

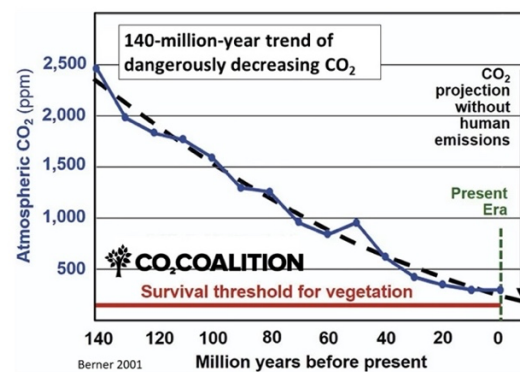
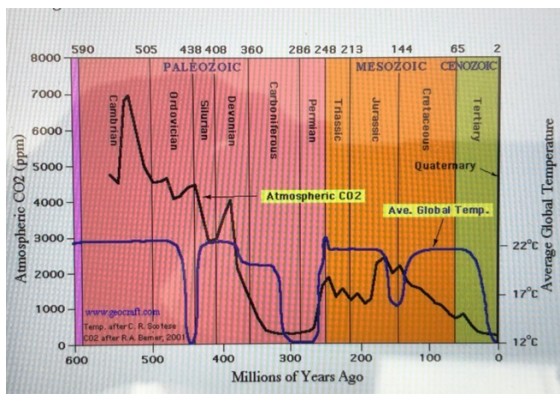
Kan människor förbättra det globala klimatet genom förbränning av fossila bränslen?

Gunnar Holmgren, september 2024, rev. Dec. 2025

If it disagrees with experiment, it is wrong.....That's all there is to it.

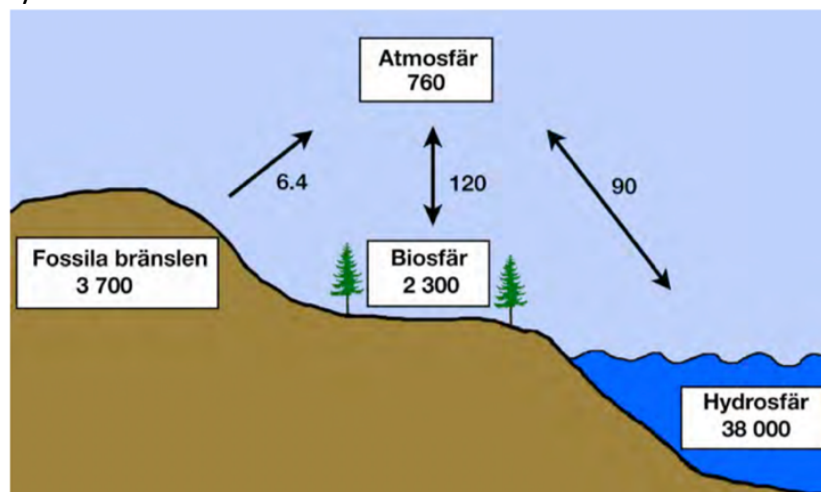
[Richard Feynman on the scientific method]

Som framgår av nedanstående diagram är den globala temperaturen och atmosfärens innehåll av koldioxid, i ett geologiskt tidsperspektiv, extremt låga. (Ökningen av koldioxid i atmosfären i historisk tid framgår av diagrammet på sidan 3.)



Koldioxidhalten är faktiskt nära gränsen för vad som krävs för de gröna växternas (C3) överlevnad. Båda dessa parametrar har föreslagits kunna påverkas av människans förbränning av fossila bränslen. ***Vi argumenterar här att även om vi skulle förbränna alla kända fossila bränslereserver, kommer varken atmosfärens koldioxidhalt eller den globala temperaturen att varaktigt påverkas (öka) mer än marginellt. Inte ens om alla fossila reserver förbränns vid ett tillfälle skulle temperaturen, temporärt, innan jämvikt etablerats, öka katastrofalt.***

Enligt IPCC 2007 finns väsentligen tre reservoarer av koldioxid i kolcykeln: Atmosfären, Biosfären och Hydrosfären:



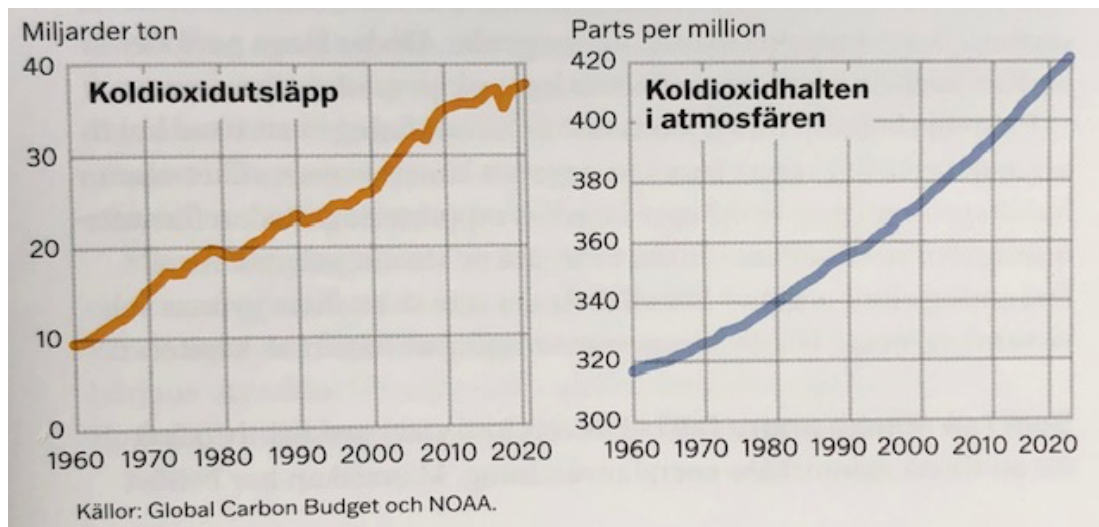
Dessutom finns en källa av fossila bränslen, som vid förbränning tillför koldioxid till systemet. Vi noterar att hydrosfären och biosfären tillsammans lagrar mer än 50 gånger mer kol än atmosfären. Det kol som finns i atmosfären, 760 GtCⁱⁱ, motsvarar cirka 358 ppmⁱⁱⁱ koldioxid. Av dessa 760 GtC (358 ppm^{iv}) utgör cirka 9 GtC (4,3 ppm), d.v.s. cirka 1 %, koldioxid av fossilt ursprung [Bernahu, 2017]^v. Figuren^{vi} ovan representerar läget ungefär 1990. Som representativt för jämviktsförhållanden anger dock IPCC, 594 GtC (280 ppm) i atmosfären som antas ha rått före den industriella expansionen, och att reservoarernas förhållande skulle ha varit 1:4:64 för atmosfären:biosfären:hydrosfären vid jämvikt i systemet.

Enligt *Henrys lag*^{vii}, kommer systemet, att sträva mot detta jämviktsförhållande, det vill säga att ungefär 1,6 procent av tillförd koldioxid kommer varaktigt att tillföras atmosfären och 98,4 procent kommer att succesivt tillföras haven tills det att jämvikt har etablerats. Antag att människorna förbränner alla kända fossilreserver, 3700 GtC. Då kommer 58 GtC^{viii} (27 ppm) att varaktigt ha tillförts atmosfären då jämvikt åter har etablerats.

Beträffande inverkan på temperaturen blir ökningen med 58 GtC (27 ppm) i atmosfären knappt märkbar eftersom temperaturinverkan har ett logaritmiskt samband^{ix} med koncentrationen av koldioxid. Atmosfären är redan "mättad" på koldioxid med avseende på dess förmåga att påverka klimatet.

Observera att vårt räkneexempel avser varaktiga värden efter det att jämvikt i systemet infunnit sig. Detta sker emellertid inte omedelbart utan efter en viss uppehållstid^x. En experimentell uppfattning av uppehållstiden fås till exempel genom att mäta avklingningstiden för de radioaktiva kolmolekyler som injicerades i samband med de atomvapenprov som genomfördes i atmosfären på nittonhundratalet. Ett ungefärligt värde är tio år. Under avklingningstiden fås emellertid, temporärt, avsevärt högre koncentrationer än efter jämvikt. Ett extremvärde för detta fås om vi gör det orealistiska antagandet att hela den fossila reserven, 3700 GtC, förbränns vid ett tillfälle. Vi skulle då addera ungefär 1800 ppm koldioxid, framför allt, till atmosfären, och öka koldioxidhalten från nuvarande 400 till 2200 ppm. Detta innebär en 5,5-faldig ökning, och skulle innebära en temperaturhöjning på mellan två och tre grader, baserat på en temperaturkänslighet^{xi} på en grad för varje fördubbling av koldioxidhalten. (400 till 800 ppm ger en grad; 800 till 1600 ppm ger ytterligare en grad; 1600 till 3200 ppm skulle ge ytterligare en grad). Efter en avklingning under några decennier (se not viii), skulle den varaktiga koldioxidökningen i atmosfären ha avklingat till 27 ppm, och ge en icke mätbar temperaturhöjning, enligt resonemanget ovan.

Förbränning av fossila bränslen är en av flera processer som påverkar atmosfärens koldioxidhalt. Exempel på andra processer är vulkanutbrott, fotosyntesen, djurs och människors andning, varierande pH eller temperatur^{xii} i haven. Variationer av mänskliga utsläpp av koldioxid har ingen tydlig, omedelbar, inverkan på atmosfärens innehåll av koldioxid, vilket framgår av nedanstående diagram.



Vi noterar i ovanstående diagram att, för sextioårsintervallet från 1960 till 2020, har de årliga koldioxidutsläppen fyrfaldigats från 9 till 37 GtC (motsvarande cirka 4 till 17 ppm i atmosfären) medan koldioxidökningen i atmosfären, under samma period, bara har ökat från cirka 2 GtC (1 ppm) till drygt 4 GtC (2 ppm) per år. Det är också tydligt att de utsläppsminskningar som hör ihop med konjunkturedgångarna i världens ekonomi inte på ett omedelbart sätt återspeglas i koldioxidhalten i atmosfären. Så har till exempel inte varit fallet vid någon av de fyra globala konjunkturedgångarna 1980-1982, 1991-1992, 2008-2009 och 2019-2020. Inte ens den sistnämnda nedgången – som på grund av covidpandemin innebar den största utsläppsminskningen i historien, en minskning med två miljarder ton koldioxid från 2019 till 2020 – gav någon synbar effekt i fråga om koldioxidökningen i atmosfären^{xiii}.

ⁱ Figurens källa: https://co2coalition.org/wp-content/uploads/2021/08/CO2_5.jpg

ⁱⁱ Gigaton kolekvivalenter

ⁱⁱⁱ PPM – Parts Per Million, 1 PPM Co₂ i atmosfären motsvarar cirka 2,12 GtC.

^{iv} Parts per million - miljondelar

^v Bernahu et al, (2017) Estimation of the fossil fuel component in atmospheric CO₂ based on radiocarbon measurements at the Beomünster tall tower, Switzerland, Atmos. Therm. Phys.,17, 10753 - 10766, 2017

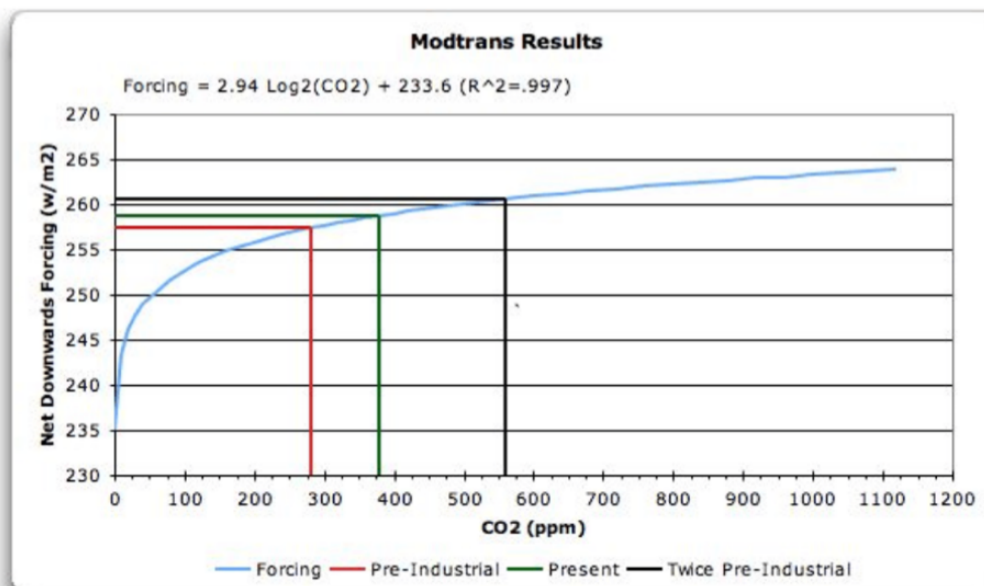
vi Källa: IPCC 2007

vii Henrys lag säger att jämviktstrycket av en gas ovanför en vätskefas är proportionell mot gasens koncentration i vätskan. Applicerat på atmosfären ovanför en havsyta kan detta tolkas som att partialtrycket, p , av koldioxid vid jämvikt är proportionell mot havets koldioxidhalt, och därmed mot havets totala halt, y , av karbonatföreningar (koldioxid, kolsyra, bikarbonat- och karbonatjoner). Det innebär att ändringar, Δp , av koldioxidens partialtryck vid konstant pH och temperatur måste ge upphov till proportionerliga ändringar, Δy av havets jämviktshalt av karbonatföreningar enligt sambandet $\Delta p/p = (\Delta y/y)$

Kolets kretslopp har tre stora koldioxidreservoarer: Atmosfären, biosfären och hydrosfären. I de tidigaste IPCC- rapporterna angavs ett jämviktsförhållande på 1:4:64 för kolinnehållet i dessa. Henrys lag innebär att, ett tillskott av koldioxid till systemet, till exempel genom utsläpp till atmosfären, efter det att jämvikt inställt sig, att fördelas i reservoarerna i proportionerna 1:4:64. Med andra ord kommer mindre än 2 % att stadigvarande ge ett tillskott till atmosfären. Analogt kommer en artificiell reduktion av koldioxiden i atmosfären, att fyllas på med 98 % koldioxid huvudsakligen från den stora hydrosfäriska reservoaren, eftersom reduktionen, i princip minskar koldioxidens partialtryck och vi får ett flöde från haven till atmosfären tills jämvikt etablerats.

viii $3700 * 1,6 / 100 = 58$

ix Redan Svante Arrhenius hade insikten att växthuseffekten är logaritmiskt beroende av koldioxidens koncentration. Det logaritmiska beroendet, är okontroversiellt, och förklaras normalt med detaljerna i molekylens absorptionspektrum. Koldioxiden har ett stort antal absorptionslinjer motsvarande de våglängder vid vilka den absorberar elektromagnetisk strålning i det infraröda området. Efterhand som gasens koncentration ökar, mättas absorptionsförmågan, det vill säga all den tillgängliga infraröda strålningen för en specifik absorptionslinje har absorberats, det finns ingen mer strålning kvar att absorbera. Absorptionslinjer är emellertid inte infinitesimalt smala, utan har en bredd, som normalt avtar exponentiellt från centrumfrekvensen. Detta kan till exempel bero på Dopplerbreddning. Detta innebär att, när centrumvåglängden har mättats kan absorptionen fortsätta i linjernas "vingar" och "the forcing" kan öka logaritmiskt då koncentrationen ökar. Dagens koncentration av koldioxid i atmosfären är tillräckligt hög för att det huvudsakliga absorptionsbandet på 15 mikrometer är mättat och ytterligare absorption är därför beroende av "vingarna" i absorptionspektrum. Nedanstående diagram, åskådliggör vad den logaritmiska karakteristiken innebär:



Figuren visar nedåtgående effektflöde (eng: forcing), W/m², som funktion av CO₂ koncentration, ppm (parts per million). Den röda linjen markerar värden vid början av den industriella revolutionen; Den gröna linjen markerar värden för år 2006; Den svarta linjen markerar fördubblade koncentrationer jämfört med början av den industriella revolutionen. Vi noterar att växthuseffekten är dramatiskt mer kraftfull vid ändringar av låga koncentrationer av koldioxiden.

Se även: <https://co2coalition.org/wp-content/uploads/2021/08/Diminishing>Returns.jpg>

^x *Uppehållstiden, u*, definieras som mängden av ett ämne, x , i en reservoar dividerat med hastigheten, dx/dt , för ämnets utflöde ur reservoaren.

$$u = x/(-dx/dt)$$

Om ämnet bortskaffas ur reservoaren med konstant hastighet uttrycker alltså u den tid det tar att tömma reservoaren på ämnet, x . Vi är intresserade av att betrakta hur ämnen rör sig mellan kolcykelns reservoarer Hydrosfären, Atmosfären och Biosfären, med både inflöden och utflöden i reservoarerna med hastighetskonstanterna k_{12} och k_{21} . Detta beskrivs bättre med differentialekvationen

$$dx/dt = -k_{12}x + k_{21}y$$

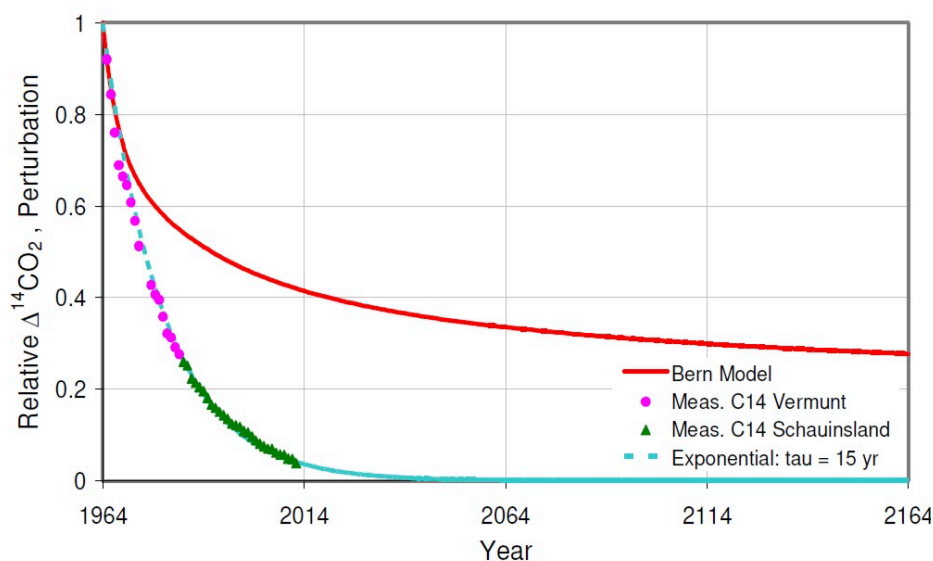
vilken säger att störningar i systemets jämvikt kommer att utjämnas genom att x och y ändras till dess $k_{12}x = k_{21}y$ så att jämviktsvillkoret $dx/dt = 0$ är uppfyllt. Med beaktande av villkoret att summan av x och y är konstant,

$$x + y = k$$

kan vi lösa differentialekvationen och får att kvarvarande överskott kan beskrivas med en exponentialfunktion $exp(-t/r)$ där t representerar tiden och konstanten r är systemets *relaxationstid*.

$$r = 1/(k_{12} + k_{21})$$

Enligt IPCC förhåller sig de förindustriella jämviktsmängderna av kol i atmosfären, biosfären och hydrosfären som 1:4:64. Förutsatt att ingen förändring skett i jämviktsförhållandena, innebär det att $(4 + 64)/(1 + 4 + 64) = 0,9855$, det vill säga att ungefär 98,5% av ett atmosfäriskt utsläpp av fossil koldioxid kan förväntas tas upp av naturliga sänkor i bio- och hydrosfären. Resterande 1,5% kommer att förbli luftburet vid jämvikt och ge en bestående ökning av luftens koldioxidhalt. Utgående från jämviktsvillkoret $k_{12}x = k_{21}y$ drar vi slutsatsen att k_{12} måste vara mycket större än k_{21} då förhållandet mellan x och y är 1:64. Vi kan därför, i det här sammanhanget försumma k_{21} och sätta koldioxidens relaxationstid lika med $1/k_{21}$ det vill säga ungefär lika med koldioxidens atmosfäriska uppehållstid enligt IPCC:s nomenklatur. Vi använder därför i fortsättningen benämningen uppehållstid. Uppehållstiden har beräknats av ett stort antal forskare. Bert Bolin (IPCC:s förste ordförande) angav fem år, Roger Revelle (Al Gores mentor) angav sju år. IPCC bedömde i sina två första rapporter att uppehållstiden är fyra år. Alla publicerade skattningar ligger i intervallet 2 - 14 år. Senare IPCC rapporter har angivit betydligt längre uppehållstider, 100 år eller mer) baserat på den beräkningsmodell som betecknas *Bernmodellen*. Det finns alltså två skolor med avseende på uppehållstiden, en som landar på cirka tio år (bombmodellen) och en som anger 100 – 1000 år (Bernmodellen).



Bernmodellen grundar sig på ett klassiskt arbete från 1957, då Revelle och Suess [Revelle & Suess, 1957, *Tellus*, 9:18] fann att antropogena utsläpp inte kan vara den huvudsakliga orsaken till att luftens koldioxidhalt ökar. Man införde därför en Revellfaktor som minskar vattnets förmåga att ta upp luftkoldioxid med en faktor tio. Som konsekvens av detta får man avsevärt längre uppehållstider för koldioxiden. Bolin och Eriksson [Bolin & Eriksson, 1958, In *The atmosphere and the sea in motion*, pp130-142] hänföde senare Revell-effekten till den försurning av havet som antropogen koldioxid antogs ge upphov till. Så här kommenterar Gösta Pettersson Pettersson: *Falskt Alarm*, 2019, p 112] Bernmodellen: Utsläpp av antropogen koldioxid stör rådande förhållanden och startar eller vidmakthåller processer som strävar mot att åstadkomma jämvikt i systemet. Det vi vanligen uppfattar som naturens upptag av utsläppen är kinetiskt sett relaxationen (Jämviktsinställningen) av ett system som på grund av utsläppen inte längre är i jämvikt och som enligt IPCC inte her varit i jämvikt sedan den industriella eran inleddes. Koncentrationsvariabler i sådana system uppvisar ett tidsberoende som kinetiker normalt försöker beskriva med modeller som utgår från de beaktade variabelernas tidsderivator och lösningarna till motsvarande kinetiska differentialekvationer.

Det var den metod Revelle & Suess (1957) använde sig av fram till den osunda introduktionen av Revell-faktorn. Det var likaså den metod jag anslöt mig till i avsnitt 9.4, där den sunt härledda delen av Revelle-Suess luft/hav-modell utvidgades till att även inkludera temperaturberoende av koldioxidens vattenlöslighet.

Henrys lag, å andra sidan, är en jämviktslag. Den beskriver hur luftens koldioxidhalt förhåller sig till havets halt av karbonatföreningar när systemet har nått jämvikt, så att reaktantkoncentrationer i systemet antagit fixa värden och inte längre är tidsberoende. Bolin-Eriksson härledde Ekv 9.6 genom tillämpning av Henrys lag. Det betyder att ekvationen endast kan vara giltig när delta-p och delta-y hänföer sig till skillnaden mellan två olika jämviktstillstånd av systemet. Därmed förlorar ekvationen varje som helst praktiskt intresse, eftersom vi på sin höjd har empirisk information om värdena på p och y vid ett enda jämviktstillstånd (det som enligt IPCC rådde i förindustriell tid). Ekvationen kan inte tillämpas förrän systemet ånyo är i jämvikt. Och det lär dröja, eftersom det kräver att de antropogena koldioxidutsläppen helt upphört samt att temperaturerna behagar hålla sig någorlunda konstanta på centennienivå.

^{xi} Man har empiriskt funnit att den temperaturökning som orsakas av ökad koncentration av koldioxid, CO₂, är proportionell mot logaritmen för koncentrationsändringen [Ref. 8:1]. En fördubbling av CO₂ från 200 ppm till

400 ppm skulle alltså ge samma temperaturökning som en fördubbling från 400 till 800 ppm. Detta logaritmiska samband var känt redan av Svante Arrhenius [Ref. 8:2] i slutet av 1800-talet. Klimatkänsligheten är ett mått på hur jordens globala medeltemperatur påverkas om det sker en förändring i energiflödet genom strålning till och från jorden. Ändringen i energiflödet kan bero på att solen ökar eller minskar sin utstrålning men också på att atmosfärens sammansättning ändras, vilket påverkar den strålning som går ut från jorden. I klimatsammanhang avses oftast temperaturökningen i grader Celsius vid en fördubbling av CO₂-koncentrationen. Svante Arrhenius, professor i kemi vid Uppsala universitet, beräknade redan 1896 en klimatkänslighet på ungefär 5 °C [Arrhenius, 1896]. Efter det att hans professorskollega vid Universitetet, Anders Ångström, några år senare hade gjort spektroskopiska mätningar på CO₂ korrigerade sig Arrhenius och beräknade klimatkänsligheten till cirka 1 °C. Det senare värdet har stått sig till våra dagar som ett värde på uppvärmning genom endast CO₂. Inom ramen för IPCC har man emellertid lanserat möjligheten till positiv återkoppling i systemet genom förhöjning av vatteninnehållet genom att atmosfären vid en högre temperatur kan bära mer vattenånga och därigenom förstärka växthuseffekten. Det finns även hypoteser om negativ återkoppling genom inverkan av molnbildning. Experimentell bekräftelse för positiv eller negativ (förstärkning eller försvagning) återkoppling saknas fortfarande. Med stöd av teorin om positiv återkoppling, räknar IPCC med en klimatkänslighet i intervallet 1,5 - 4,5 °C.

Ref. 8:1 Pierrehumbert, R.T. (2011), *Principles of Planetary Climate*, Cambridge University Press, 674pp.

Ref.8:2 Arrhenius, S. (1896), On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground, *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5, 41, 237-276.

[8:3] <https://notrickszone.com/wp-content/uploads/2017/10/Climate-Sensitivity-Value- Estimates-Update.jpg>

^{xii} Vattnets beroende av temperaturen för att binda koldioxid kan man enkelt demonstrera genom att fylla ett glas med vatten; kyla ner det i kylskåpet; ta ut det i rumsvärmen och observera hur små bubblor av koldioxid bildas på glasets ytor efterhand som vattnets temperatur stiger och vattnets förmåga att binda koldioxiden minskar. Detta är en process som hela tiden äger rum i oceanerna där det varma vattnet vid ekvatorn avger koldioxid och det kalla vattnet närmare polerna absorberar koldioxid.

^{xiii} Anders Bolling och Svenolof Karlsson: *Professionell Klimatbevakning* ISBN 978-91-0807-8, 2024