

Nr. 4-2007 Drivhusgasser - og deres betydning for klimaet

Fag: Fysik A/B/C

Udarbejdet af: Ole Ahlgren, Rønne Gymnasium, september 2009

Spørgsmål til artiklen

1. Forklar, hvad der menes med begrebet *albedo*.
2. I artiklen opereres med tre forskellige værdier for solindstrålingen, nemlig 1367 W/m^2 , 342 W/m^2 og 236 W/m^2 . Forklar, hvad de tre værdier står for.
3. Hvad ville jordens gennemsnitstemperatur være, hvis der ikke var drivhuseffekt?
4. Nævn nogle forskellige drivhusgasser. Forklar kort, hvad drivhuseffekten går ud på.
5. Forklar begreberne *forcering* og *klimafølsomhed*.
6. Hvad forstås ved positiv og negativ feedback? Nævn nogle feedbackmekanismer.
7. Hvilken samlet klimafølsomhed får man, når man inddrager feedbackmekanismerne?

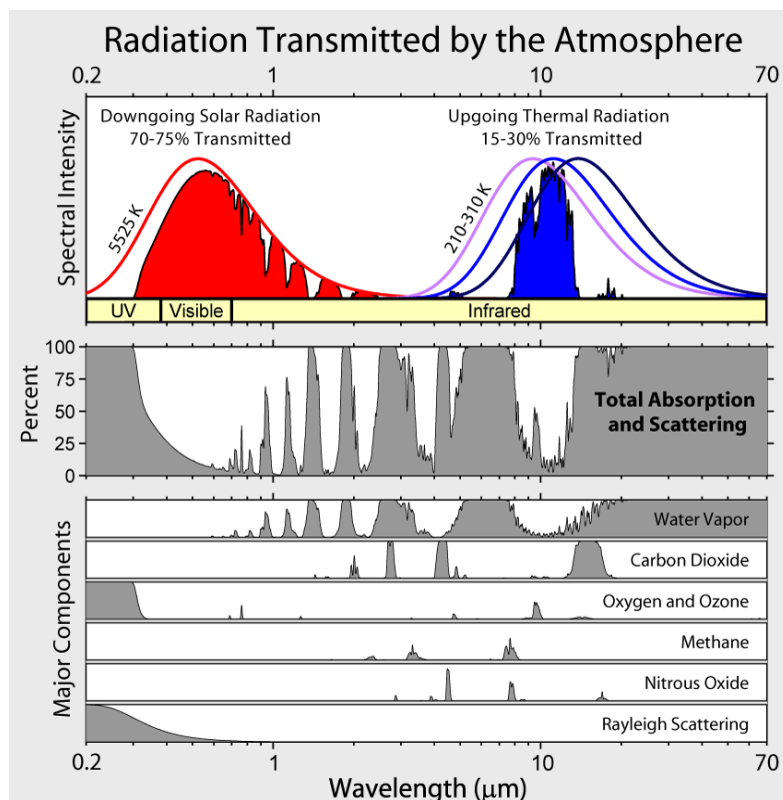
Uddybende opgaver og spørgsmål

8. **Indstrålet effekt.**
 - a. Tallene nævnt i spørgsmål 1 skal beregnes i denne opgave. Den såkaldte solarkonstant på 1367 W/m^2 er den indstrålede effekt pr. m^2 på en flade, der vender mod solen (målt uden for atmosfæren). Den samlede effekt, der rammer jorden kan fås som effekten på en skive med radius R (jordradius). Beregn denne.
 - b. Beregn den gennemsnitlige indstråling pr. m^2 , idet effekten fordeles jævnt over hele jordklodens areal.
 - c. Jordens gennemsnitlige albedo er 0,31 (afhængig af skydække og snedække). Hvad bliver den reelle gennemsnitlige indstrålede effekt pr m^2 ?
9. **Jordens temperatur.** Den gennemsnitlige effekt, der når jordoverfladen er 236 W/m^2 , når der tages hensyn til albedoen. Antag, at jordoverfladen også udsender 236 W/m^2 som infrarød stråling.
 - a. Brug Stefan-Boltzmanns lov til at beregne jordens gennemsnitstemperatur (T skal regnes i kelvin i formlen).
 - b. Jordens reelle gennemsnitstemperatur er 15°C . Hvad er der galt i ovenstående udregning?
10. **Klimafølsomheden.**
 - a. Begrund de enkelte led i formlen nederst i boksen side 16 i artiklen.
 - b. Opskriv et udtryk for klimafølsomheden . Beregn , hvis forceringen F er 1 W/m^2 . Hvorfor er den fundne værdi urealistisk lav?
11. **Solarkonstanten.** Solens overfladetemperatur er 5780 K og dens radius er $6,69 \cdot 10^8 \text{ m}$.
 - a. Brug Stefan-Boltzmanns lov til at beregne den samlede udstrålede effekt fra solen.

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
- Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk •

b. Jordens afstand fra solen er $1,496 \cdot 10^{11}$ m. Antag, at solen udstråler isotrop (ens i alle retninger). Beregn da solarkonstanten, dvs. effekten pr. m^2 på jorden.

12. **Atmosfærens temperatur.** Som det fremgår af opgaven om Jordens temperatur er den effektive udstrålingstemperatur betydeligt lavere end jordoverfladens gennemsnitstemperatur.
- Begrund, at den udsendte infrarød stråling kan tænkes at komme fra atmosfæren i ca. 5 kilometres højde.
 - Hvad er temperaturen i denne højde?
 - Begrund, at denne højde øges ved forøget drivhuseffekt.
13. **Absorptionen.** Nedenfor ses det indkommende synlige spektrum (rød) og det udgående infrarøde spektrum (blå) samt absorptionsspektrene fra forskellige drivhusgasser (grå).
- Hvilke gasser absorberer mest det indkommende lys?
 - Hvilke gasser absorberer mest den udgående infrarøde stråling?
 - I artiklen side 17 står der, at CO_2 primært absorberer ved 12-18 μm . Passer det med figuren? Der står desuden, at der er et atmosfærisk vindue ved 8-12 μm . Passer det med figuren?



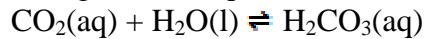
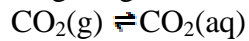
Fra www.globalwarmingart.com

14. **Energibalancen.** Betragt figuren med jordens energibalance øverst side 17 i artiklen.
- Gør rede for de enkelte pile i figuren.
 - Vis, at jorden som helhed udsender lige så meget effekt som den modtager.
 - Vis, at jordoverfladen afgiver lige så meget effekt som den modtager.
 - Vis, at atmosfæren afgiver lige så meget effekt som den modtager.
15. **Albedo og feedback.** Nedenfor ses eksempler på albedo i det synlige område.
- Forklar, hvordan is-sne feedbackmekanismen fungerer.
 - Forklar, hvordan feedbackmekanismen med skyer fungerer. Forklar desuden, hvorfor skyer både kan virke opvarmende og afkølede.

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
- Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk •

havoverflade	0,035
skov	0,13
bar jord	0,15
Antarktisk overflade	0,81
sne	0,90
hele jorden i snit inkl. skyer	0,31

- 16. CO₂ feedback.** Hvis der er CO₂ i luften over en vandoverflade vil CO₂ opløses i vandet, idet der indstiller sig nogle ligevægte:



Den øverste ligevægt er "flaskehalsen", altså den der tager længst tid at indstille sig. Den nederste ligevægt er forskudt langt mod venstre, idet kun ca. 0,17 % er blevet til H₂CO₃ (kulsyre). Opløseligheden af CO₂ i vand (altså hvor langt den først ligevægt er forskudt mod højre) afhænger af temperaturen. Ved stigende temperatur falder opløseligheden af CO₂ i vand.

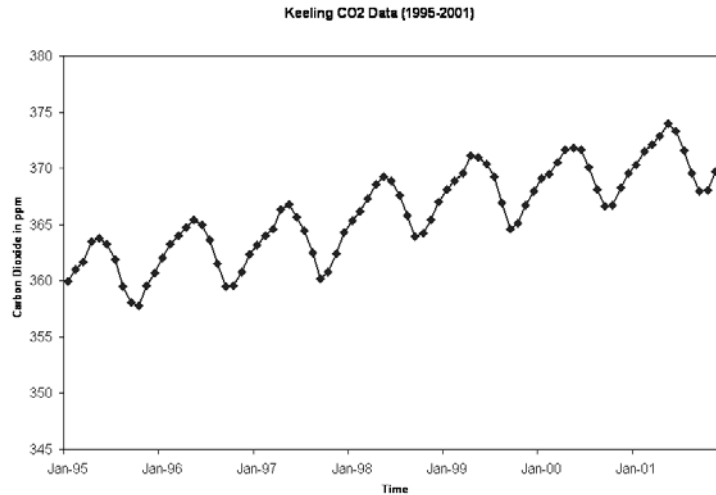
- Hvis temperaturen begynder at stige, f.eks. på grund af øget solindstråling, afgives der mere CO₂ til atmosfæren, da opløseligheden falder. Forklar, hvordan dette kan forstærke temperaturstigningen, altså hvordan CO₂ feedback mekanismen virker.
- Feedbackmekanismen vil også forstærke et begyndende temperaturfald. Forklar, hvad der sker i det tilfælde.

Perspektiverende opgaver og spørgsmål

- 17. Kroppens varmebalance.** Kroppens areal sættes til 0,35 m² (beregnet evt. dit eget kroppsareal, betragt arme, ben og resten af kroppen som cylindre) og hudtemperaturen er 34°C = 307 K.
- Beregn effekten af den udstrålede infrarøde stråling. (Her antager vi, at kroppen er et absolut sort legeme med hensyn til infrarød stråling). Hvis kroppen ikke samtidig modtager varme fra omgivelserne (ikke realistisk) skal kroppen producere denne effekt for at fastholde kropstemperaturen.
 - I praksis modtages der også varmestråling fra omgivelserne. Hvis omgivelserne har temperaturen 20 °C, hvor stort bliver effekttabet da? (Jævnfør boksen side 16 i artiklen.) Ovenstående forudsætter, at udstrålingen kan ske direkte fra huden. Hvis den er dækket af tøj, skal man regne med temperaturen på tøjets yderside. Denne afhænger af, hvor velisolerende tøjet er.
- 18. Simpel klimamodel.** Vil man nøjes med en enkel model gælder der med nogen tilnærmelse, at en fordobling af CO₂ niveauet giver en stigning på ca. 2°C. (Tallet er usikkert). Denne model er fremsat af svenskeren Arrhenius omkring år 1900. Arrhenius var også den første, der forudsagde global opvarmning på grund af drivhuseffekten. Denne enkle model kan udtrykkes ved $[\text{CO}_2]_1/[\text{CO}_2]_0 = \exp(k(T_1-T_0))$, hvor koncentrationerne af CO₂ er hhv. [CO₂]₁ og [CO₂]₀ ved temperaturerne T₁ og T₀.
- Vis, at denne formel kan give den nævnte model.
 - Bestem k.
 - De sidste 100 år er [CO₂] steget med 35%. Udregn, hvor meget T dermed forøges ifølge modellen. (Den faktiske temperaturstigning er 0,8 °C.)
 - En fordobling af koncentrationen giver med ret stor sikkerhed en forcering på 3,7 W/m². Hvilken klimafølsomhed () vil det svare til, hvis T er 2 K?

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
- Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk •

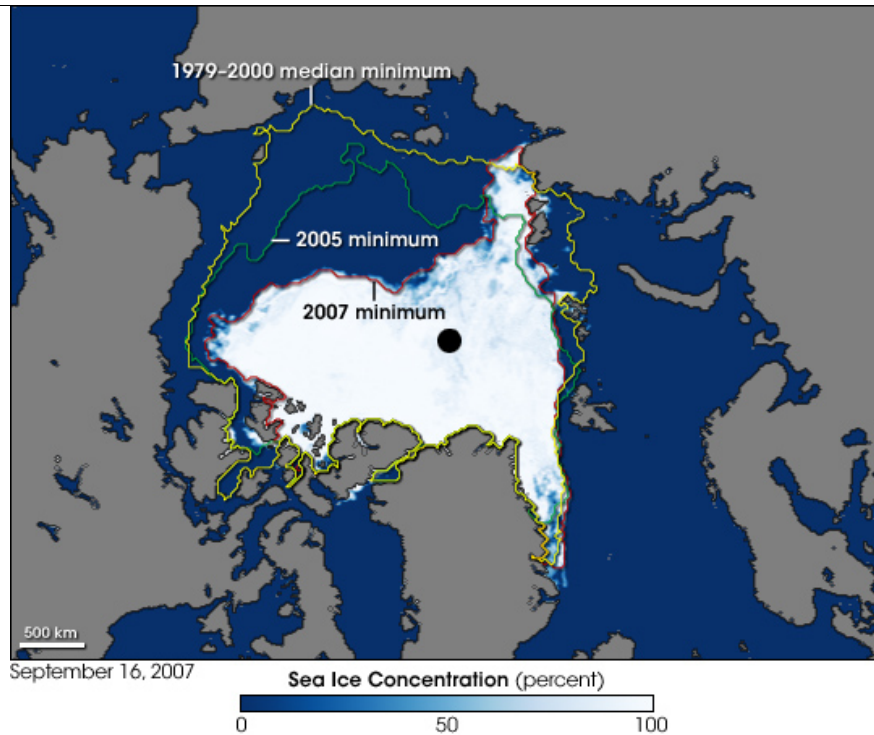
19. CO₂-neutralitet.



CO₂ indholdet i atmosfæren over en kort årrække. Den naturlige årstidsvariation er overlejret af en jævn stigning på grund af afbrændingen af fossile brændsler. Fra NOAA.

- Forklar de årlige udsving i CO₂ mængden vist i figuren.
 - CO₂ mængden følger årstiderne på den nordlige halvkugle. Når vi har sommer er der vinter på den sydlige halvkugle. Hvorfor er det netop den nordlige halvkugle, der bestemmer CO₂ variationen?
 - Når man afbrænder træ eller halm dannes der CO₂. Argumenter for, at denne CO₂ ikke bidrager til øget drivhuseffekt.
 - I køers tarmsystem dannes der CH₄ (der kaldes biogas), når de fordøjer græs. I atmosfæren har CH₄ en gennemsnitlig levetid på 12 år, idet det under medvirken af sollyset omdannes ved reaktionen $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Diskuter, om denne metan er CO₂-neutral.
 - Foretag de samme overvejelser i forbindelse med anaerobe bakteriers produktion af metan i sumpede områder, f.eks. rismarker.
- 20. Istiderne.** Figuren side 18 i artiklen viser temperatur, CO₂ koncentration og CH₄ koncentration i de sidste 600.000 år. Der ses tydeligt skiftende lange istider og korte mellemistider. Der er klart en korrelation mellem temperaturen og gassernes koncentration. Spørgsmålet er, hvad der er årsag og virkning.
- Foreslå en mekanisme, der kan bevirke, at en ændret koncentration af gasserne giver en ændret temperatur.
 - Foreslå en mekanisme, der kan bevirke, at en temperaturændring vil bevirke ændring af gassernes koncentration. (CH₄ vil ligesom CO₂ have faldende opløselighed ved stigende temperatur).
 - Undersøger man graferne mere i detalje, finder man, at bratte temperaturændringer er ca. 800 år forud for tilsvarende bratte ændringer i gassernes koncentration. Hvilken af mekanismerne ovenfor giver da årsagssammenhængen?
- 21. Det arktiske isdække.**
- Forklar, hvorfor en begyndende afsmeltning af en isdækket havoverflade forstærkes af is-albedo mekanismen.

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
- Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk •



Fra <http://earthobservatory.nasa.gov>

- b.** På figuren er indtegnet isranden i det arktiske område i tre forskellige år, alle i september. Forklar, hvilken rolle is-albedo feedback-mekanismen kan have i disse ændringer.
- c.** Hvad er den overordnede årsag til, at isen på Nordpolen forsvinder?
Is-albedo mekanismen er forholdsvis hurtig og virker på kort sigt, da der kun skal opvarmes overfladevand og luft.

Til læreren

Der kan laves en del forsøg med drivhuseffekt og afledte effekter. Her er foreslået nogle enkelte.

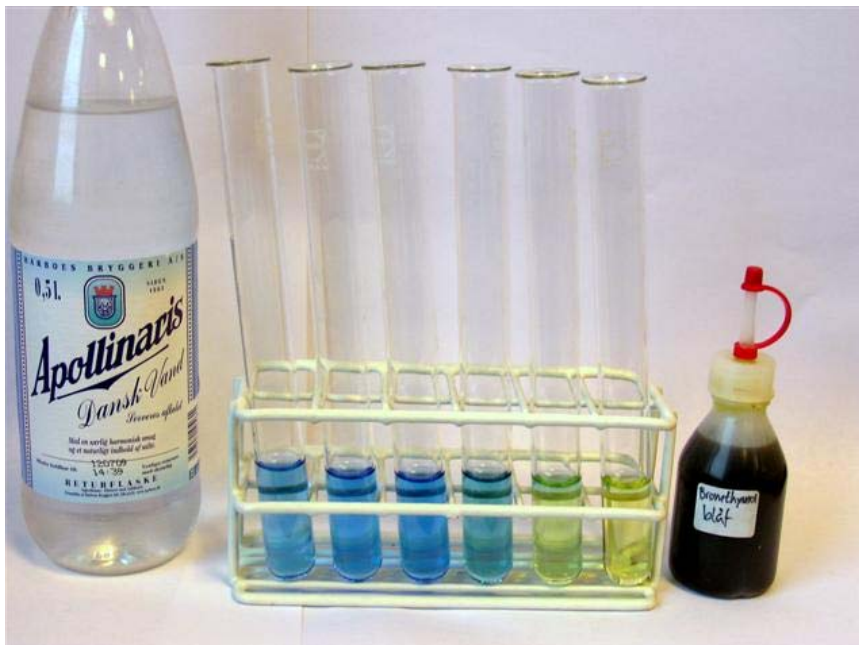
1. Ligevægten mellem CO₂ i luft og i vand.

6 reagensglas anbringes i et reagensglasstativ. I det første hældes 10 mL mineralvand med kulsyre. Med pipette tages 5 mL heraf og hældes i det andet reagensglas, og der fyldes 5 mL vand fra vandhanen i (ikke demineraliseret vand, som ofte er lidt surt). Herfra udtages igen 5 mL til det næste glas samt 5 mL hanevand osv. til og med det 5. glas. Man har da en fortyndingsrække, hvor koncentrationen af kulsyre er halveret for hvert glas. I det sidste glas fyldes 5 mL hanevand. Til sidst tilsættes tre dråber bromthymolblåt til hvert glas. Iagttag farverne og forklar forskellene. Lad glassene stå nogle dage og forklar igen farverne.

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
- Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk •



Fortyndingsrækken umiddelbart efter blanding



Fortyndingsrækken efter to dage, der er afgivet CO₂ fra vandet til luften, hvorved pH er blevet højere. I glassene med den blå farve er ligevægten mellem CO₂ i vandet og i luften indtrådt.

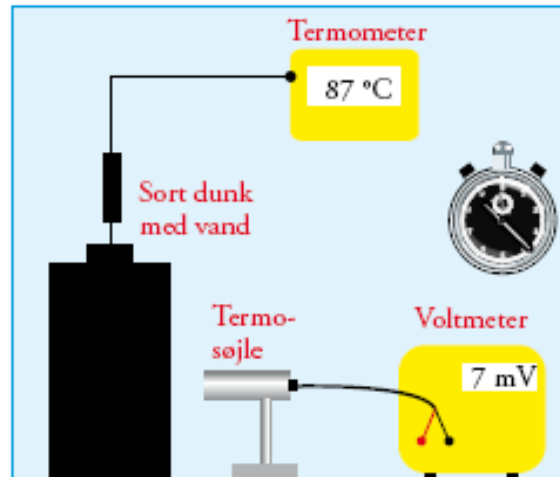
Forsøget illustrerer ligevægtene $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ og $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$
 Der vil med tiden være ligevægt mellem mængden af CO₂ i atmosfæren og i havet. Hvor meget ligevægten er forskudt mod højre eller venstre afhænger kun af temperaturen

2. Stefan – Boltzmanns lov.

Teori : udstrålingen fra et legeme er givet ved $I = \sigma T^4$, hvor T er temperaturen målt i kelvin.

Denne sammenhæng påvises med en termosøjle. Termosøjlen selv udsender strålingen $I = \sigma T_0^4$, hvor T₀ er stuetemperaturen. Spændingen fra termosøjlen vil da være proportional med $(T^4 - T_0^4)$.

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
- Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk •



En plasticdunk fyldes med kogende vand og termosøjlen placeres tæt ved. Et termometer anbringes i dunken. Spændingen fra termosøjlen og vandets temperatur måles med passende mellemrum mens vandet køler af. Målingerne afbildes med $(T^4 - T_0^4)$ som 1. akse og spændingen som 2. akse. Fås en ret linie gennem (0,0) er Stefan –Boltzmanns lov påvist.

3. Påvisning af CO₂ dannelse ved afbrænding af heptan.

1 mL heptan eller rensbenzin hældes i en høj kolbe og antændes. Når det hele er brændt sættes der straks prop i kolben. Lidt mættet kalkvand hældes i kolben og med proppen på rystes den. Man iagttager, hvordan kalkvandet bliver uklart, hvormed CO₂ er påvist, idet CO₂ danner kalk sammen med kalkvand ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$).



Relateret materiale

Ole Ahlgren, *Drivhuseffekt og Klimaændringer*, forlaget Hax, 2008

Hans Birger Jensen, *Global Opvarmning*, Systime, 2008

Man kan finde undervisningsmateriale til andre klimarelaterede artikler fra *Aktuel Naturvidenskab* på <http://www.aktuelnaturvidenskab.dk>

På www.klimaundervisning.dk findes en klimaundervisningsportal, hvor meget undervisningsmateriale er samlet.

På www.klimadebat.dk er der mulighed for at debattere. Sitet indeholder også links til nyheder relateret til klimaet.

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab •
 - Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk •
-

Foreningen LMFK udgiver en serie hæfter, hvoraf nogle har relation til drivhuseffekt og klima. Se <http://www.nfa.fys.dk/> Til flere af hæfterne er der yderligere opgaver og forsøg.

Istiden og iskerneboringer behandles interaktive på <http://isarkiv.nbi.dk/>

Mange gode illustrationer om drivhuseffekt og klima kan fås fra <http://www.globalwarmingart.com/>