



Jordens Energibalance

Hensigten med dette dokument er at give et indblik i Jordens energibalance, eller Jordens Strålingsbudget.

Det bygger videre på dokumentet om Black Body Radiation, dog med lidt repetition.

Dokumentet skulle gerne føre frem til en forståelse af drivhuseffekten.

Og dokumentet danner basis for at vi kan regne på drivhuseffekten

Jordens temperatur har ændret sig gennem tiden. Der har været istider, og varmen er kommet tilbage igen.

Hvilke mekanismer har der været på spil? Vulkanudbrud? Ændringer på Solen? Ændringer i Jordens bane om Solen? Andet?

Mennesker og industriel udvikling har jo ikke haft en betydning på historisk klima!

I lange perioder har temperaturen været rimelig konstant.

Men siden industrialiseringen er atmosfærens indhold af CO₂ steget. Det regnes i Part pr million, dvs. antallet af CO₂ molekyler i forhold til 1 million luftmolekyler. Forkortet PPM.

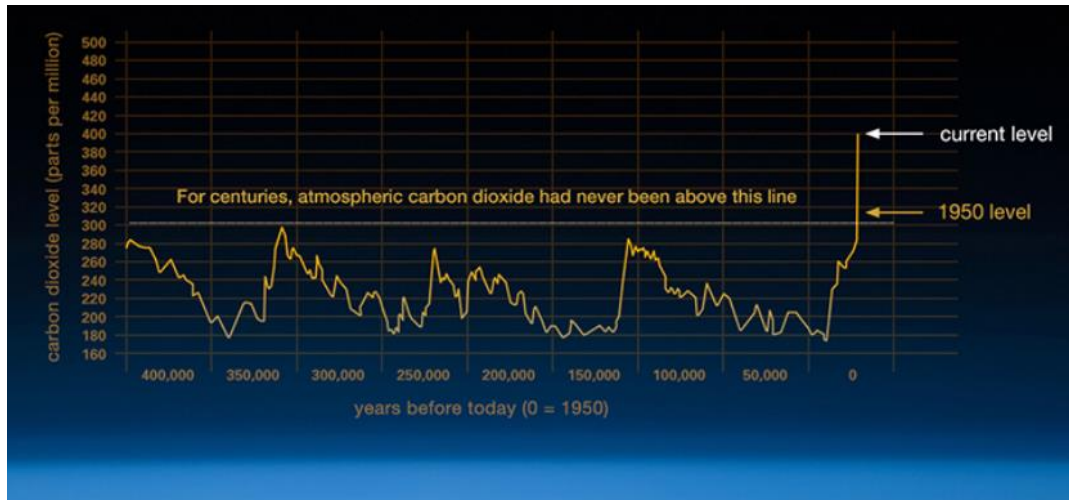
Tjek: Hvad er dagens CO₂ ppm??

Tjek lige nogle grafer for stigningen i CO₂ i atmosfæren

Så har CO₂-stigningen mon betydning for Jordens temperatur??



Der har tidligere været ændringer i atmosfærens CO₂ indhold !!



Kilde: https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/

---0---

Solen og Jorden har "altid" været der. Og der har altid været ændringer.

Jorden har altid modtaget stråling – som jo er lig energi – fra Solen. Hvorfor bliver Jorden så ikke varmere og varmere?

Hvorfor er jordens gennemsnitstemperatur ca. 15 °C, mens der på Mars, som kun ligger lidt længere væk fra Solen end Jorden, er en gennemsnitstemperatur på minus 46 °C?

Betyder det noget, at Isens udstrækning - på fx Grønland og jo i hele Arktis, bliver mindre? Og Antarktis !

Betyder det noget at isen bliver mørkere på grund af forureningspartikler fra luften ?

Kan ændringer i Jordens bane om solen have betydning??

Tjek: Har Mars en atmosfære??

Man hører tit, at CO₂ i atmosfæren fungerer som en dyne, der "holder Jorden varm".

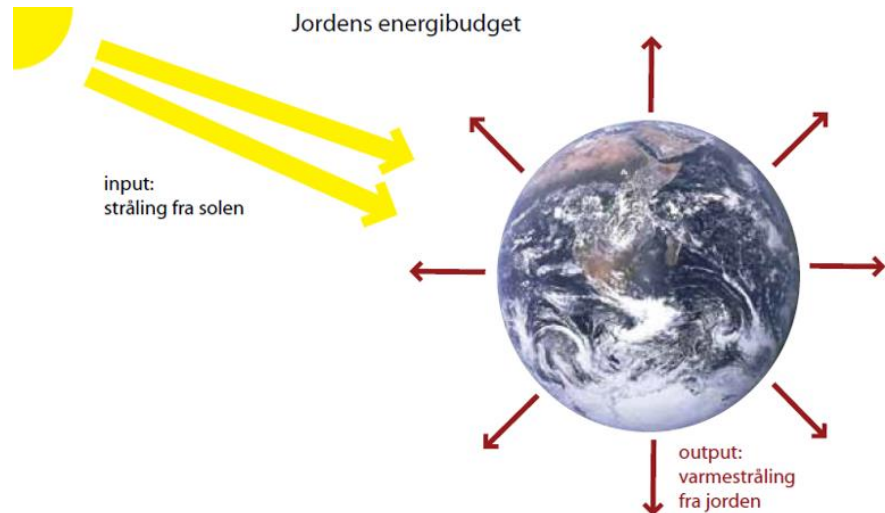
Men hvordan kan det så være, at CO₂ virker som en bremse på strålingen på vej ud fra Jorden, men tillader Solens stråling at komme ned på Jorden?

Energi-Balance:



Grafen viser energibalancen mellem strålingen fra solen og strålingen fra Jorden.

Som vi har set i dokumentet om Black Body Radiation, indeholder strålingen fra Solen det vi kalder Sollys, men også mange andre frekvenser, Ultraviolette og Infrarøde mm.



Det er energi i form af Elektromagnetisk stråling fra Solen, der opvarmer jorden. Men det er også Elektromagnetisk (varme) stråling, der forlader jorden ud i Rummet. Det er blot med en anden sammensætning, fordi det kommer fra et meget koldere objekt.

Hvis der ikke er balance, vil gennemsnits-temperaturen på Jorden ændres.

Balance kan illustreres med denne skitse:

I et badekar er der vand, og hvis vandniveauet skal forblive den samme, når der strømmer vand ud, skal der hele tiden tilføres samme mængde vand.

Vand-niveauet i karret er i balance hvis der strømmer samme mængde vand ind som ud i en given tid.



Overført til Jorden, må der følgelig være balance mellem den indstrålede energi og den energi, der forlader Jorden ved en gennemsnitlig Jordtemperatur. Den er pt. ca. **15 grader C**.

Jorden må altså både modtage og miste energi.

Balancen må givet være afhængig af eventuelle ændringer i Solens udstråling, og af ændringer på Jorden.

Det er fx vist, at Solen gennemgår flere cykler, bl.a. den 11-årige solpletperiode, overlejret af længere perioder. Og herudover er der for Jorden de såkaldte **Milankovitch Cykler** mm.



Jorden har haft istider, - og lave temperaturperioder i slutningen af 15. og 17. århundrede. Og der har været et lille temperaturdyk omkring 1970.

Flere gange i 1600-tallet, under det man kalder den lille istid, var vintrene så kolde, at man kunne gå på Østersøen.

Den lille istid var en periode, der strakte sig over adskillige hundrede år, hvor især vintertemperaturerne var lavere end ellers og farvandene var derfor hyppigere tilfrosne. Det vidste "krigerkongen" Karl 10. Gustav, og han beordrede den 30. januar 1658 sin hær af sted, ud over det tilfrosne Lillebælt.

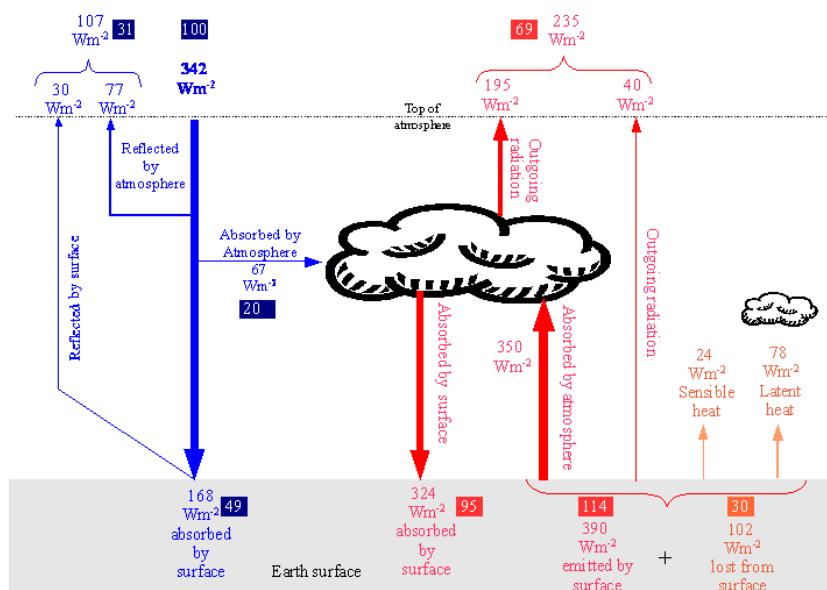
I det store hele havde kongen heldet med sig: To kompagnier gik gennem isen og druknede, men langt størstedelen af hæren kom uskadt over Lillebælt og i sikkerhed.

Fra: <https://altomhistorie.dk/krig/svenskerne-gik-over-oeresund>

Hvis strålingen væk fra Jorden vanskeliggøres – fx med mere drivhusgas i atmosfæren, - vil der indstille sig en ny ligevægt, hvor middeltemperaturen på Jorden er højere.

Men hvordan ser det ud med den stråling, der kommer fra Solen. Noget reflekteres af skyer, fra snedækkede overflader osv. Dette vises her i forskellige grafer:

Et billede af Jordens strålingsbudget.



Ved ligevægt er mængden af indgående og udgående energi eller stråling ens.

Grafen oplister hvordan strålingen fordeler sig.

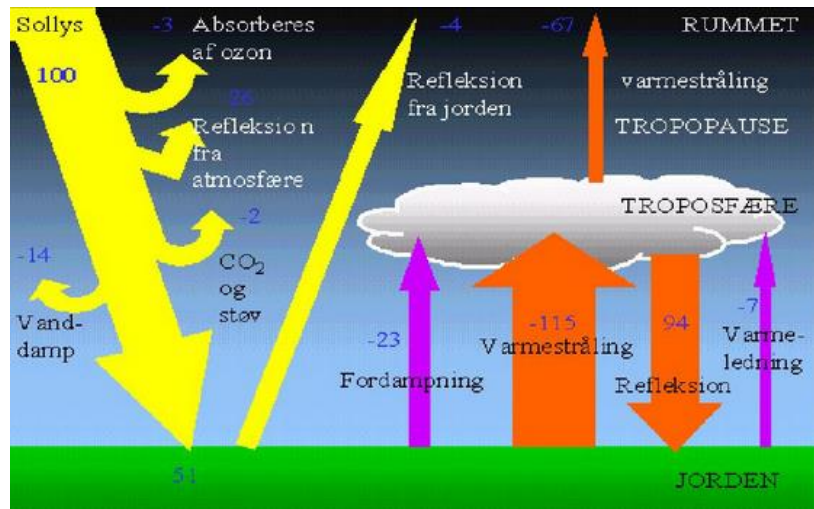
Tallene i de firkantede kasser er procenter.



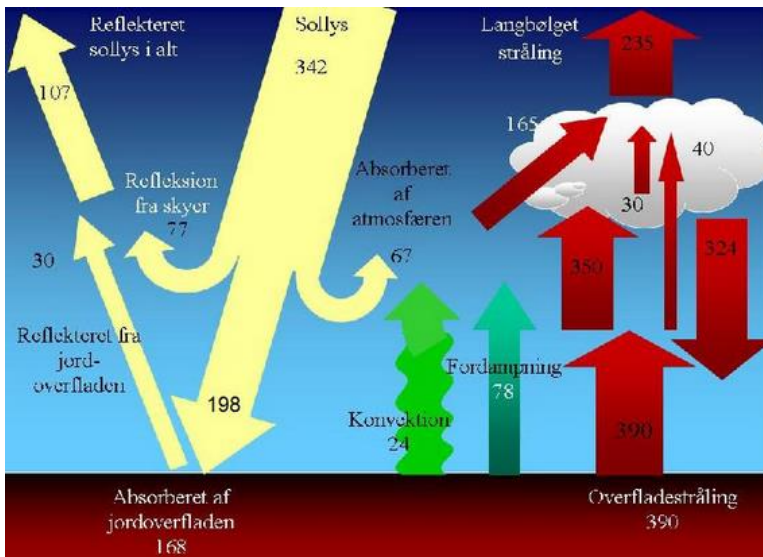
<http://paccs.fugadeideas.org/radiation/index.shtml>

En anden graf:

Energiregnskab i % af den samlede mængde solenergi, der når jordoverfladen



Kilde: <http://www.itu.dk/~beta/projekt2/energibalance.html>



Kilde: <http://www.itu.dk/~beta/projekt2/energibalance.html>

Og en 3.

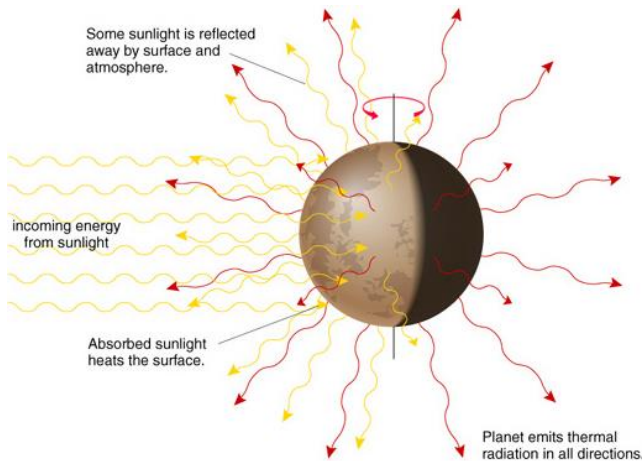
Energibalancen i Watt/m² i gennemsnit på globalt plan.

Dvs. hvad der hvert sekund året rundt i gennemsnit tilføres Jordens atmosfære.



Jordens energibalance

Redigeret
27/08 2024



Noget af strålingen fra Solen absorberes af Jorden og varmer overfladen op.

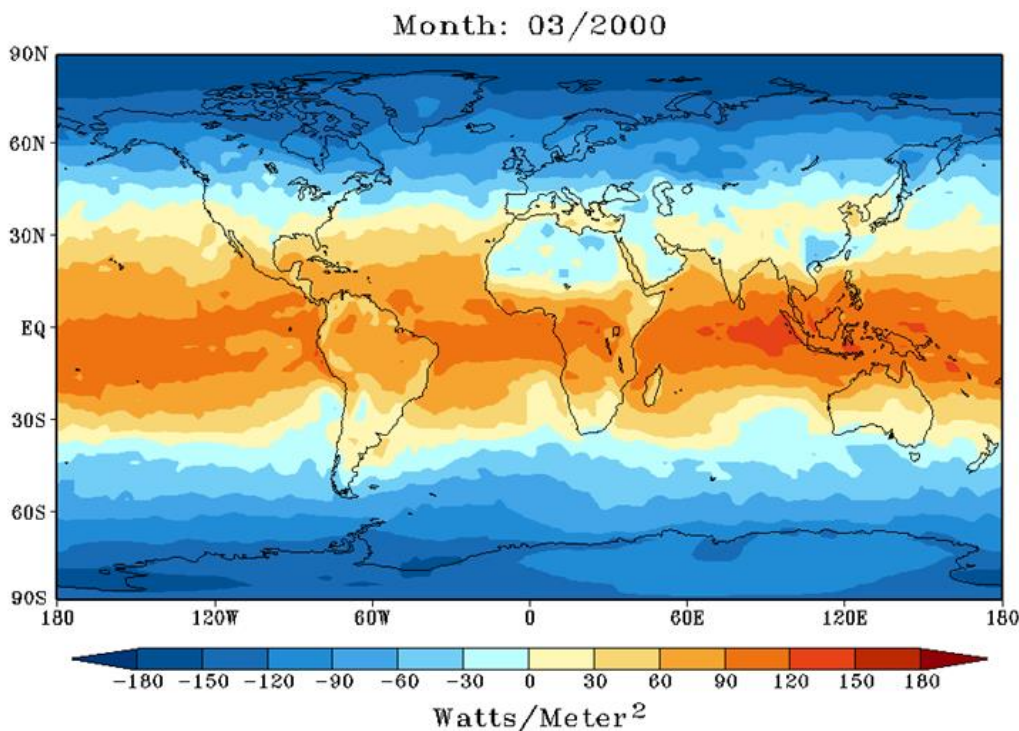
Noget reflekteres af overfladen og af atmosfæren.

Og Jorden i sig selv udsender jo stråling.

Kilde: <http://lasp.colorado.edu/~bagenal/3720/CLASS6/6EquilibriumTemp.html>

Solens stråler varmer:

Vi ved, at solens stråler varmer. Vi kan mærke det en varm sommer. Og vi ved, der er forskel i løbet af året. Og at der er forskel om vi er i Danmark eller ved ækvator.



Jordens netto
Radiation.

Målt af
CERES
Instrument på
NASA EOS
Terra Satellite

Det er varmest
omkring
ækvator.

Årstider:

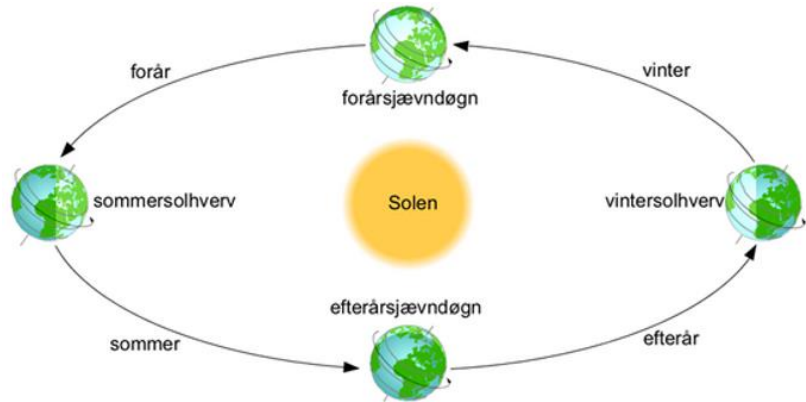


Jordens energibalance

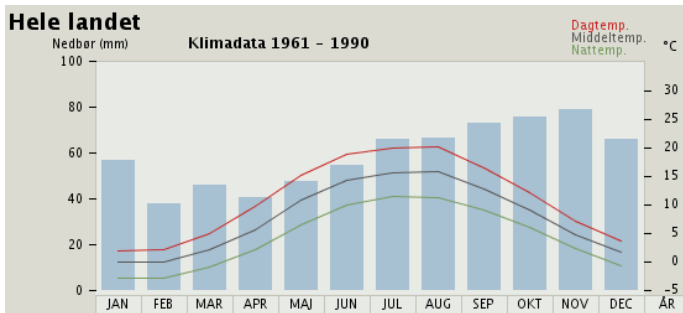
Redigeret
27/08 2024

Vi kan mærke de skiftende årstider.

Når det er vinter, hælder den Nordlige halvkugle ” væk ” fra Solen. Derfor får vi mindre indstrålet energi om vinteren.

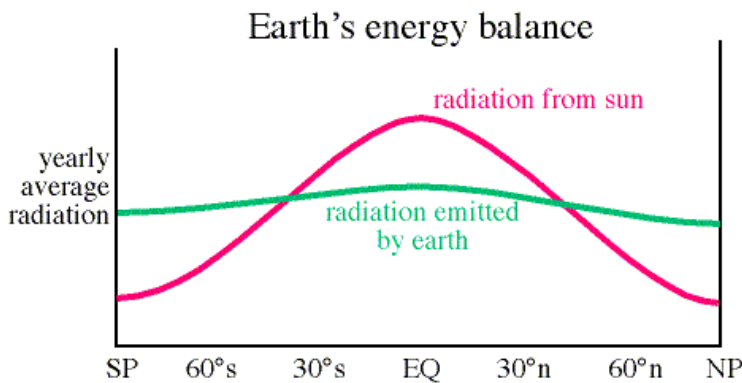


Så i løbet af året er den mængde stråling, vi modtager fra Solen forskellig på klodens forskellige egne.



Graf for årstemperaturen i Danmark.

Kilde: <http://www.dmi.dk/vejr/arkiver/normaler-og-ekstremer/klimanormaler-dk/>



Det er jo ikke alle egne af Jorden, der får og afgiver lige meget stråling.

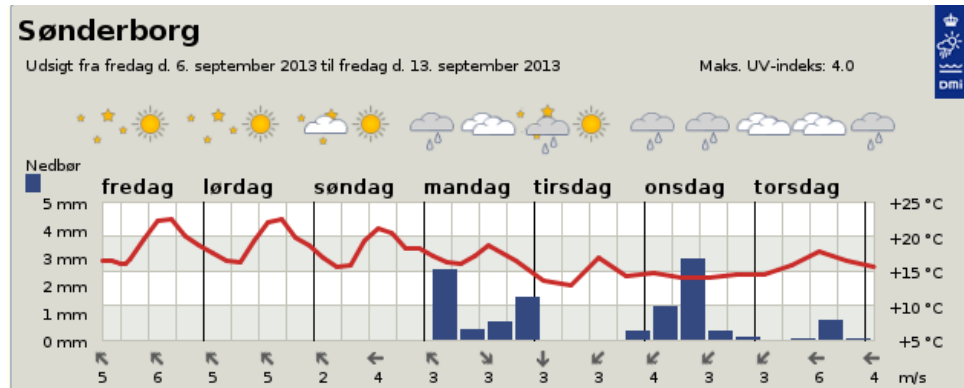
Men der skal alligevel være ligevægt, ellers vil Jordens gennemsnitlige temperatur ikke forblive konstant.

Der kan være sæson-forskelle, men i løbet af et år skal der være ligevægt.

Arealet under de to grafer skal være ens.



Og vi ved, at temperaturen ændres i døgnets løb.

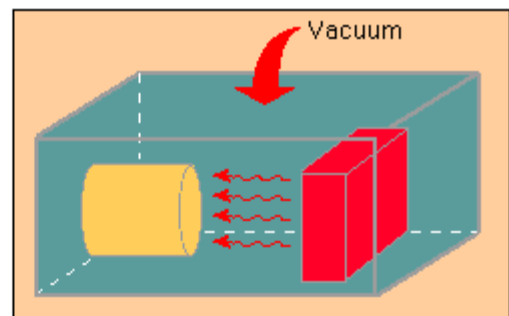


Natten bliver ekstra kold hvis der er klar himmel. Temperaturen stiger fra Solopgang

Vi husker:

Varmestråling:

Man mærker tydeligt varmemstrålingen fra Solen, og på afstand kan man også mærke strålingen fra en varm kogeplade.



Varmestråling kan gå gennem rummet.

http://help.solidworks.com/2011/English/SolidWorks/cosmosxpresshelp/AllContent/SolidWorks/NonCore/SimulationXpress/c_Thermal_Analysis.html



Kommer man tæt på et bål, kan man tydeligt mærke strålingen.

Og jo større bål, jo mere stråling.

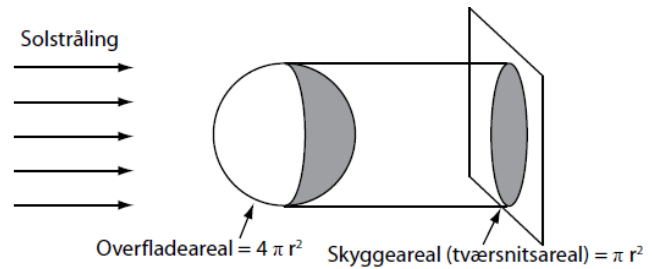
http://www.cambridge.org/servlet/file/store7/item1055874/version1/physics_sample_1.pdf

Mængden af strålingsenergi der rammer Jorden:



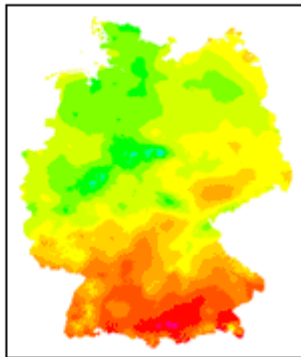
Den største mængde energi må ramme
Jorden ved ækvator.

Jo længere man kommer væk fra ækvator, jo
mindre energi modtager Jorden pr.
kvadratmeter.



Globalstrahlung 1981-2000
Mittlere Jahressummen in kWh/m²

- Über 1150
- 1125-1150
- 1100-1125
- 1175-1100
- 1050-1075
- 1025-1050
- 1000-1025
- 975-1000
- 950-975
- 925-950
- 900-925
- Unter 900



Et kort over Tyskland, der viser variationer af
solindstråling målt over et år

Jo længere sydpå man kommer, jo mere energi
får man fra Solen.

Graphic: Deutscher Wetterdienst

For at få et billede af, hvor meget energi der er tale om, se fx disse videoer:

Solen smelter sten? http://www.youtube.com/watch?v=z0_nuvPKIi8 1:43 min.

Lille parabolspejl:
(4:41) <http://www.youtube.com/watch?feature=fvwp&NR=1&v=TtzRAjW6KOO>

Stort spejl-varmeværk: <http://www.youtube.com/watch?v=LMWlgwvbrcM> (4:33)

Strålingens karakter

Men hvad er det for en stråling?

Og hvordan kan det være, at den stråling, vi modtager fra Solen kan komme igennem atmosfæren uden at blive trappet af drivhusgasser, mens stråling fra Jorden den anden vej trappes.

Forklaringen skal findes i, at den stråling, der kommer fra Solen og rammer Jorden, har højere frekvens, (er kortbølget). Mens stråler fra Jorden ud mod verdensrummet har lavere frekvens (længere bølgelængde), som ikke så let trænger ud gennem drivhusgasserne i atmosfæren.

Hvorfor er det sådan??



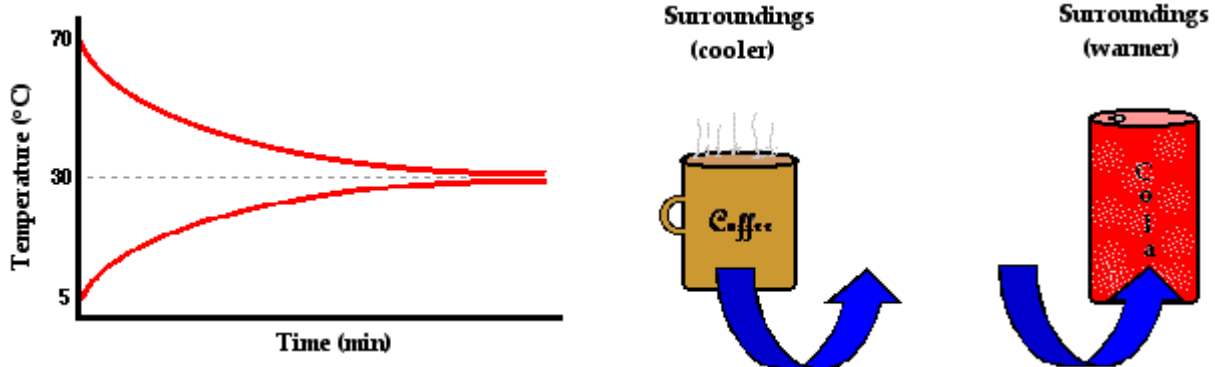
Temperatur udlignes. Der opstår ligevægt:

Vi har indset, at alle legemer over det absolutte nulpunkt udstråler energi.

Og legemer bliver ikke koldere, fordi andre legemer jo også udstråler energi afhængig af deres temperatur, og denne udstråling modtages, og omsættes til varme.

Derfor vil legemer af forskellig temperatur ændre temperatur imod hinanden. Hen imod ligevægt:

Noget varmt bliver koldere, noget koldt bliver varmt.



<http://www.physicsclassroom.com/Class/thermalP/u1811d.cfm>

Jo varmere noget er, jo mere stråling

Vi kender, at noget varmt, fx et stykke glødende jern, en meget varm kogeplade udsender "varmestråler" og lidt lys.

Jo varmere, jo mere varmestråling og jo hvidere lys udsendes.



Stråling kan altså have forskellige frekvenser. Noget af strålingen er det, vi kalder lys.

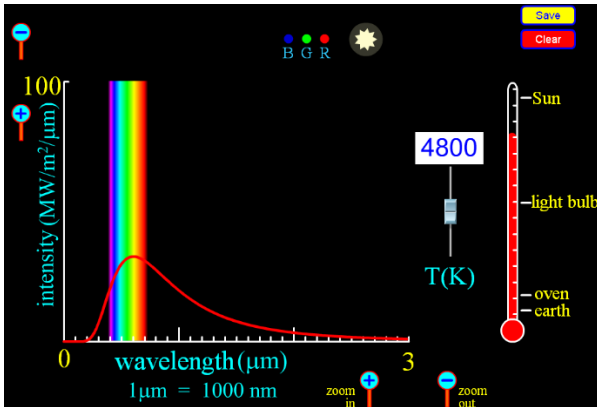
Der er altså en sammenhæng mellem temperatur, lys og varmestråling.



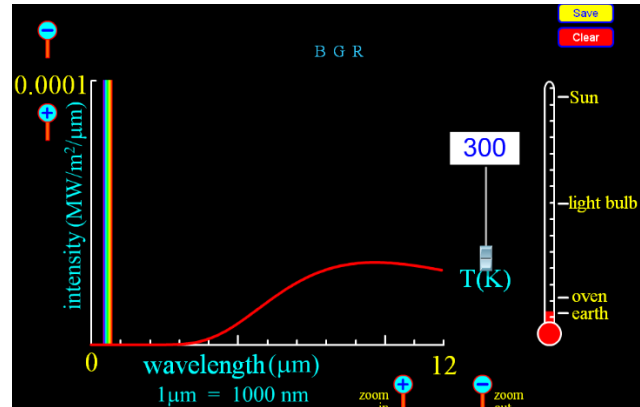
Stråling fra Solen og Jorden

Stråling fra Solen og Jorden har som vist i Black Body-kompendiet forskellig sammensætning, fordi deres temperatur er forskellig.

Vi husker:



Her vist graf for et nogenlunde varmt legeme.



Her vist for et relativt koldt legeme, Ca. Jordens gennemsnitstemperatur.

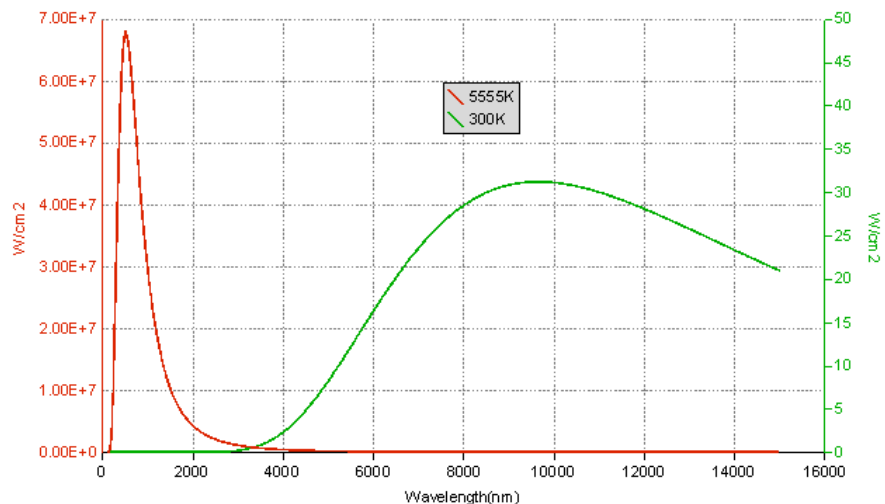
Kilde: http://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum_en.html

Bemærk, at alle frekvenser findes i strålingen.

En anden graf, der viser strålingsmængden fra et legeme med temperaturen 5555K svarende til Solens temperatur.

Og 300K som er ca. Jordens temperatur.

Bemærk 2 forskellige Y-akser.



Hemispherical spectral emissive power for the emissions from the sun's surface (red line and y1-axis) and the earth's surface (green line and y2-axis).



Kilde: <http://paccs.fugadeideas.org/radiation/index.shtml>

Solens strålingsspektrum

Der kan findes et hav af grafer, der viser strålingsspektret fra Solen, og absorptionen i atmosfæren. Her et par stykker:

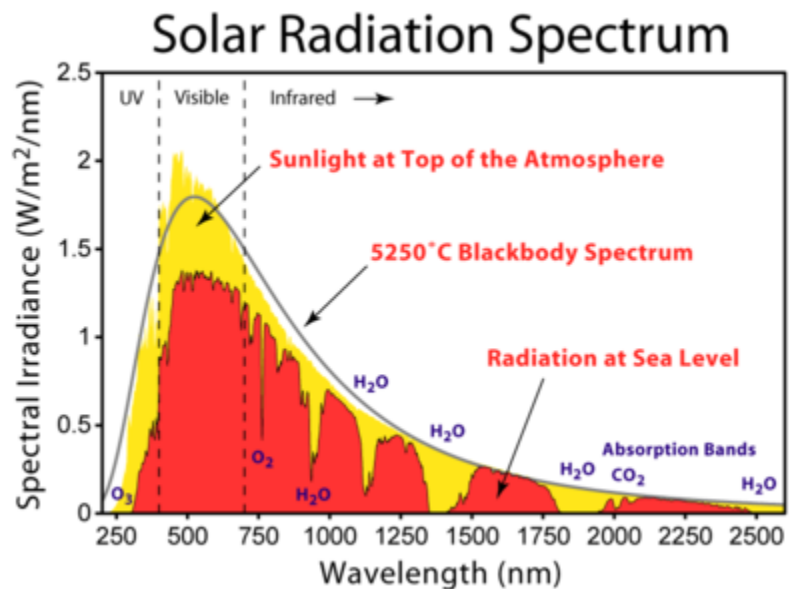
Denne graf viser, hvad der udsendes fra Solen.

Men også den stråling, der slipper gennem atmosfæren.

Noget af Solens stråling bliver altså fanget i atmosfæren.

Afhængig af strålingens frekvens, - og molekyler / partikler i luften.

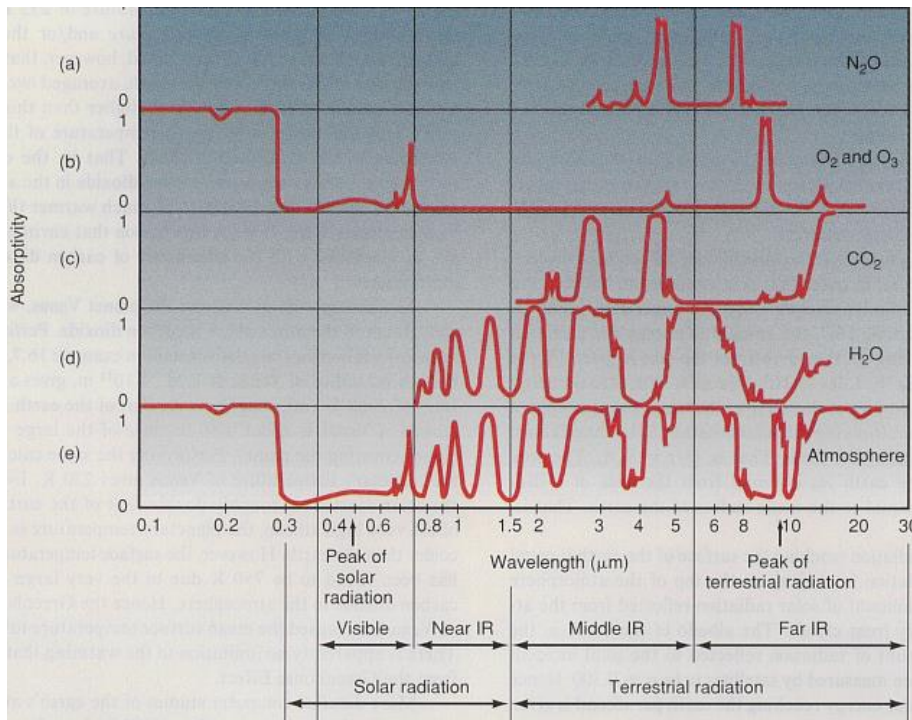
I kilden er også forklaret, hvordan indstrålingen er på Jorden, set i forhold til dag / nat, Breddegrad osv.



K: http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_radiation

Atmosfæren absorberer stråling.

Når molekylerne absorberer energi, vibrerer de kraftigere, de bliver varmere!



Højeste frekvenser (UV) til venstre.

Af alle gasser i atmosfæren er det kun Oxygen, Ozon, Vanddamp og CO₂ der er signifikante absorberere af stråling.

Grafen viser, hvilke frekvenser, de forskellige gasser absorberer.

1 angiver total absorption, 0 at der ikke absorberes.

Bemærk, at oxygen og ozon (O₃) absorberer næsten alt ultraviolet stråling fra Solen under 0,3 μm.

(e) viser en samlet graf.

<http://www.physicscurriculum.com/SampleChapters/Physics%20for%20Engineering%20Students%20Ch18.pdf>

En lille del af ultraviolet lys når jorden i området fra 0,3 μm til begyndelsen af det synlige lys, dvs. violet ved 0.38 μm.

Oxygen og Ozon er næsten transparent for synligt lys og infrarød stråling.

Stråling som passerer atmosfæren absorberes i en vis grad, der afhænger af strålingens bølgelængde, - og atmosfærens indhold af gasser, som Vanddamp, Oxygen, CO₂, og Metan.

Der er imidlertid et relativt stort frekvensbånd mellem 8 og 13 Mikrometer, hvor der er relativt lille absorption. Derfor slipper der her meget stråling igennem.

Dette frekvensbånd kaldes det atmosfæriske vindue. Det er i dette bånd, satellitters infrarøde detektorer måler strålingen fra Jorden for at monitorere Jordens temperatur.

Kilde: <http://www.cambridge.org/us/engineering/author/nellisandklein/downloads/problems/10.pdf>

Formler og opsamling:

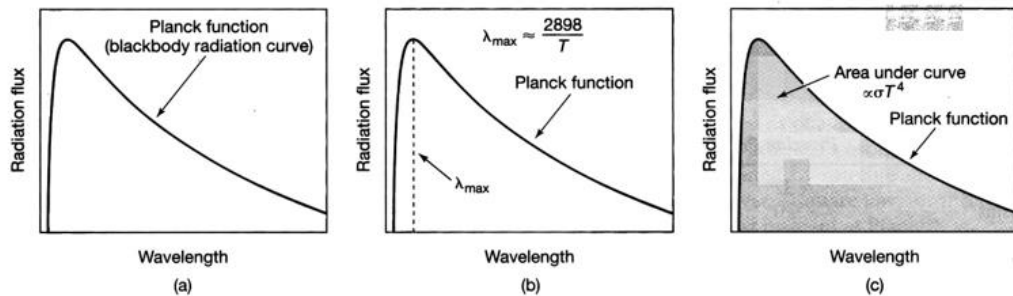
Ideen er jo, at vi skal regne lidt på drivhuseffekten. Så her nogle formler !!

Planck Funktioner



Graferne for strålingen fra et sort legeme kan selvfølgelig beskrives med ligninger.

Her vist et par grafer:



- a: Planck funktionen, eller Black Body Radiation kurverne:
- b: Wien's lov.
- c: Stefan-Boltzmann's lov.

Strålingens energi-indhold:

Det, der er mest interessant i denne sammenhæng, er strålingens effekt, eller set over tid, dens energiindhold.

Elektromagnetiske bølger kan variere fra få svingninger i sekundet til Giga-Hz.

Einstein fremførte, at elektromagnetisk stråling er udbredelsen af en samling af diskrete pakker af energi, kaldet fotoner. Hver foton medbringer, - eller indeholder energi, - som kan beregnes af:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

hvor

- E = energi i elektronVolt.
- ν = fotonens – eller svingningens frekvens.
- $h = 6.625 \times 10^{-34} [J \cdot s]$, Planck's konstant.
- c = lysets hastighed.
- λ = bølgelængden.

I Einsteins formel er h og c konstanter. Derfor ses, at fotonens energi er omvendt proportional med dets bølgelængde. Altså, jo kortere bølgelængde = højere frekvens, jo mere energi indeholder fotonen.

Ligningen udtrykker at:

Lang bølgelængde – svarende til lave frekvenser = lav energi.

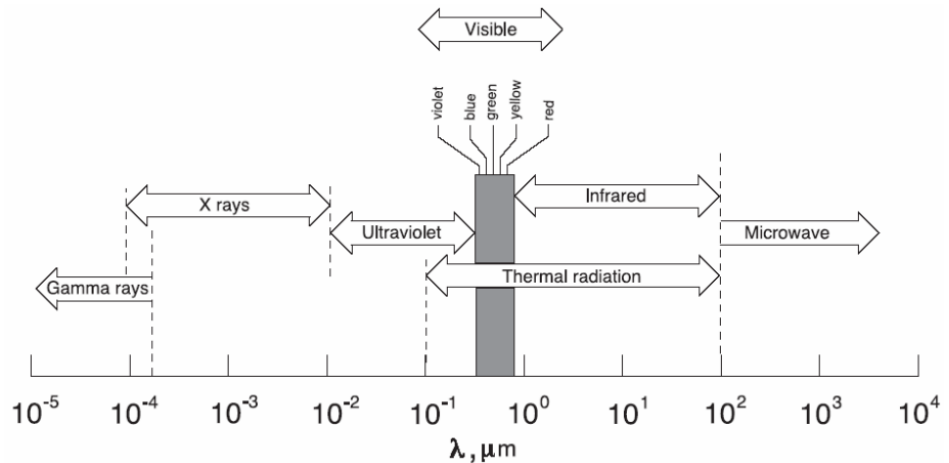


Kort bølgelængde – svarende til høj frekvens = høj energi.

Røntgenstråler og gammastråler har høj frekvens, og de er jo også ret destruktive.

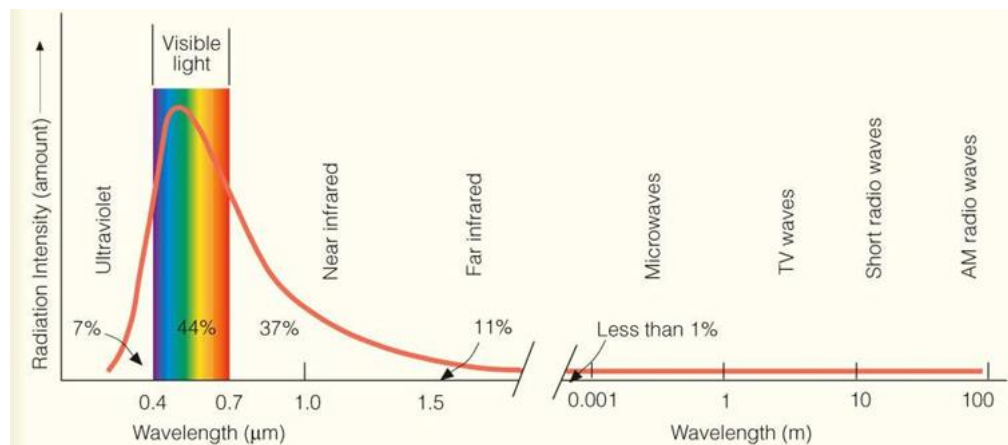
Og Ultraviolet stråling kan forbrænde huden!!

En graf, der viser
navnene vi har givet
forskellige
bølgelængder.



http://www.mhtlab.uwaterloo.ca/courses/ece309/lectures/pdffiles/summary_ch12.pdf

Og her en graf,
der viser
strålings-
mængden fra
Solen i
forskellige
bølgelængde-
områder.



Se: http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter2/plank_sun_closer_look.html

Den samlede energi er udtrykt ved arealet under grafen.

Samlet oversigt over de formler, der gælder:



<u>Stefan Boltzmann Law.</u>	<u>Wien's Law</u>
Strålingens intensitet:	Strålingens peak-frekvens findes af:
$Intensitet = \sigma \cdot T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right]$	$\lambda_{max} \cong \frac{2898 \mu m}{T (K)}$

Der kan nu opsættes et ca. skema for strålingen fra hhv. Solen og Jorden.

	Temperatur Kelvin	Peak frekvens μm	Region i spektret	Flux, $\frac{W}{m^2}$
Solen	6000	0,5	Synligt (I det grønligte)	7×10^7
Jorden	300	10	Infrarød	460

Flux er et udtryk for den energistrøm der udsendes pr. m^2

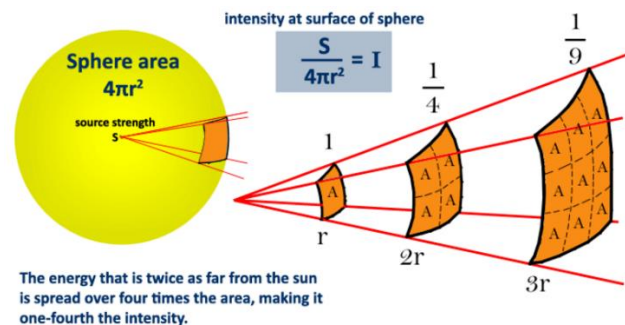
Flux bruges også om lysstrøm, om magnetisk flux mm.

Solarkonstanten, - Hvor meget Sol-energi rammer Jorden og dens atmosfære?

Den energi, der i alt stråler ud fra Solen, spreder sig ud over et større og større areal til alle sider fra Solen, jo længere man kommer væk.

Som en kugleskal, der vokser ved større radius.

Jo længere væk fra Solen, jo større kugleareal, deles om den samme strålingen.



Fra: <http://www.geog.ucsb.edu/ideas/Insolation.html>



Derfor bliver strålingsintensiteten mindre og mindre.

Den gennemsnitlige afstand fra Solen til Jorden er 149.600.000 km

Strålingsintensiteten falder med kvadratet af afstanden, r , fra Solen.

$$\text{Strålingsintensitet} = \frac{1}{r^2}$$

På engelsk: the **Inverse Square Law**

Kender man mængden af energi, der hvert sekund udsendes fra Solen, og afstanden til Jorden, kan man beregne energien, der hvert sekund rammer 1 kvadratmeter af Jorden og dens atmosfære.

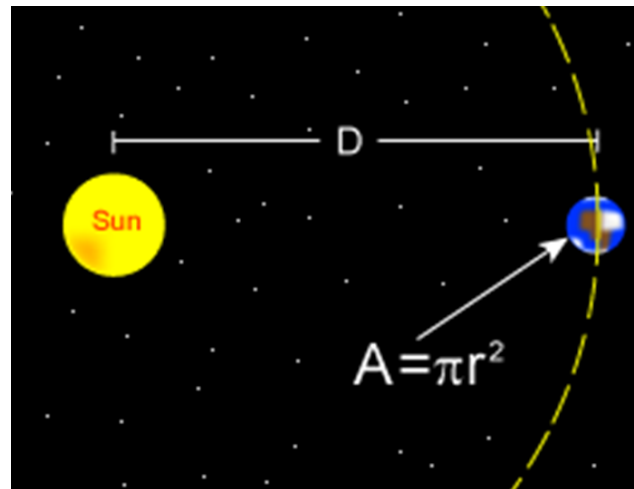
Denne energi pr sekund, – eller effekt, kaldes **Jordens Solarkonstant**.

Formeltegnet er S_0 , og måleenheden er $[W/m^2]$

Set fra Solen er Jorden et lille areal som en cirkel.

Solens stråler rammer Jorden på et cirkel-areal defineret af Jordens radius (r_{earth})

$$E_{ind,Jord} = S_0 \left[\frac{W}{m^2} \right] \cdot \pi \cdot r_{earth}^2 [m^2]$$



Den totale Flux, eller Energi pr sek. der udsendes fra Solen kaldes *Solens Luminositet*.

Den benævnes med et L , og er ca:

$$L = 3.9 \cdot 10^{26} [W]$$

Solarkonstanten kan nu beregnes af:

$$S_0 = \frac{L}{4 \cdot \pi \cdot r_{sun-earth}^2} = \frac{3.9 \cdot 10^{26} W}{4 \cdot \pi \cdot (1.5 \cdot 10^{11} m)^2} = 1370 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$r_{sun-earth}$ er afstand Sol til Jord.



Men hertil skal bemærkes, at Jordens omkredsning om Solen jo ikke er en cirkelbevægelse. Den er mere elliptisk. Og derfor svinger solarkonstanten +/- 3.4% i løbet af året.

Lille dog, derfor opfattes Solarkonstanten som konstant.

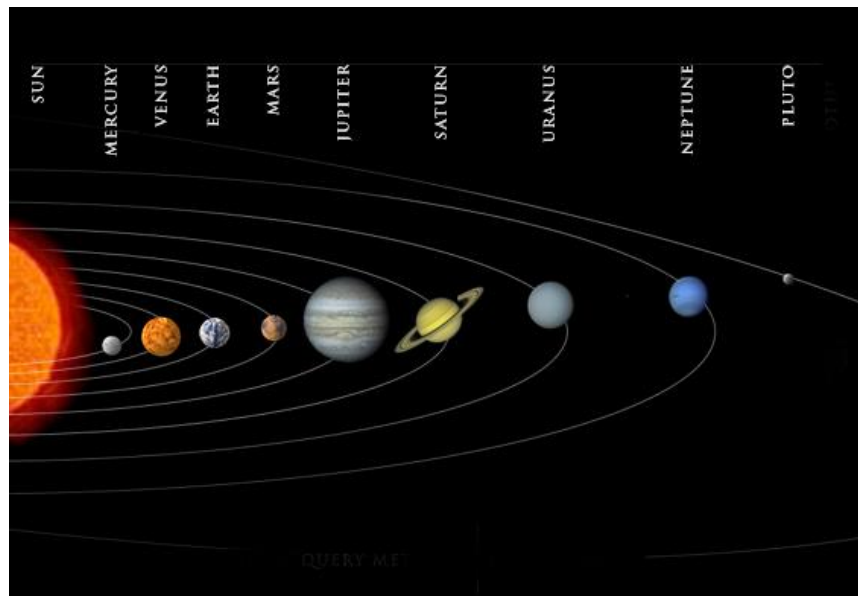
http://www.mhtlab.uwaterloo.ca/courses/ece309/lectures/pdffiles/summary_ch12.pdf

Fordi afstanden fra Solen til planeterne er forskellig, har hver planet sin egen solar-konstant.

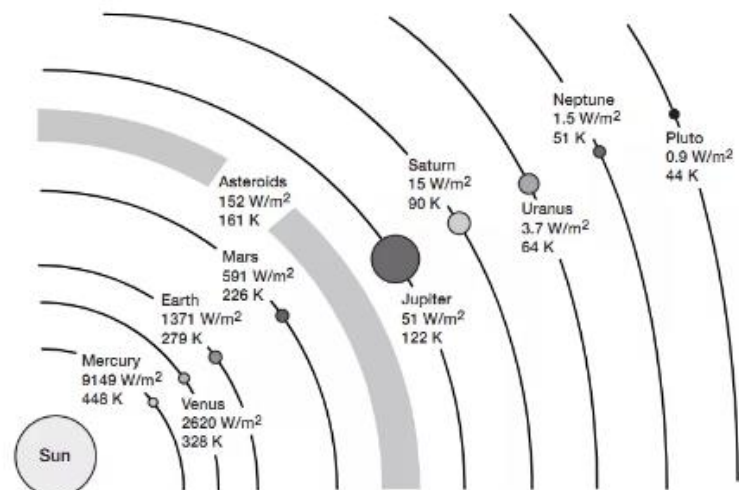
Energien fra Solen spredes jo ud fra Solen over større og større kugleskal-areal eftersom radius vokser.

De yderste planeter får mindst energi pr m^2 .

Derfor er de yderste planeter de koldeste.



Her er Solarkonstanterne for planeterne vist !!!



Kilde: <https://johncarlosbaez.wordpress.com/2011/06/19/putting-the-earth-in-a-box/>

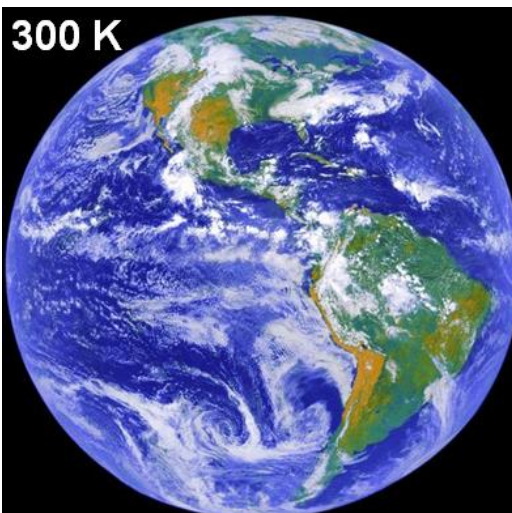
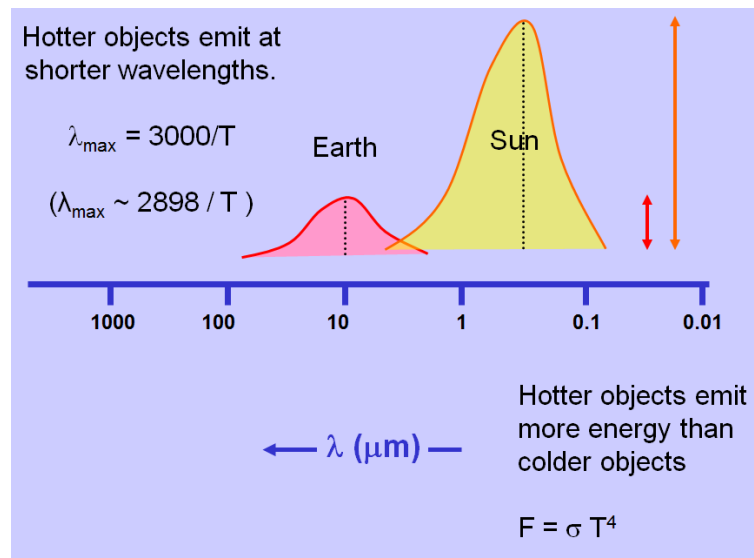


Jordens udstråling

Der er jo balance i energiindstråling og udstråling.

Jorden har en temperatur over det absolutte nul.

Derfor udsendes strålings-energi fra Jorden.



Energien udstrålet fra Jorden:

$$E_{out,Jord} = I \cdot (\text{overfladearealet})$$

Hvor I = Intensitet, Flux pr. m^2 .

Overfladearealet er jo hele Jordens overflade.

$$I = \sigma T^4$$

$$\text{Jordens Overfladeareal} = 4 \pi r_{\text{earth}}^2$$

Så:

$$E_{out,jord} = (\sigma \cdot T^4) \cdot (4 \cdot \pi \cdot r_{\text{earth}}^2)$$

Emissionskoefficient.

Nu er det bare sådan, at ikke alle legemer optræder som et helt ideelt Black Body. Nogle overflader er bedre end andre til at udstråle energi. Dette kan udtrykkes ved en emissionskoefficient ϵ (epsilon).

Epsilon har et tal mellem 0 og 1.

Et Black Body-objekt har værdien 1. Jord, asfalt og menneskeskind har en værdi på 0,95. Nattehimmels koefficient er ca. 0,74

Derfor udbygges formlen for udstrålingen nu til: $E = A \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 [\text{Watt}]$



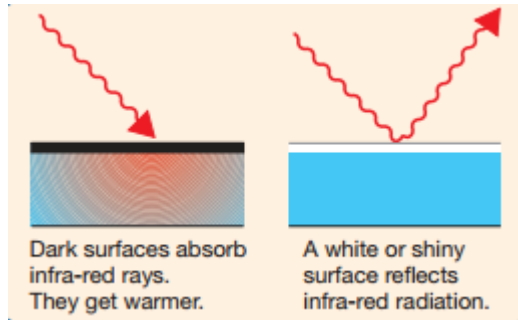
Albedo, Refleksion fra Jorden:

Ud over emissionskoefficienten må der også tages højde for at forskellige overflader reflekterer Solens stråling forskelligt.

Hvor meget af en stråling, der reflekteres, afhænger af overfladens beskaffenhed.

Fx ved vi, at fx sne reflekterer lyset - og dermed strålingsenergi.

(Det er ofte nødvendigt at bære solbriller når man står på ski).



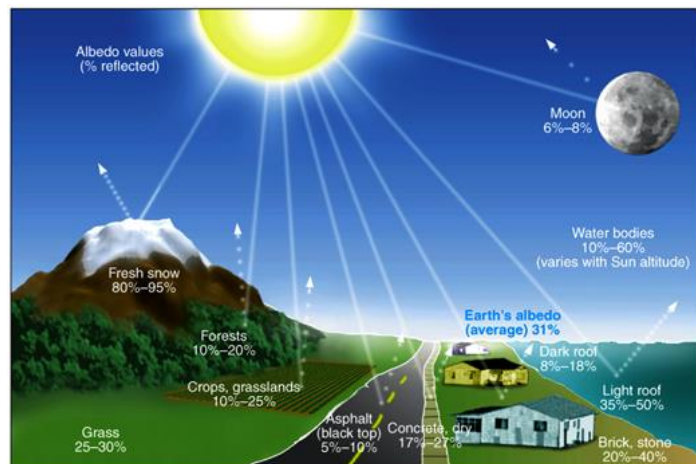
http://www.cambridge.org/servlet/file/store7/item1055874/version1/physics_sample_1.pdf

Jordens refleksion af stråling kaldes Albedo.

Albedo (A) er Reflekeret Energi i %.

Forskellige Albedo-værdier:

- Frisk sne 80-95 %
- Skove 10-20 %
- Asfalt 5 til 10 %
- Vandoverflader 10 til 60 % (afhængig af Sol-vinkel)
- Lyse hustage 35 til 50 %
- Mørke tage 8 til 18 %



Det har været foreslået, at man maler hustage hvide for at reflektere mere sollys.



Tjek refleksionen fra Grønlands is.

Kortet viser, hvor meget lys der reflekteres fra Grønlands indlandsis – dag for dag. Det kalder man også albedo.

Lyse områder reflekterer mere sollys end mørke. Mørke områder bliver derfor varmet mere op end lyse.

Røde områder på kortet viser, hvor isens overflade er mørkere end normalt.

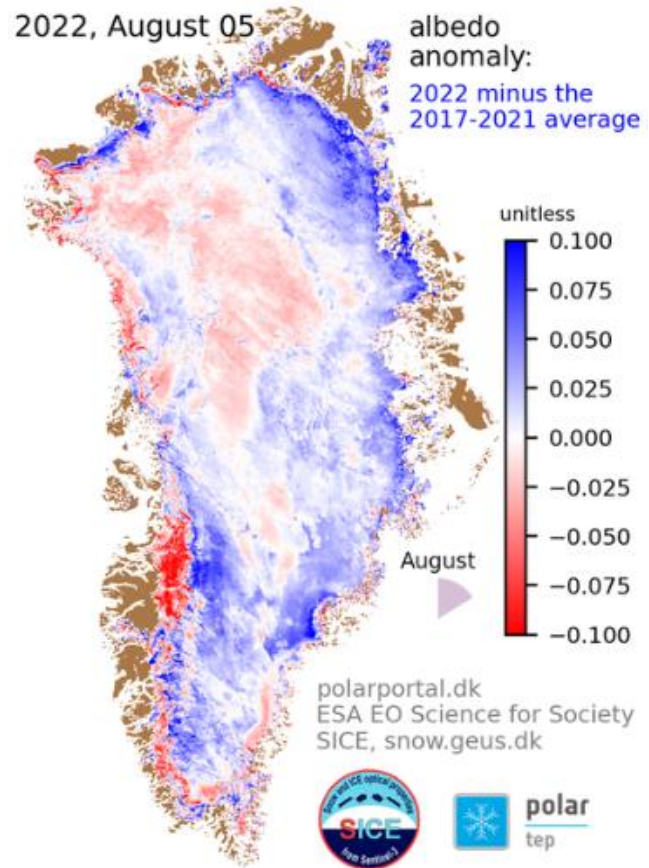
Ligeledes viser blå områder, hvor isens overflade er lysere end normalt. Kortet er vist som afvigelser fra gennemsnittet. Det vil sige, at man har fratrukket gennemsnittet af albedo målt i perioden 2000-2009.

Animationen viser de seneste 50 dages tilgængelige satellitbilleder.

Kilde:

<http://polarportal.dk/groenland/iskappens-overflade/>

Vælg Albedo, og ” Afspil ”



Det betyder altså, at den optagne mængde energi på Jorden reduceres – afhængig af albedo.

$$E_{\text{Indstrålet}} = S_0 \cdot \pi \cdot r_{\text{earth}}^2 \cdot (1 - A)$$

Albedo (A) er for tiden 0,3

Tilbage er der (1 – A) = 0,7 af energien.

Derfor indstråles:

$$E_{\text{ind,Jord}} = S_0 \left[\frac{W}{m^2} \right] \cdot \pi \cdot r_{\text{earth}}^2 [m^2] \cdot (0,7)$$

Energibalance



Jordens temperatur ændres ikke, derfor må der være balance. Dvs. den energi der modtages svarer til den energi, der udstråles.

$$E_{\text{in}} = E_{\text{out}}$$

Der er balance ved:

$$E_{\text{in}} = S_0 \pi r_{\text{earth}}^2 (1-A)$$

$$E_{\text{out}} = \sigma \varepsilon T^4 (4 \pi r_{\text{earth}}^2)$$

Dvs.

$$S_0 \cdot \pi \cdot (r_{\text{earth}})^2 \cdot (1 - A) = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \cdot 4 \cdot \pi \cdot (r_{\text{earth}})^2$$

pi og radius² optræder på begge sider, og går ud. Derfor fås:

$$S_0 \cdot (1 - A) = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \cdot 4$$

Og ved isolering af T:

$$T^4 = \frac{S_0 \cdot (1 - A)}{4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma}$$

Så hvis man kender Solarkonstanten S_0 og Jordens Albedo A , kan man beregne den forventede temperatur, (T_{exp}) for Jorden – eller for en hvilken som helst planet, der opfører sig som et Blackbody.

For Jorden haves:

- $S_0 = 1370 \text{ [W/m}^2\text{]}$
- $A = 0.3$
- $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$ (Stefan-Boltzmann konstant)
- $\varepsilon = 1$ (vælges her)

Så:



$$T^4 = \frac{1370 \left[\frac{W}{m^2} \right] \cdot (1 - 0,3)}{4 \cdot \varepsilon \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]}$$

$$T^4 = 4,23 \cdot 10^9 [K^4]$$

$$T = 255 [K]$$

Altså er den forventede temperatur for Jorden, $T_{\text{exp}} = 255 \text{ K}$.

Omregnet til Celsius:

$$T_{\text{exp}} = (255 - 273) = -18 \text{ }^\circ\text{C}$$

Men den aktuelle temperatur er noget varmere! Næmlig 15 °C

Dvs. At forskellen mellem den aktuelle og den forventede temperatur er $15 - (-18) = 33 \text{ }^\circ\text{C}$

Med andre ord, har vi en drivhuseffekt på $33 \text{ }^\circ\text{C}$.

Kilder:

Se mere om Jordens energibudget på:

<http://scienceofdoom.com/2010/02/06/the-earths-energy-budget-part-one/>

Videoer:

YouTube: Radiation balance from Sun and Earth.

<http://www.youtube.com/watch?v=g55wC8zYFA8> (47:51)