne lader nemlig Solens stråler slippe ned til Jorden og forhindrer en del af varmen fra Jorden i at slippe ud igen. Drivhusgasserne holder altså på varmen!



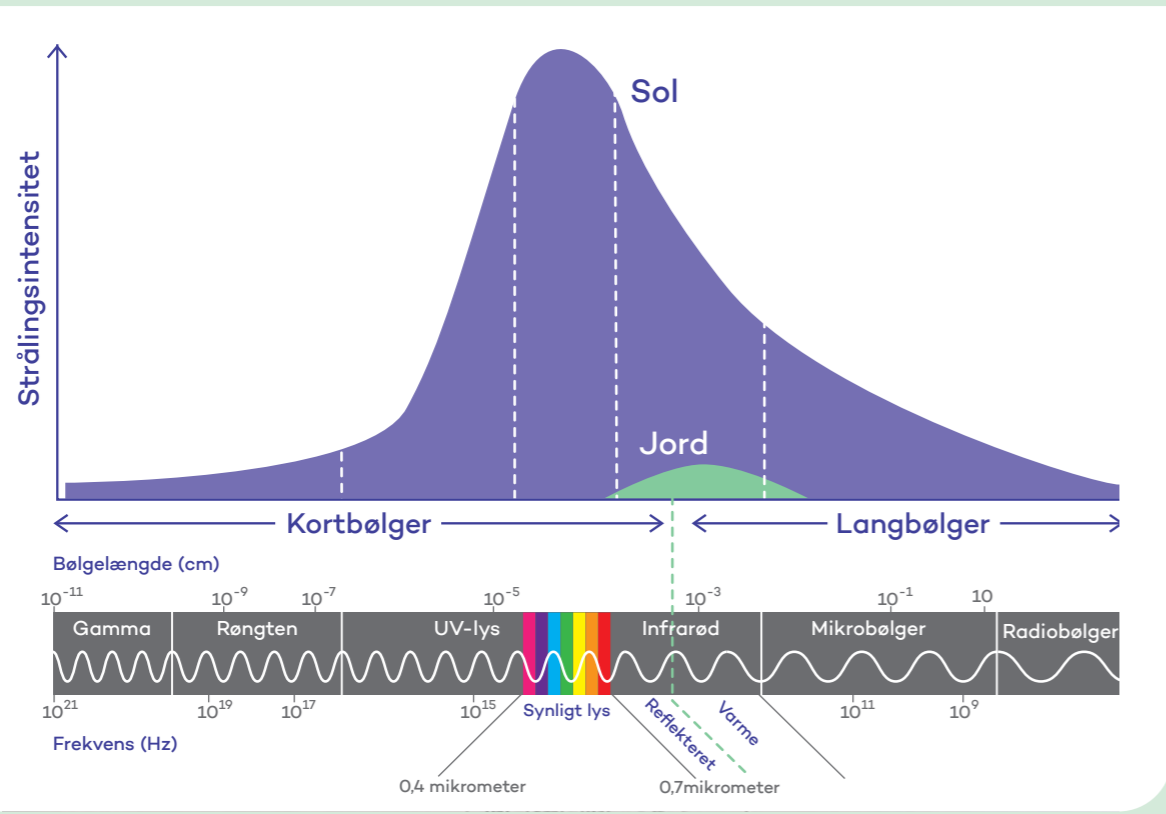
Hvad er stråling og bølgelængder?

Alting, der har en temperatur over $-273,15^{\circ}\text{C}$ (i fysik kaldes dette 'det absolutte nulpunkt'), udsender stråling. Det betyder altså, at du (og alle du kender) udsender stråling - og det gør Solen og Jorden også. Jo varmere noget er, jo mere kortbølget er strålingen.

Det vil altså sige, at Solen, som er meget varm (Solen overflade er ca. 5.500°C), udsender mest kortbølget stråling i form af synligt lys. Som du kan se på figuren nedenunder, udsender Solen faktisk mange forskellige former for stråling, men har sit toppunkt i den del af det elektromagnetiske spektrum, der kaldes for synligt lys.

Jorden, som er koldere (med en gennemsnitlig overfladetemperatur på ca. 15°C), udsender mest langbølget stråling. Som du kan se på figuren nedenfor, ligger Jordens stråling primært i den del af det elektromagnetiske spektrum, der kaldes for infrarød stråling (også kaldet varme-stråling).

Solens og Jordens stråling i det elektromagnetiske spektrum



Som du kan læse i faktaboksen, udsender Solen kortbølget stråling især i form af synligt lys, mens Jorden udsender langbølget stråling, primært i form af varmestråling. På figuren af drivhuseffekten ovenfor er Solens kortbølgede stråling markeret med gule pile, mens Jordens langbølgede stråling er markeret med røde pile.

En stor del af Solens stråling passerer gennem Jordens atmosfære. Der bliver en del af strålingen optaget (absorberet) af jordoverfladen og omdannet til varme. En anden del af strålingen reflekteres af især de lyse områder på Jorden (dvs. områder med høj albedo-grad, fx is og sne - se faktaboks for uddybning) og sendes ud i universet igen.




Hvad er albedo?

Albedo kaldes også for refleksionsevne og beskriver, hvor stor en del af Solens stråler en overflade reflekterer tilbage ud i universet.

Forskellige overflader har meget forskellige albedograder (refleksionsevner). Lyse områder med is eller sne reflekterer helt op til 85% af solstrålingen, mens mørke områder som fx havet reflekterer helt ned til 3% af solstrålingen. Da mørke områder ikke reflekterer solstrålingen lige så effektivt, optager områderne også mere stråling, som omdannes til varme, end de lyse - måske du selv har mærket forskellen på at have en sort eller hvid T-shirt på en varm sommerdag?

Derfor er det også et problem i forhold til klimaforandringer, når is og sne smelter, fordi vi så får færre lyse områder på Jorden, der kan reflektere Solens stråler. Dermed forstærkes den globale opvarmning.

Jorden kommer af med varmen igen ved at udsende langbølget stråling - altså varmestråling. En del af den langbølgede stråling bliver på sin vej ud i universet bremset af atmosfærens drivhusgasser, som optager (absorberer) strålerne og sender noget af strålingen tilbage mod Jorden igen. Ligesom i et drivhus holder Jordens atmosfære altså på varmen fra Solen, og det er netop dette fænomen, som kaldes drivhuseffekten. Inden du går videre, så lav øvelse 1 og test din viden om drivhuseffekten.

→ **Find øvelse 1 „Model af drivhuseffekten“** bagerst i hæftet, og brug din viden om drivhuseffekten. 

Som sagt er drivhuseffekten i sig selv vigtig for livet på Jorden, da der ellers ville være alt for koldt. Dét, hvor bekymringen om global opvarmning opstår, er, når vi taler om menneskets påvirkning af drivhuseffekten. Når mennesker afbrænder fossile brændsler, fælder skov, producerer mad osv., udledes der nemlig drivhusgasser til atmosfæren. Jorden får herved sværere ved at komme af med varmen igen, og så stiger temperaturen. I næste afsnit kan du læse mere om drivhusgasserne, og hvor fødevarerproduktionens udledninger af drivhusgasser stammer fra.

→ **Find øvelse 2** „Eksperiment om drivhuseffekten“ bagerst i hæftet, og lav jeres eget eksperiment.

Drivhusgasser

Drivhusgasser dækker over de gasser, der absorberer den langbølgede varmestråling fra Jorden, men lader den kortbølgede lysstråling fra Solen passere igennem. Derfor kan Solens lysstråling komme ned til Jorden, men varmestralerne fra Jorden har svært ved at komme ud igen.

Drivhusgasser fylder meget i diskussionen af global opvarmning og klimaforandringer, så det er nærliggende at tro, at drivhusgasserne udgør en stor del af Jordens atmosfære. Men sådan forholder det sig ikke. Faktisk består størstedelen af Jordens atmosfære af kvælstof og ilt. I faktaboksen nedenfor kan du se de forskellige gasser, atmosfæren består af.

Hvad er atmosfærens sammensætning?

78,08%	Kvælstof (N ₂)
20,95%	Ilt (O ₂)
0-4%	Vanddamp (H ₂ O) (gennemsnitlig 1%)
0,93%	Argon (Ar)
0,038%	Kuldioxid (CO ₂)
0,002%	Andre luftarter

Som det fremgår af faktaboksen, udgør CO₂ kun 0,038% af Jordens atmosfære, mens vanddamp, som også er en drivhusgas, i gennemsnit udgør 1%. Alle de andre drivhusgasser ligger i kategorien 'andre luftarter' og udgør tilsammen kun 0,002%. Selvom drivhusgasserne altså ikke udgør så stor en andel af atmosfæren, så har de stor indflydelse på klimaet.

For bedre at kunne forstå, hvorfor fødevarer påvirker drivhuseffekten og herved klimaet, så lad os se lidt nærmere på nogle af de vigtigste drivhusgasser, der stammer fra produktionen af fødevarer.

Kuldioxid (CO₂)

CO₂ er nok den mest berømte drivhusgas, og også den drivhusgas, som mennesket udleder mest af. Koncentrationen af CO₂ i atmosfæren er 40% højere, end den var inden industrialiseringen, og drivhusgassen er ansvarlig for hele 63% af den menneskeskabte globale opvarmning. Drivhusgassen dannes bl.a., når organisk materiale (se faktaboks) afbrændes eller nedbrydes. Dvs. der frigives CO₂, når skov, affald, fossile brændsler og andet organisk materiale brændes af. Ligeledes frigives der CO₂, når organisk materiale nedbrydes – fx når maden, vi spiser, nedbrydes i vores maver, eller når bakterier og smådyr nedbryder organisk materiale såsom nedfaldne blade.

Hvad er organisk materiale?

Organisk materiale er dannet af levende organismer. Det kan være fx levende mennesker, dyr, planter og alger. Men organisk materiale kan også bestå af organismer, som en gang var levende, men ikke længere er det, fx de fossile brændsler olie og kul. Alt organisk materiale indeholder carbon (grundstoffet C).

Metan (CH₄)

CH₄ dannes naturligt bl.a., når dødt organisk materiale omdannes af bakterier i iltfattige miljøer som sumpe eller på havets bund. Men det meste af atmosfærens indhold af CH₄ stammer fra menneskeskabte aktiviteter – især fra landbruget, hvor CH₄ frigives når køer og andre drøvtyggere bøvser. Atmosfærens indhold af CH₄ er meget mindre end indholdet af CO₂, men alligevel er CH₄ ansvarlig for 19% af den menneskeskabte globale opvarmning. Det skyldes, at CH₄ er en kraftig drivhusgas – faktisk er den 23 gange kraftigere end CO₂ (dvs. den er 23 gange mere effektiv til at holde på Jordens varmestråling, end CO₂ er).

Lattergas (N₂O)

N₂O kender du måske fra besøg hos tandlægen, men har du nogensinde overvejet, hvad det egentlig er, og hvor det ellers stammer fra? N₂O kommer bl.a. fra oceanerne, nedbrydning af organisk materiale og fra landbruget. N₂O er en drivhusgas, der er hele 298 gange kraftigere end CO₂ (dvs. den er 298 gange mere effektiv til at holde på Jordens varmestråling, end CO₂ er). Gassen er ansvarlig for 6% af den menneskeskabte globale opvarmning. Landbruget er den største kilde til det menneskeskabte udslip af drivhusgassen, fordi jordbakterier omdanner kvælstof fra gødningen til N₂O.

Tabellen nedenfor viser relationen mellem drivhusgasserne CO₂, CH₄ og N₂O. Her kan du også finde tal på, hvor meget de er steget siden industrialiseringen.

	Stigning i atmosfæren siden industrialiseringen (%)	Bidrag til den menneskeskabte globale opvarmning (%)	Effektivitet i forhold til at holde på Jordens varmestråling
CO₂ (kuldioxid)	40	63	1
CH₄ (metan)	153	19	23
N₂O (lattergas)	18	6	298

Tal fra DMI og Europa-Kommissionen⁵

NB: De resterende 12% af den menneskeskabte globale opvarmning kommer fra alle de øvrige drivhusgasser

CO₂-ækvivalent (CO₂e)

Udover de tre drivhusgasser, du lige har læst om, findes der flere andre. De har det tilfælles, at de alle tilbageholder Jordens langbølgede varmestråling, mens de lader Solens kortbølgede lysstråling passere. Men det er meget forskelligt, hvor kraftige de forskellige drivhusgasser er. Som du lige har læst, er CH₄ 23 gange kraftigere end CO₂, mens N₂O er 298 gange kraftigere. Derfor er det meget svært at sammenligne drivhusgasserne med hinanden. For alligevel at gøre det muligt at sammenligne dem, omregnes de forskellige drivhusgasser til, hvad de ville svare til i CO₂. Det kaldes for CO₂-ækvivalenter, som ofte forkortes CO₂e. Det vil altså sige, at fx 1 ton CH₄ svarer til 23 ton CO₂e, mens 1 ton N₂O svarer til 298 ton CO₂e.

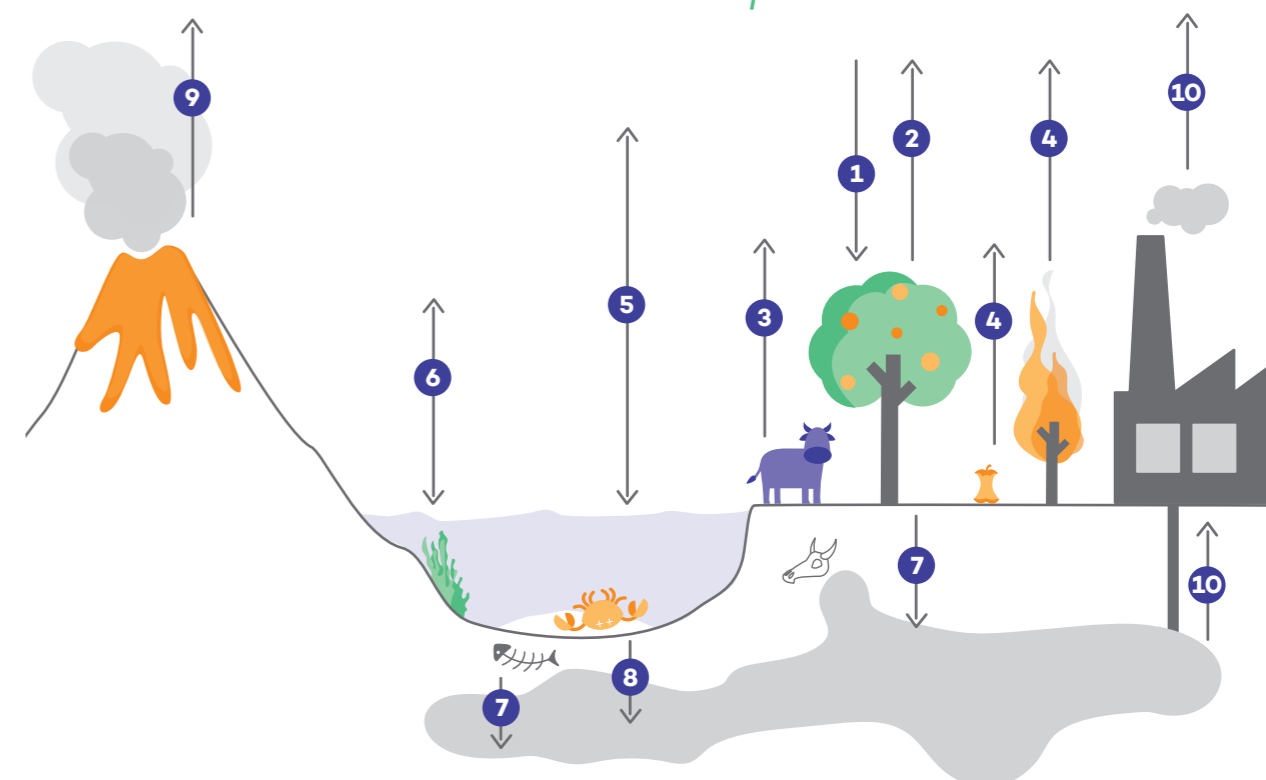
Carbonkredsløbet

Som du lige har læst, er de to vigtigste drivhusgasser CO₂ og CH₄, når det kommer til den menneskeskabte udledning af drivhusgasser. CO₂ bidrager til 63% af den menneskeskabte globale opvarmning, mens CH₄ bidrager til 19%.

Fælles for de to drivhusgasser er, at de begge indeholder grundstoffet C – altså carbon (også kaldet kulstof). Carbon er et meget vigtigt grundstof, som, udover at indgå i drivhusgasserne CO₂ og CH₄, også indgår i alt organisk materiale (se faktaboks om organisk materiale). Carbon bevæger sig rundt på Jorden, og derfor taler man om, at carbon indgår i et kredsløb – carbonkredsløbet (også kendt som kulstofkredsløbet). Den samlede mængde af carbon på Jorden er altid den samme, men det varierer hvor meget carbon, der befinder sig hvor.

Man kan dele Jordens lagre af carbon op i fire forskellige kategorier: Atmosfæren (de luftarter, som omkranser Jorden), hydrosfæren (alt det vand, som findes på Jorden), biosfæren (alt levende) og lithosfæren (de øverste 100-150 km af Jordens undergrund). Carbon bevæger sig mellem disse fire carbonlagre, og nedenfor forklarer vi, hvordan denne bevægelse foregår.

Carbonkredsløbet på Jorden



Som det fremgår af figuren, bevæger carbon sig naturligt rundt mellem de fire lagre. Nogle af bevægelserne sker over kort tid – helt ned til et par minutter, mens andre bevægelser sker over lang tid – op til flere hundrede millioner år. Her beskrives carbons bevægelse med udgangspunkt i modellens pile.

⁵ https://ec.europa.eu/clima/change/causes_da

Udveksling mellem atmosfære og biosfære

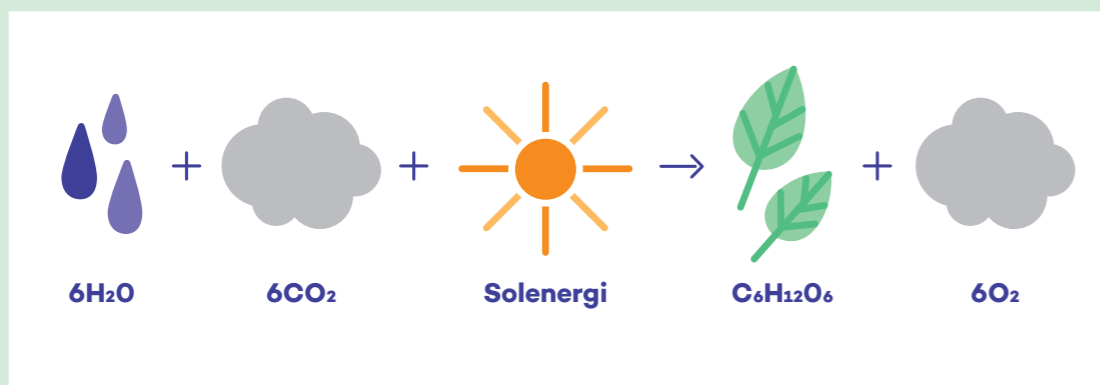
- **Pil 1:** Når planter laver fotosyntese, optager de CO₂ fra atmosfæren og danner organisk stof – som indeholder carbon (se faktaboks for uddybning af fotosyntese).
- **Pil 2:** Planter frigiver også CO₂ til atmosfæren. Det gør de bl.a. om natten, hvor der ikke er sollys til stede, og de derfor ikke kan lave fotosyntese. I stedet respirerer de (se faktaboks for uddybning af respiration). Heldigvis bruger planterne mere CO₂ under fotosyntese, end de frigiver til atmosfæren igen under respiration.
- **Pil 3:** Når mennesker og dyr trækker vejret (respirerer) indåndes ilt og udåndes CO₂. Det sker, fordi kroppen bruger ilt til at nedbryde mad og optage næring fra den. Restproduktet i nedbrydning er CO₂, som herefter udåndes.
- **Pil 4:** Når dødt organisk materiale, fx dyr og planter, nedbrydes i jorden, frigives carbon enten som CO₂ eller CH₄ (afhængig af hvor meget ilt der er til stede). Det samme sker, når organisk materiale afbrændes, fx når træer brændes af. Her omdannes alt det carbon, træerne har optaget igennem fotosyntese, til CO₂ som frigives til atmosfæren.



Hvad er fotosyntese?

Hvis planter skal vokse, har de foruden næringsstoffer brug for vand, solenergi og ikke mindst CO₂. Dette kaldes for fotosyntese. Her optager planterne altså CO₂ fra atmosfæren og udleder restproduktet O₂ – altså ilt, som du og alle andre mennesker og dyr bruger, når I trækker vejret.

Under fotosyntesen fjernes carbon altså fra atmosfæren (i form af CO₂) og lagres som organisk materiale i planten (i form af C₆H₁₂O₆ – også kaldet glukose eller kulhydrat). I denne proces bevæger carbon sig altså fra atmosfæren til biosfæren.



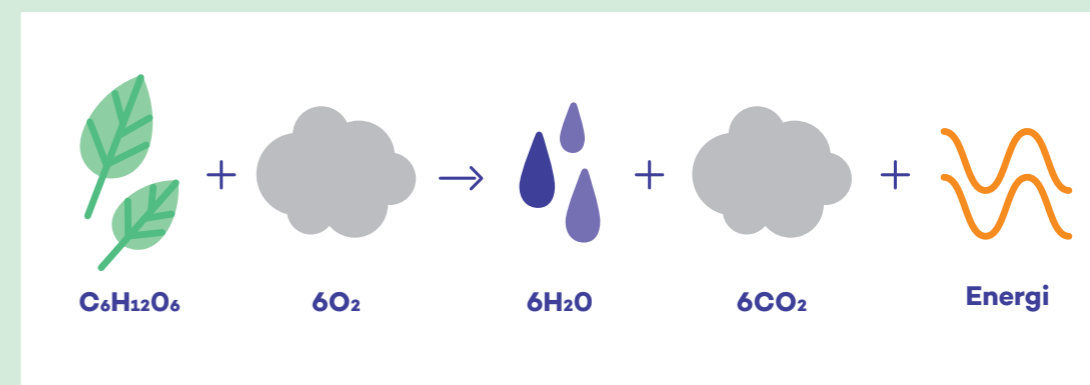
Hvad er respiration, nedbrydning og forbrænding?

Ved respiration optager organismer ilt og udskiller CO₂. Iltten bruges til forbrænding af fx kulhydrater, fedtstoffer og protein, hvorved der dannes CO₂, vand og energi. Det kender vi særligt fra os mennesker og dyr. Men faktisk gør planter det også – særligt om natten, når solen ikke er fremme (dog optager planter meget mere CO₂ gennem fotosyntese end de afgiver gennem respiration).

Når planter og dyr dør, nedbrydes de af smådyr og mikroorganismer (disse kaldes for nedbrydere). Respiration er en del af nedbrydning, hvor det døde organiske materiale omdannes til CO₂, vand og næringsstoffer.

Ved afbrænding af organisk materiale sker ligeledes en tilsvarende proces. Dette kaldes også forbrænding. Her reagerer carbon, der er bundet i det organiske materiale med atmosfærens ilt, når det brændes af. Restprodukterne er CO₂, vand og energi.

Derfor er det den samme kemiske proces, der sker, uanset om vi har med respiration, nedbrydning eller forbrænding at gøre. I processen bevæger carbon sig fra biosfæren eller lithosfæren til atmosfæren.



→ **Find øvelse 3** „Fotosyntese og respiration“ bagerst i hæftet, og eksperimenter med planter under forskellige forhold.



Udveksling mellem atmosfæren og hydrosfæren

- **Pil 5:** Oceanerne optager CO₂ fra atmosfæren og frigiver noget af det igen. Det er især kolde havområder, der optager CO₂ fra atmosfæren, mens varme havområder frigiver CO₂ til atmosfæren.
- **Pil 6:** Ligesom planterne på landjorden laver algerne i oceanerne også fotosyntese og optager herved CO₂ fra atmosfæren. De respirerer også, hvorved de frigiver CO₂ til atmosfæren, men heldigvis optager de mere CO₂, end de frigiver.

Fra biosfære til lithosfære

- **Pil 7:** Når dødt organisk materiale begravnes under iltfrie forhold (fx på havets bund eller i moser), kan der under de rette forhold dannes fossile brændsler (kul, olie, naturgas). På den måde flyttes carbon fra biosfæren til lithosfæren.
- **Pil 8:** Kalk er et andet eksempel på carbon der flyttes fra biosfæren til lithosfæren. Kalk dannes i havet, når fx alger og dyr med kalkskaller dør og synker til bunds. Kalkskallerne indeholder carbon, som algerne og dyrene har opbygget ved at optage CO₂.

Fra lithosfære til atmosfære

- **Pil 9:** Når vulkaner går i udbrud, frigiver de bl.a. CO₂ til atmosfæren.

Som sagt flytter carbon sig mellem lagrene i forskelligt tempo. Det er en vigtig pointe! I princippet kan CO₂ og CH₄, som befinder sig i atmosfæren (og medvirker til global opvarmning) godt komme tilbage til lithosfæren, dvs. blive lagret i jorden i form af fx kul, gas og olie. Problemet er bare, at det tager millioner af år. Hvorimod det kan tage få minutter at brænde fossile brændsler af og udlede CO₂ til atmosfæren (se **pil 10**). Det svarer til at sætte 1,- ind på bankkontoen om dagen, men hæve 1000,- en gang om ugen. Regnestykket går ikke op.

Vi skal nu se lidt nærmere på, hvordan fødevarer påvirker carbonkredsløbet gennem tre processer: Produktion af fødevarer, transport af fødevarer og produktion af fødevareremballage.

Fødevarers påvirkning af carbonkredsløbet

Produktion af fødevarer

Når fødevarer produceres, udledes der en hel del CO₂ og CH₄. Der flyttes altså store mængder af carbon op i atmosfæren. I det følgende kan du læse om nogle eksempler på, hvor udledningerne kommer fra.

Skovrydning

Når vi dyrker fødevarer – hvad end det er grøntsager til os mennesker eller soja til dyrefoder – så har vi brug for en masse plads. Derfor fældes en hel del skov for at få plads til vores produktion af fødevarer. Skovrydning er faktisk den tredjestørste kilde til global opvarmning, og det vurderes, at op til 20% af den menneskeskabte udledning af drivhusgasser stammer fra rydning af skov⁶.

Hvordan kan det være? Det hænger sammen med fotosyntese (se faktaboks), nedbrydning og forbrænding (se faktaboks). Når træerne laver fotosyntese, lagrer de carbon, da de optager CO₂ og frigiver ilt. Træerne fungerer altså som et kæmpe CO₂-lager. Når vi fælder træerne, sker der derfor to ting. For det først er der færre træer til at optage CO₂ fra atmosfæren. For det andet sker der også en udledning af den lagrede CO₂, når træet nedbrydes eller afbrændes (se faktaboks). Ved skovfældning sker altså der en bevægelse af carbon fra biosfære til atmosfære.

Drøvtyggere

Endnu en stor drivhusgasudleder i fødevarerproduktionen er drøvtyggerne, særligt køer og får, som udleder store mængder af CH₄. Drøvtyggere er betegnelsen for dyr, der tygger drøv, hvilket vil sige, at den føde, de spiser, fordøjes i to trin. Først spiser de føden, hvorefter de gylper den op, tygger den igen og synker det ned i en anden mave. Føden nedbrydes ved en forgæringsproces ved hjælp af mikroorganismer, der bl.a. danner restprodukterne CH₄ og CO₂, som udledes til atmosfæren, når dyrene bøvser og prutter (se faktaboks om nedbrydning uden ilt).

Hvad er nedbrydning uden ilt?

Når der er ilt til stede ved nedbrydningen af organisk materiale, dannes der CO₂ og H₂O (se faktaboks om respiration, nedbrydning og forbrænding). Hvis der ikke er ilt til stede, bliver det organiske materiale derimod nedbrudt til CH₄ og CO₂. Det skyldes, at bakterierne i de iltfrie miljøer omdanner H₂O (altså brint) i C₆H₁₂O₆ (glukose) til CH₄. Er der ilt til stede, vil H₂O i stedet omdannes til H₂O (altså vand).

⁶ <https://sustainable.dk/energi/2-skov/>

Landbrugsdyrene er ansvarlige for 18% af verdens drivhusgasudledninger⁷, og det er især drøvtyggere, der vejer tungt i udledningen. Ser vi på det danske landbrug, udgør køernes bøvser og prutter 40% af landbrugets samlede udledning⁸. Så drøvtyggerne er altså en stor belastning for klimaet. Når drøvtyggerne udleder CH₄, bevæger carbon sig fra biosfæren til atmosfæren.

Rismarker

En anden fødevareretype, der skal nævnes i forbindelse med den menneskeskabte udledning af CH₄, er ris. Ris er den primære fødevarer for halvdelen af Jordens befolkning, og derfor er ris også en af verdens vigtigste fødevarer. Det vurderes, at dyrkning af ris står for op mod 2% af verdens drivhusgasudledning, hvilket er næsten lige så meget som den globale flytrafik⁹.

Risdyrkning sker på oversvømmede marker, som er et iltfattigt miljø sammenlignet med almindelige marker. Når organisk materiale nedbrydes på de oversvømmede marker, dannes der store mængder CH₄, netop fordi der ikke er ilt til stede (se faktaboks om nedbrydning uden ilt). Her bevæger carbon sig altså fra biosfæren til atmosfæren.

Andre kilder til drivhusgasudledning

Endelig skal også nævnes, at der udledes drivhusgasser fra landbrugsmaskinerne på markerne, som kører på benzin eller diesel. Ligeledes bruges der energi på fabrikkerne, hvor fødevarerne forarbejdes, og det udleder også drivhusgasser – i hvert fald, hvis energien kommer fra fossile brændsler. Når fossile brændsler anvendes, flyttes der carbon fra lithosfæren til atmosfæren. Nedenfor kan du læse mere om, hvorfor fossile brændsler udleder CO₂.

Transport af fødevarer

En stor del af den menneskeskabte CO₂-udledning (omkring 14%) stammer fra transportsektoren. Når det kommer til fødevarer, er det dog ikke transporten, der fylder mest i klimaaftrykket. For størstedelen af fødevarerne står transport for mindre end 10% af drivhusgasudledningen¹⁰, mens selve produktionen står for klart mest.

Men hvorfor fylder transport overhovedet i fødevarers klimaaftryk? Det skyldes, at mange fødevarer ofte bliver transporteret flere gange, inden du kan købe dem i dit lokale supermarked. Efter produktionen transporteres de måske til en fabrik, der forarbejder fødevarerne, hvorfra de sendes til alverdens steder. Mange af de fødevarer, vi kan købe i fødevarerbutikkerne, kommer langvejs fra og er kommet hertil med lastbil, skib og fly. Det udleder alt sammen CO₂, men hvorfor nu det?

Størstedelen af vores transportmidler anvender fossile brændsler (benzin eller diesel). De fossile brændsler er dannet af organisk materiale (som består af kulstof) fra døde planter og smådyr, som gennem millioner af år er blevet begravet under iltfrie forhold. De organiske materialer er blevet presset længere og længere ned i undergrunden, og til sidst er de blevet omdannet til fossile brændsler, når de rette forhold har været til stede (tryk, varme, iltfrie forhold og tid). Det er en meget langsommelig proces, hvor carbon flyttes fra biosfæren til lithosfæren.

Når vi hiver fossile brændsler op fra undergrunden og bl.a. anvender dem i transportmidler (og til en masse andre formål), så går det carbon, de fossile brændsler indeholder, i forbindelse med ilt og danner CO₂. På den måde bliver store mængder af carbon meget hurtigt flyttet fra lithosfæren til atmosfæren.

Produktion af fødevareremballage

Endelig skal produktionen af fødevareremballage også nævnes. Ligesom ved transport udgør emballage ikke en særlig stor andel af fødevarernes klimaaftryk, men belaster alligevel klimaet. Det skyldes bl.a., at plastikemballage er lavet af olie, som er et fossilt brændsel. Derfor udledes der CO₂, når emballagen fremstilles og bortskaffes, og carbon flyttes på den måde fra lithosfæren til atmosfæren. Består emballagen af pap eller papir, er den lavet af træer. Her udledes der også CO₂, når man fremstiller og bortskaffer emballagen, og carbon flyttes fra biosfæren til atmosfæren.

Find øvelse 4 „Fødevarer og carbonkredsløbet“ bagerst i hæftet, og brug din viden om fødevarers påvirkning af carbonkredsløbet.

Du har nu læst om, hvordan fødevarer påvirker carbonkredsløbet ved, at carbon rykkes fra forskellige lagre og op i atmosfæren i form af drivhusgasserne CO₂ og CH₄. Her påvirker de drivhuseffekten sammen med de andre drivhusgasser fx N₂O. Jorden får på den måde sværere ved at komme af med varmestrålingen. Resultatet er, at temperaturen på Jorden stiger, og det medfører klimaforandringer. Der er selvfølgelig mange andre kilder til udledning af drivhusgasser, men produktionen af fødevarer står samlet set for en fjerdedel af den menneskeskabte udledning.

Dit videre arbejde

Som du har kunnet læse i dette introduktionshæfte, så påvirker fødevarer altså klimaet, fordi der udledes mange drivhusgasser i forbindelse med produktion, transport og emballering af fødevarer. Det fører til global opvarmning, der har en række konsekvenser i form af klimaforandringer.

Men du må ikke miste modet! Der er heldigvis masser af potentiale for at reducere de drivhusgasudledninger, vi har i forbindelse med netop fødevarer.

For det første kan vi gøre meget ved at kigge på, hvad vi spiser! Der ligger også et enormt potentiale i at reducere vores madspild. Og sidst, men ikke mindst, kan vi reducere drivhusgasudledningen ved at bruge det resterende madaffald til biogas, som er et bæredygtigt alternativ til de fossile brændsler. Hvorfor og hvordan, kan du læse meget mere om i temahæfterne: *Klimavenlig mad*, *Madspild*, og *Madaffald*.

Rigtig god fornøjelse med dit videre arbejde!

⁷ www.etiskraad.dk/etiske-temaer/natur-klima-og-foedevarer/undervisning-til-grundskolen/stamcellekoed/koedspisning-og-klimaforandringer

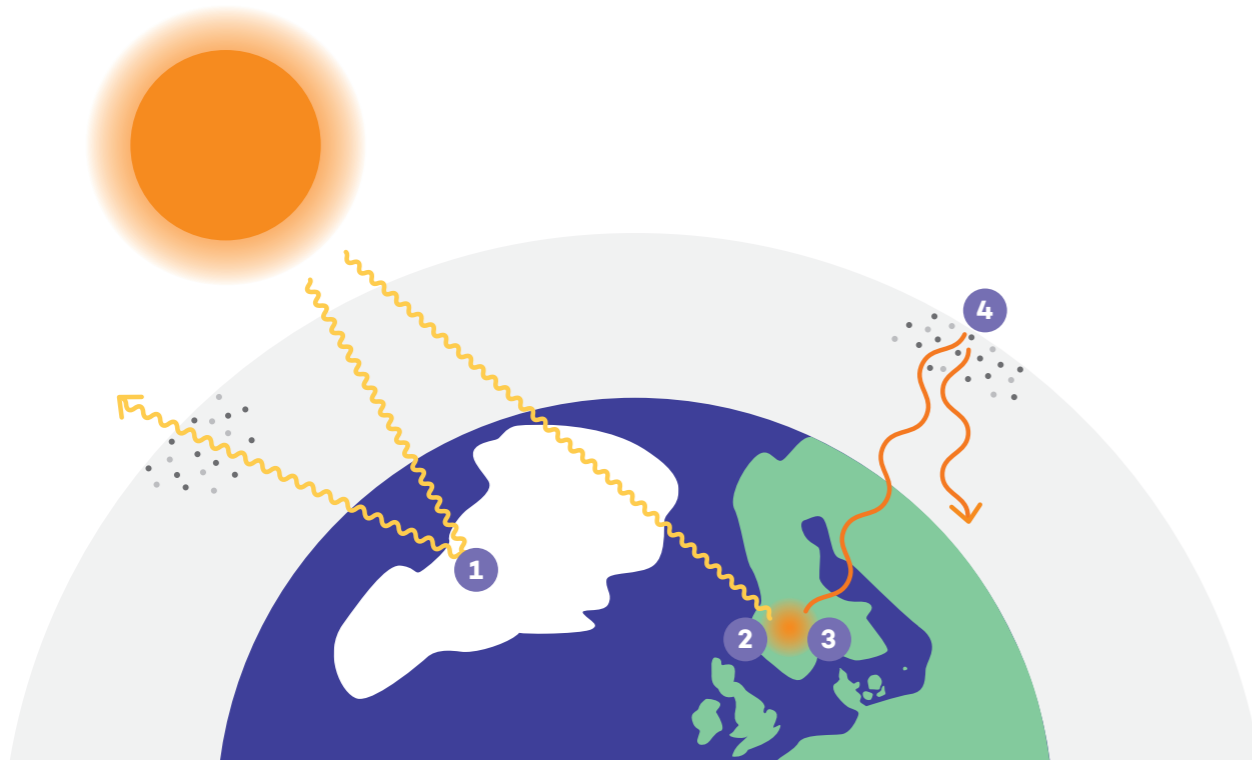
⁸ www.zetland.dk/historie/sekXJwZ1-mO3EnV9J-8cb03

⁹ <https://verdensbedsteheder.dk/nyheder/simpel-metode-giver-klimavenlige-ris/>

¹⁰ <https://ourworldindata.org/food-choice-vs-eating-local>

Øvelse 1: Model af drivhuseffekten

Kig grundigt på modellen af drivhuseffekten. Beskriv ud fra hvert tal, hvad der sker på modellen. Undervejs brug følgende ord: Atmosfære, langbølget stråling, kortbølget stråling, absorption, refleksion, drivhusgas(er)



- 1) _____

- 2) _____

- 3) _____

- 4) _____

Øvelse 2: Eksperiment om drivhuseffekten

Nu skal I lave jeres eget eksperiment, der viser drivhuseffekten. I skal selv finde ud af, hvordan I vil opsætte eksperimentet, men denne vejledning vil guide jer skridt for skridt. Læs hele vejledningen igennem, inden I går i gang!



Det skal I bruge

- Gennemsigtige plastikkopper eller stort syltetøjsglas med låg
- Termometer (mindst 2)
- Ur til tidtagning
- Registreringsskema (se nedenfor) og noget at skrive med
- Varmekilde (solen, hvis den er fremme i dag, eller en kraftig lampe)

Sådan gør I

- 1) Læs hele materialelisten grundigt. Diskuter, hvordan I kan bruge de forskellige materialer til at undersøge drivhuseffekten
- 2) Hvordan vil I bruge materialerne til at vise drivhuseffekten? Overvej også, hvor I vil lave jeres eksperiment, og hvad der evt. vil kunne påvirke eksperimentet (fx vind og andre ting der kan påvirke temperaturen).
- 3) Lav en model (tegning) af jeres eksperimentopstilling.
- 4) Opstil en hypotese¹¹. Hvad tror I, at jeres eksperiment vil vise? Og hvorfor tror I det? Brug evt. boksen herunder som hjælp.

Vores eksperiment vil vise

fordi,

¹¹ En hypotese er et begrundet gæt på, hvad resultat af en undersøgelse vil være. Før man kan opstille en hypotese, skal man have baggrundsviden om emnet.

- 5) Lav et skema, som I skal bruge til at registrere jeres data (fx temperatur, tid, anvendte materialer, placering af eksperiment, varmekilde, osv.).
- 6) Lav eksperimentet!
- 7) Hvad viste forsøget? Fik I bekræftet jeres hypotese? Hvis ja, gå til punkt 8. Hvis nej, gå til punkt 9.
- 8) Forklar jeres resultat med udgangspunkt i modellen af drivhuseffekten.
- 9) Diskuter, hvorfor I ikke fik bekræftet jeres hypotese? Kunne I have gjort noget anderledes i eksperimentopstillingen, eller skal jeres hypotese omformuleres? Lav evt. en ny eksperimentopstilling (og gentag punkterne 3-7).

Øvelse 3: Fotosyntese og respiration

I dette eksperiment skal I undersøge carbons bevægelse mellem biosfære (mennesker og planter) og atmosfære (luften).



Det skal I bruge

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

Sådan gør I

- 1) Læs til og med punkt 5 og opstil en hypotese¹². Hvad tror I, at jeres eksperiment vil vise? Og hvorfor tror I det? Brug evt. boksen herunder som hjælp.

Vores eksperiment vil vise

fordi,

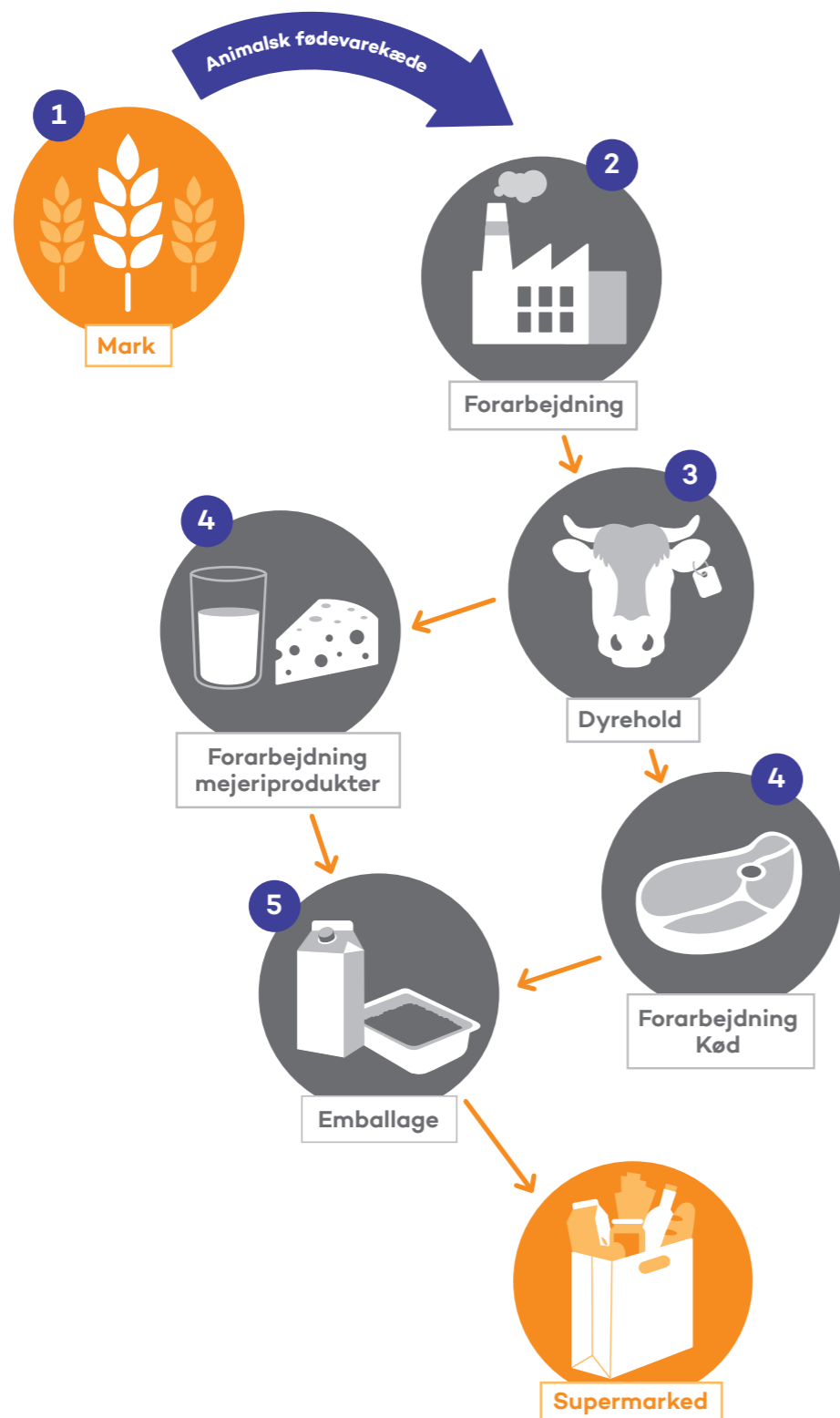
- 2) Fortynd CO₂-indikatoren i postevand i den koniske kolbe. Forholdet skal være ca. 1:10 – altså 10 gange så meget vand som CO₂-indikator. I skal bruge ca. 100 ml fortyndet CO₂-indikator i alt.
- 3) Fyld de tre reagensglas ca. 2/3 op med den fortyndede CO₂-indikator.
- 4) Pust udåndingsluft gennem et sugerør og ned i hvert af de tre reagensglas, til væsken bliver gul.
- 5) Sæt en vandplante ned i glas to og tre og dæk glas tre til med sort pap, så der ikke kan komme lys ind. Vandplanterne skal dækkes helt af væsken.
- 6) Sæt prop i glassene og stil dem i Solen (fx en vindueskarm).
- 7) Kig til glassene efter en halv time, og notér farven i skemaet nedenfor.
- 8) Kig til planterne næste gang, I har time, og notér igen, hvilken farve væsken har i de tre glas.
- 9) Svar på spørgsmålene:
 - Hvorfor bliver væsken gul, når I puster udåndingsluft ned i den?
 - Hvordan ændrer farven (CO₂-koncentrationen) sig undervejs i de tre glas?
 - Forklar, hvorfor CO₂-koncentrationen ændrer sig i de forskellige glas!
- 10) Sammenlign nu jeres resultat fra eksperimentet med jeres hypotese. Fik I bekræftet jeres hypotese? Hvis ikke, hvorfor tror I?

Reagensglas	Startfarve	Farve efter 30 min	Farve næste time
Glas 1 (uden vandplante)			
Glas to (med vandplante)			
Glas 3 (med vandplante, tildækket)			

¹² En hypotese er et begrundet gæt på, hvad resultat af en undersøgelse vil være. Før man kan opstille en hypotese, skal man have baggrundsviden om emnet.

Øvelse 4: Fødevarer og carbonkredsløbet

I har nu læst om, hvordan fødevarer påvirker carbonkredsløbet. I skal nu beskrive i detaljer, hvad der sker ved de forskellige dele af fødevarekæden. Beskriv ved hvert tal, hvad der sker på modellen, og hvordan carbon bevæger sig i den proces (fx fra biosfære til atmosfære).



1) Hvad sker der?

Hvordan bevæger carbon sig?

2) Hvad sker der?

Hvordan bevæger carbon sig?

3) Hvad sker der?

Hvordan bevæger carbon sig?

4) Hvad sker der?

Hvordan bevæger carbon sig?

5) Hvad sker der?

Hvordan bevæger carbon sig?
