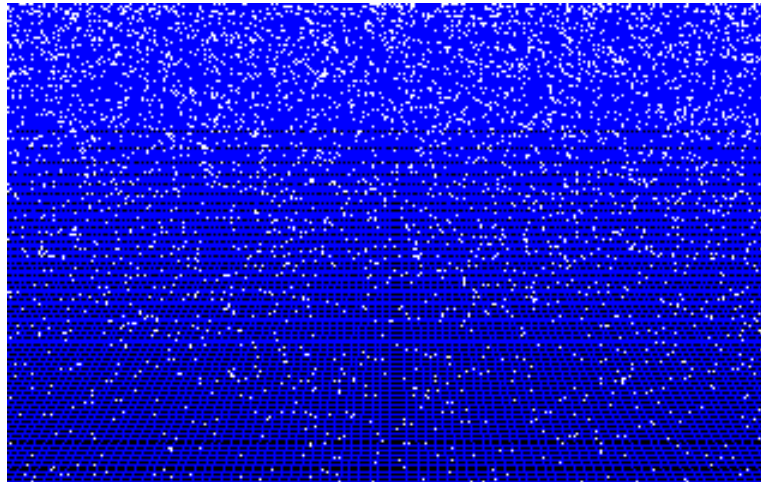


Energie

FEW cursus



Jo van den Brand en Jeroen Meidam

www.nikhef.nl/~jo/energie

30 maart 2015

Overzicht van de eerste lezing

Waar gaat deze cursus over?

- Energie, duurzaamheid, kernenergie

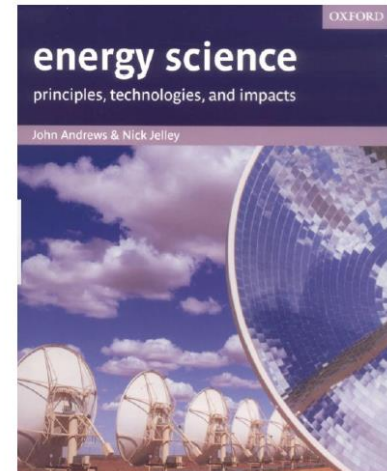
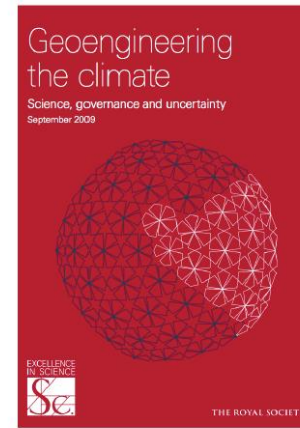
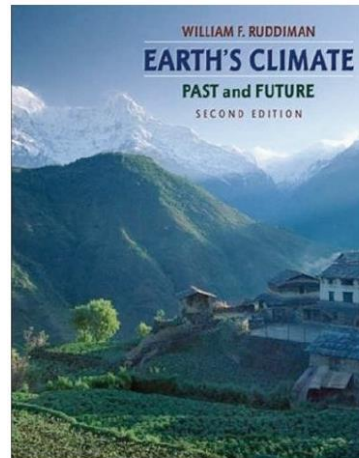
Logistieke details

- Boeken die nuttig kunnen zijn
- Huiswerk: elke week; inleveren tijdens volgend college
- Scriptie onderwerpen: een onderwerp uitdiepen
- Website: presentaties, huiswerk, achtergrond-informatie
- Dictaat en handouts

Wat is energie?

Persoonlijke benadering

Tentamen



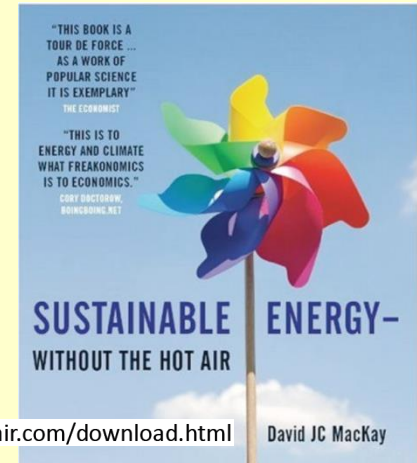
© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Deze boeken zijn niet perse nodig, maar geven goede achtergrondinformatie

Inhoud

- **Jo van den Brand**
 - Email: jo@nikhef.nl URL: www.nikhef.nl/~jo/energie
 - 0620 539 484 / 020 598 7900, Kamer T2.04
- **Jeroen Meidam**
 - Email: j.meidam@nikhef.nl
- **Beoordeling**
 - Huiswerk (20%), scriptie (20%), tentamen (60%)
- **Boeken**
 - Energy Science, John Andrews & Nick Jelley
 - Sustainable Energy – without the hot air, David JC MacKay
 - Elmer E. Lewis, Fundamentals of Nuclear Reactor Physics
- **Inhoud van de cursus**
 - Week 1 Motivatie, exponentiële groei, CO2 toename, broeikaseffect, klimaat
 - Week 2 Energieverbruik: transport, verwarming, koeling, verlichting, landbouw, veeteelt, fabricage
 - Week 3 Kernenergie: kernfysica, splijting, reactorfysica
 - Week 4 Kernenergie: maatschappelijke discussie (risico's, afval),
 - Week 5 Kernfusie
 - Week 6 Energie, thermodynamica
 - Entropie, enthalpie, Carnot, Otto, Rankine processen, informatie
 - Energiebronnen: fossiele brandstoffen (olie, gas, kolen), wind, zon (PV, thermisch, biomassa), waterkracht, geothermisch
 - Week 7 Fluctuaties: opslag (batterijen, water, waterstof), transport van energie, efficiëntie
 - Energie: scenario's voor Nederland, wereld, fysieke mogelijkheden, politiek, ethische vragen, economische aspecten



<http://www.withouthotair.com/download.html>

David JC MacKay

Gratis te downloaden

Aard van de cursus

- De cursus verschilt iets van de standaard fysica college's
 - De meeste fysica die we nodig hebben is eenvoudig. Zaken blijken toch complex te zijn als we alle interdisciplinaire aspecten (techniek, scheikunde, aardwetenschap, *etc.*) in beschouwing nemen
 - We zullen leren om goede schattingen te maken op basis van eenvoudige berekeningen. We beoordelen ook de betrouwbaarheid van de schattingen
 - We zullen de discussie over ethische, economische en politieke aspecten van het onderwerp niet uit de weg gaan
 - Het is college is relatief nieuw: jullie dienen mee te denken (excuses...)
 - Geef aub feedback: te snel of te langzaam, vergeten aspecten, objectiviteit
 - Laten we het college verbeteren!
-
- Energie en duurzaamheid zijn belangrijke en actuele onderwerpen van discussie. Het gaat ons allemaal aan. Een wetenschappelijke benadering kan bijdragen tot het vinden van realistische oplossingen. We trachten om ons de komende weken te verdiepen in de feiten, zodat we op een verantwoordelijke manier de zaak benaderen en zinnige oordelen kunnen vormen.



Een snelle quiz

- Het soort vragen dat we willen beantwoorden...



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Welke auto is het meest energie - efficient?

- A. Toyota Prius (hybrid)
- B. Waterstof/brandstofcel BMW
- C. Mijn oude Saab 9.5
- D. Een VW Polo (Blue motion)

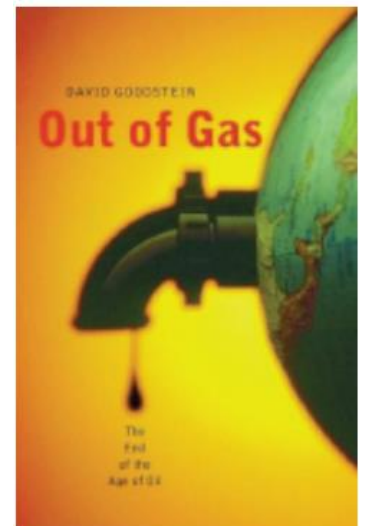
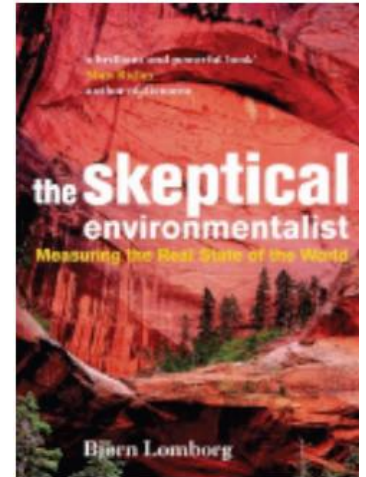


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Global warming

- A. Global warming bestaat niet. Feitelijk wordt de planeet steeds kouder
- B. Global warming bestaat, maar wordt niet door menselijke activiteit veroorzaakt
- C. Global warming bestaat en wordt door menselijke activiteit veroorzaakt
- D. Global warming bestaat niet. Binnen de meetnauwkeurigheid blijft de oppervlakte-temperatuur van de Aarde constant



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Vogels en windmolens

Welke van de volgende drie mogelijkheden is de meest waarschijnlijke doodsoorzaak van vogels:

- A. Doodgereden door een auto
- B. Opgegeten door een kat
- C. Een klap krijgen van een van de draaiende bladen van een windmolen



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Transport

Wat is de duurzaamste manier om van Amsterdam naar Parijs te gaan?

- A. Een groot vliegtuig (jet met >300 passagiers)
- B. Een klein turbo-prop vliegtuig (80 passagiers)
- C. Trein
- D. Auto



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Energieconsumptie

Wat vormt de grootste energieconsumptie in het leven van een gemiddelde Nederlander?

- A. Voedsel
- B. Transport en reizen
- C. Verwarming
- D. Elektriciteit



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Wat is energie?

- Een fysische grootheid die beschrijft hoeveel arbeid er door een kracht kan worden verricht.
 - Energie kan niet 'geproduceerd' worden, we kunnen energie slechts omzetten van de ene vorm naar de andere
 - Bijvoorbeeld een slinger: kinetische energie gaat over in potentiële energie en vice versa
 - Verschillende vormen van energie
 - Mechanische energie
 - Chemische energie
 - Elektrische energie
 - Thermische energie
- The image consists of two square photographs placed side-by-side. The left photograph shows a close-up, low-angle view of a white wind turbine against a clear blue sky. The right photograph shows a lit candle with a bright yellow flame, set against a dark background.
- Voorbeeld – een windmolen: mechanische energie van de luchtmoleculen wordt omgezet in elektrische energie
 - Voorbeeld – een kaars: chemische energie van de was wordt omgezet in thermische energie van de luchtmoleculen rond de vlam



Omzetten van energie

- Vaak wordt gesteld dat 1 kWh elektrische energie equivalent is aan 2.5 kWh kolen of olie (chemische energie)
- Deze conversiefactor is gebaseerd op het feit dat een standaard elektriciteitscentrale (efficiëntie van 40%) 2.5 kWh kolen nodig heeft om 1 kWh elektriciteit te produceren
- Uiteraard werkt deze conversiefactor niet in beide richtingen
 - We hebben waarschijnlijk 5 kWh elektrische energie nodig om chemisch 2.5 kWh aan olie te synthetiseren
- Vergelijkbare voorbeelden kunnen bedacht worden voor alle combinaties tussen thermische, mechanische, elektrische en chemische energie
- MacKay gebruikt 1:1 voor alle conversies, tenzij uitdrukkelijk anders vermeld

Hoeveel productiebos is er nodig om Nederland van duurzame elektriciteit te voorzien?

De extra productiekosten voor grootschalig meestoken van biomassa zijn per gezin grofweg 160 euro extra per jaar om het verbruik 100% groen te produceren

Bron:

https://www.essent.nl/content/overessent/het_bedrijf/biomassa/kosten_van_biomassa.html



Amercentrale



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Nuttige relaties, eenheden

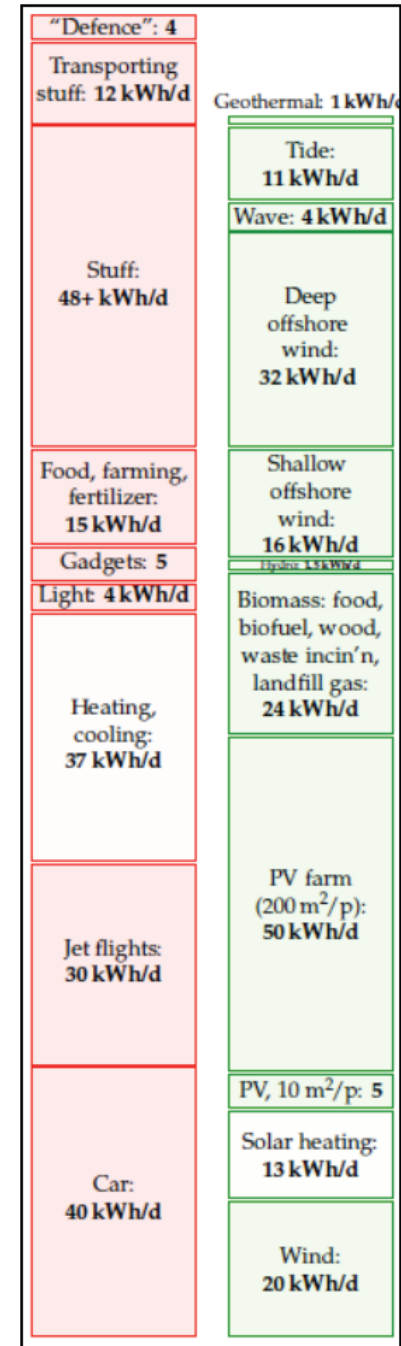
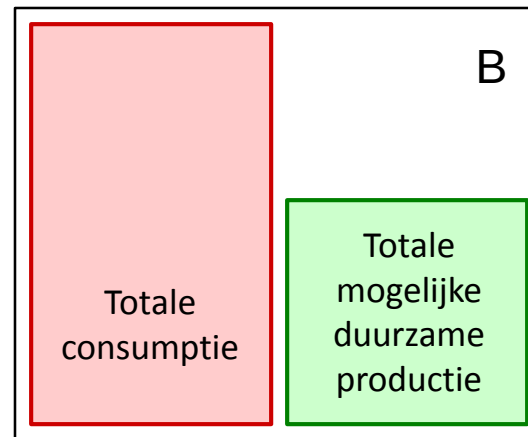
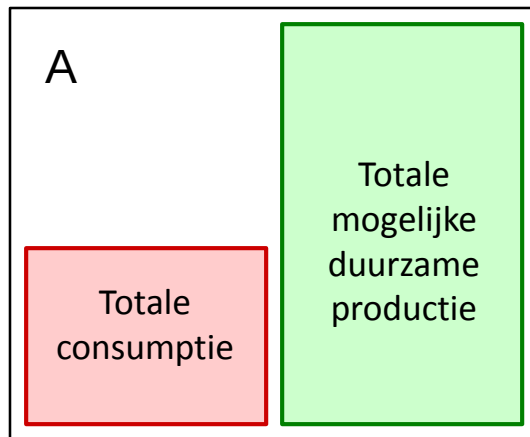
- Onze standaard eenheid voor energie zal de kWh (kilowatt-uur) zijn
- Soms gebruiken de Joule ($1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$)
- Onthoud: vermogen is energie per tijdseenheid. De logische eenheid is kW
- Wij gebruiken echter (in navolging van MacKay) kWh/dag
 - We willen al onze energieproductie en energieconsumptie in betekenisvolle getallen uitdrukken
 - Getallen die we kunnen onthouden en die met elkaar in relatie staan
 - Met kWh/dag krijgen we eenvoudige getallen (tussen 1 en 100) voor de energieconsumptie van de gemiddelde Nederlander per dag
 - Voorbeeld: de energieconsumptie voor autorijden blijkt ongeveer 40 kWh/dag te zijn
- MacKay ontwikkelt een soort balans: consumptie versus productie (duurzaam)
 - Hierbij laat hij economische overwegingen grotendeels buiten beschouwing
- Wat zullen we ontdekken voor Nederland?
 - Kunnen we in principe onze levensstijl handhaven, maar dan op een duurzame wijze?
 - We kijken hierbij vooralsnog niet naar economische en andere aspecten

Auto
40 kWh/d



Voorlopige belans

- Wat zullen we ontdekken voor Nederland?
- Scenario A
 - Mooie uitkomst, we kunnen duurzaam leven
 - Bestudeer de economische, sociale en milieukosten
 - Wat verdient de meeste R&D activiteit
 - Als we het goed aanpakken, komt er geen energiecrisis
- Scenario B
 - Economie is irrelevant: er is gewoonweg niet genoeg duurzame energie
 - We kunnen onze huidige levensstijl niet voortzetten
 - Er is forse verandering op komst
- MacKays resultaat voor de UK



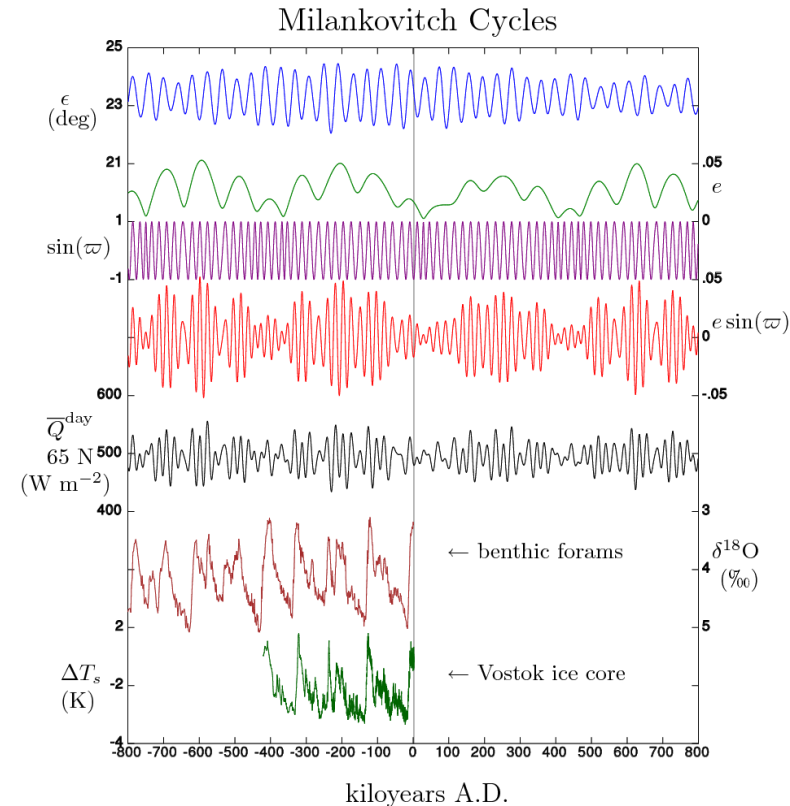
© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Motivatie

- Klimaatmodellen en broeikasgassen
 - 0-dimensionaal klimaatmodel
 - Broeikasgassen
 - Klimaat respons
 - Terugkoppeling in klimaatsystemen
- Wat is klimaat?
 - “Klimaat is wat je verwacht, het weer is wat je krijgt”
 - Definitie van Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):
 - Klimaat is gedefinieerd als “gemiddeld weer”, als de statistische beschrijving in termen van het gemiddelde en de veranderlijkheid van relevant grootheden over een periode van maanden tot duizenden of miljoenen jaren. De klassieke periode is 30 jaar en is gedefinieerd door de World Meteorological Organization. Deze grootheden zijn meestal oppervlakte variabelen als temperatuur, neerslag en wind.

$$\delta^{18}O = \left(\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{sample}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{standard}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰}$$



Milankovitch cycli beschrijven het contrast tussen seizoenen

- ε [°] axiale tilt (41 kj; 22.1 – 24.5°)
- e elliptical eccentricity (100 kj; 6 – 20 % in energy)
- $\sin \omega$ spin precession (26 kj; 23.5°)
- Benthic forams for sea level and temperature
- Vostok ice core for temperature



© J.F.J. van den Brand

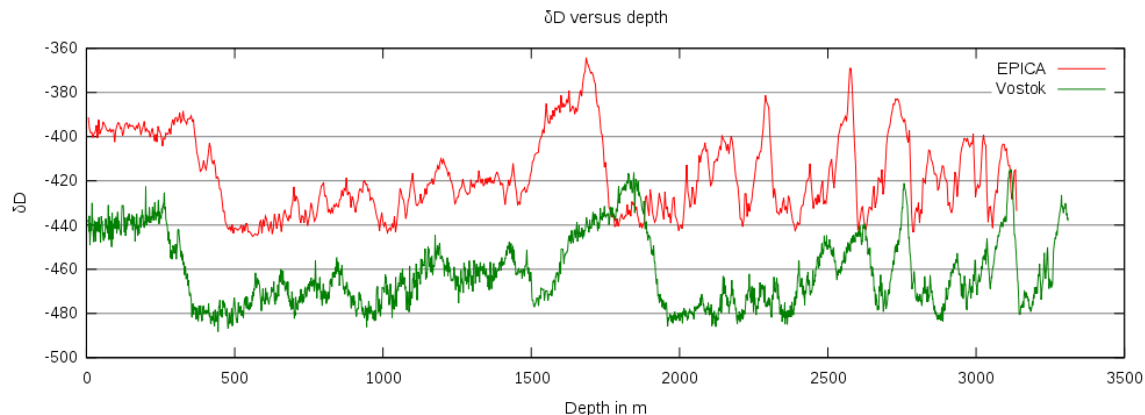
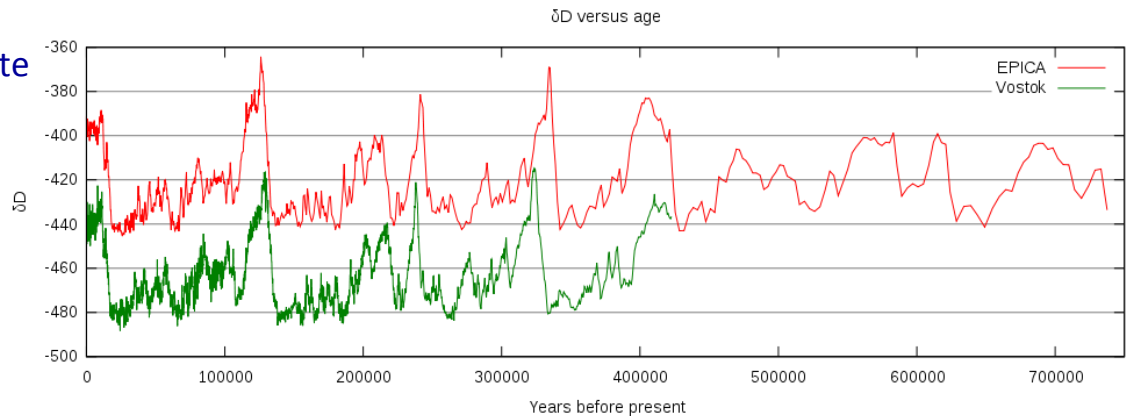
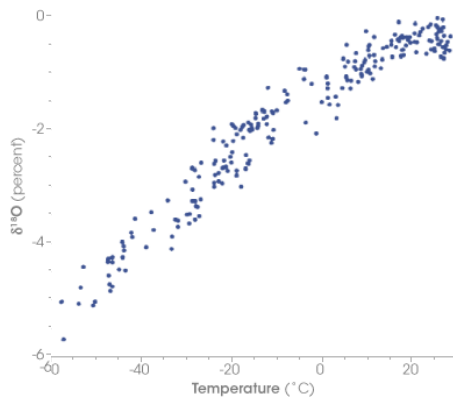
No reproduction without explicit written approval

Boorkernen Zuidpool

- Vostok Station
 - Sovjet Unie
 - Diepte tot 3623 m
 - Informatie over de laatste 414.000 jaar (ringen)
 - Terugkoppeling in klimaatsystemen
 - CO₂, CH₄, Beryllium-10
 - Temperatuur uit $\delta^{18}\text{O}$
 - Hoeveelheid neerslag uit laagdikte



- EPICA
 - EU Project voor Ice Coring
 - Laatste 890.000 jaar

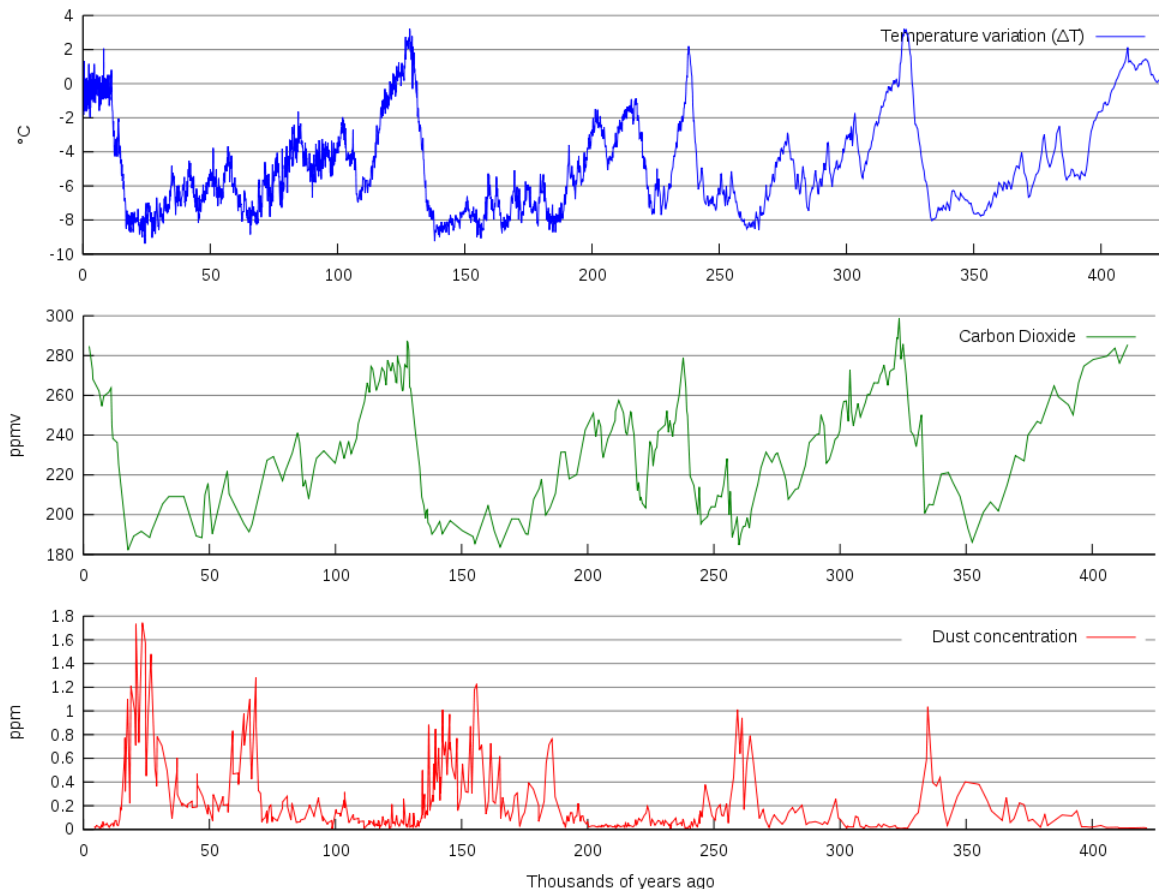


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Boorkernen Zuidpool

- Resultaten
 - CO₂, CH₄, Beryllium-10
 - Temperatuur uit $\delta^{18}\text{O}$
 - Duidelijke correlatie tussen CO₂ (ppmv) en temperatuur

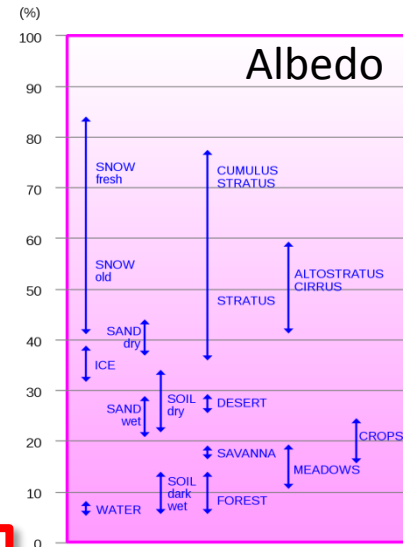


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

0-dimensionaal klimaatmodel

- De Aarde absorbeert energie die door de Zon wordt uitgestraald
 - De Aarde straalt ook energie uit naar het Heelal
- De energie die de Aarde van de Zon absorbeert is



$$E_{\text{absorptie}} = (1 - a) \cdot S \cdot \pi r^2$$

albedo

Zonneconstante

Straal Aarde

- De Aarde zendt energie uit volgens de wet van Stefan-Boltzmann

$$E_{n_1, n_2, n_3}(r) = \left(r + \frac{1}{2}\right) \frac{hc}{2L} \sqrt{n_1^2 + n_2^2 + n_3^2}$$

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

$$\frac{P}{A} = \int_0^\infty I(\nu, T) d\nu \int d\Omega$$

$$E_{\text{emissie}} = 4 \cdot \pi r^2 \cdot \varepsilon \cdot \sigma T^4$$

Aardoppervlak

emissivity

temperatuur

Stefan Boltzmann
constante

0-dimensionaal klimaatmodel

- Bereken de temperatuur van de Aarde
 - Beschouw evenwichtstoestand

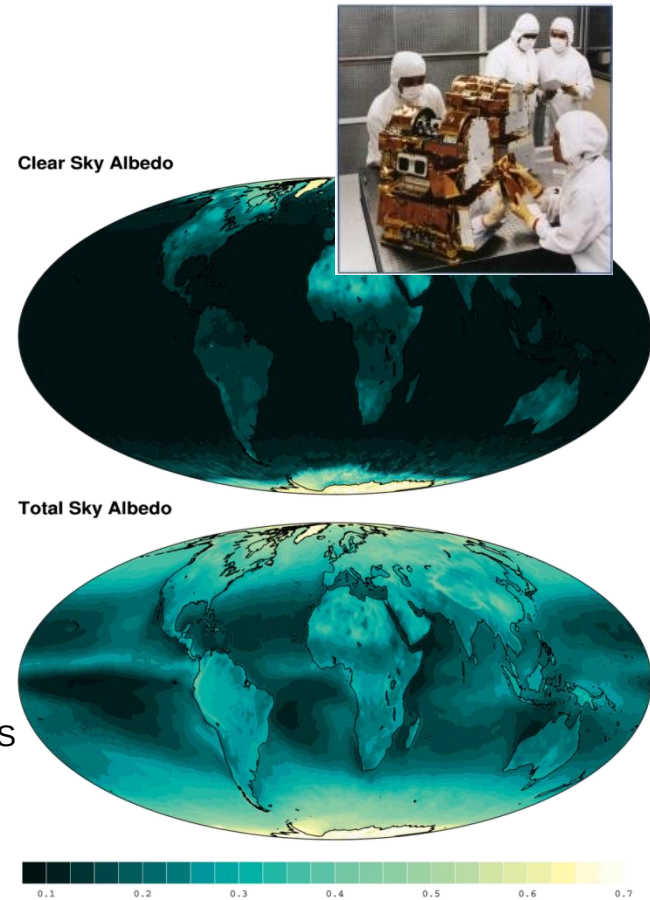
$$E_{\text{emissie}} = E_{\text{absorptie}} \longrightarrow 4\pi r^2 \cdot \varepsilon \cdot \sigma T^4 = (1-a) \cdot S \cdot \pi r^2$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{(1-a) \cdot S}{4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma}}$$

- Gebruik parameters
 - Albedo van Aarde = 0.3
 - Zonneconstante = 1367 W/m²
 - Straal van Aarde = 6.371 x 10⁶ m
 - Stefan Boltzmann constante = 5.67 x 10⁻⁸ J/(K⁴m²s)
 - Effectieve emissiviteit = 0.612
- Gemiddelde temperatuur wordt dan 285 K of 15 °C
 - De waarde van IPCC is 255 K of -18 °C voor $\varepsilon = 1$

<http://daac.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

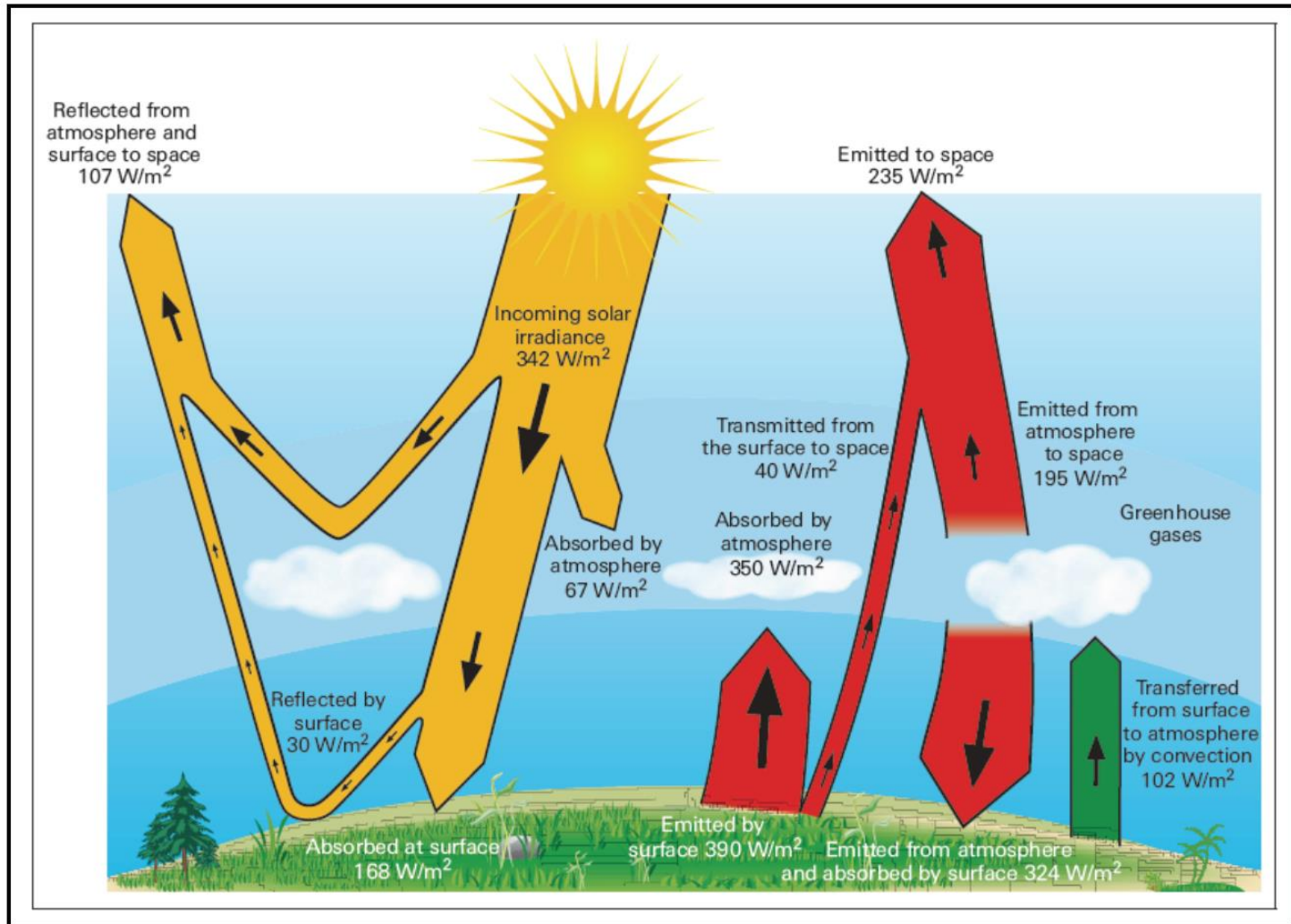
http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=CERES



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Een gedetailleerd beeld



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

0-dimensionaal klimaatmodel

- Wat gebeurt er met de temperatuur als we de parameters veranderen?
- Met hoeveel procent moeten de parameters veranderen om de temperatuur 1 °C te laten stijgen?

$$\frac{T_{new}}{T_{old}} = \frac{\sqrt[4]{k \cdot S \cdot x}}{\sqrt[4]{k \cdot S}} = \sqrt[4]{x}$$
$$x = \left(\frac{T_{new}}{T_{old}}\right)^4 = \left(\frac{289}{288}\right)^4 = 1.014$$

- Een 1.4% toename van de Zonneconstante of afname van de effectieve emissiviteit veroorzaakt een temperatuurstijging van 1 °C

$$\frac{T_{new}}{T_{old}} = \frac{\sqrt[4]{k(1 - a \cdot x)}}{\sqrt[4]{k(1 - a)}} \quad \left(\frac{T_{new}}{T_{old}}\right)^4 = \frac{(1 - a \cdot x)}{(1 - a)}$$

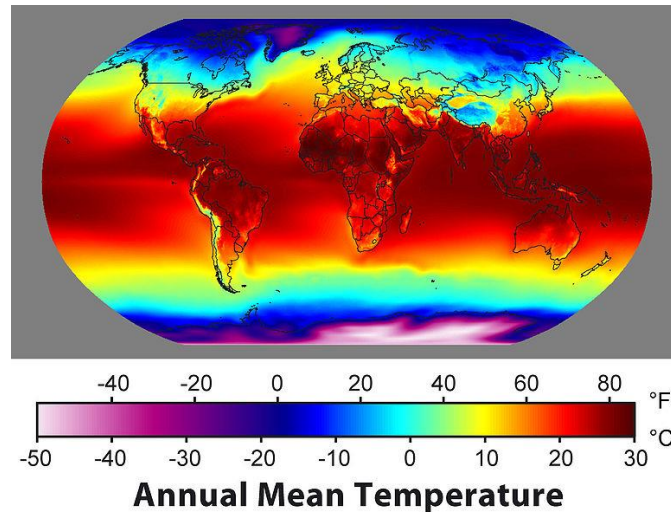
$$x = -\frac{\left[\left(\frac{T_{new}}{T_{old}}\right)^4 (1 - a)\right] - 1}{a} = 0.968$$

- Een 3.2% afname van de albedo leidt tot een stijging van 1 °C



Beperkingen van ons klimaatmodel

- De Aarde is niet homogeen. Het model verwaarloost effecten van
 - Latitude (hoekafstand tot Evenaar)
 - Oceanen, landmassa's
 - Wolken
 - Etc.
- Het model negeert volledig elk energietransport binnen de Aarde en haar atmosfeer

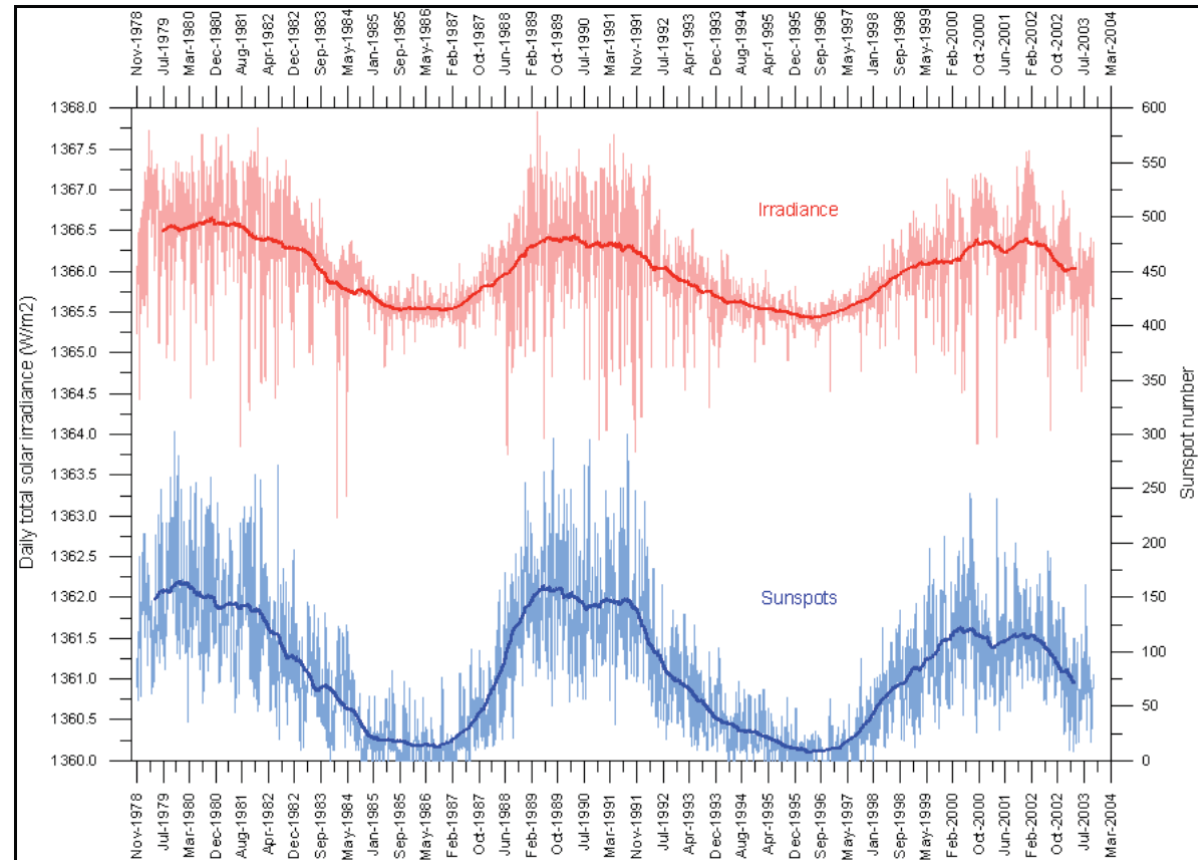
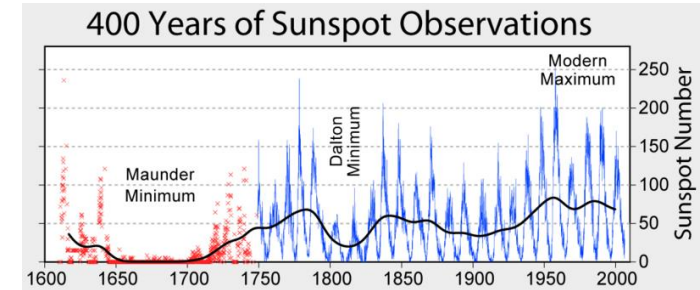


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Zonneconstante

- Er is een verband tussen Zonneconstante en het aantal Zonnevlekken (typisch 0.1%)
 - Polen van magnetevelden (beperken convective)
 - Temperatuur 3000 – 4500 K (normaal 5780 K)
 - 11 jaar cyclus



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Emissiviteit

- De emissiviteit verandert met de bewolking en de concentratie aan broeikasgassen
- De belangrijkste broeikasgassen zijn
 - Waterdamp (36 – 70%)
 - Kooldioxide (9 – 26%)
 - Methaan (4 – 9%)
 - Ozon (3 – 7%)
- De meest voorkomende gasen in de atmosfeer, stikstof en zuurstof, absorberen en emitteren geen thermische infraroodstraling
- Aarde ontvangt UV, zichtbaar en IR straling
- Aarde zendt uit in verre IR

Earth's global energy budget

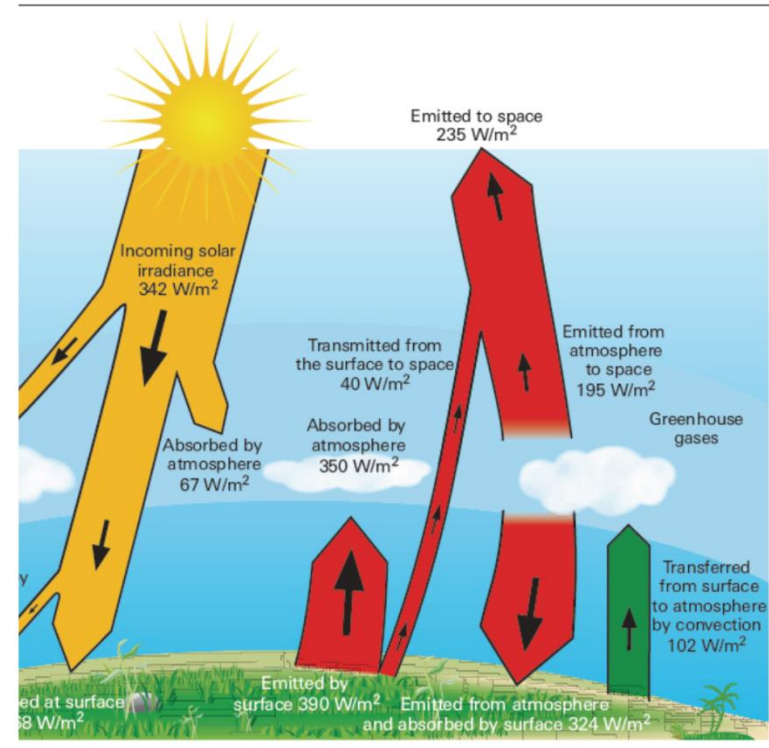
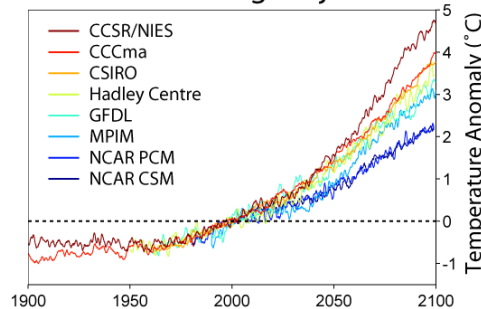
Kevin E. Trenberth,

© 2008 American Meteorological Society



Inbalans $0.85 \pm 0.15 \text{ W/m}^2$

Global Warming Projections

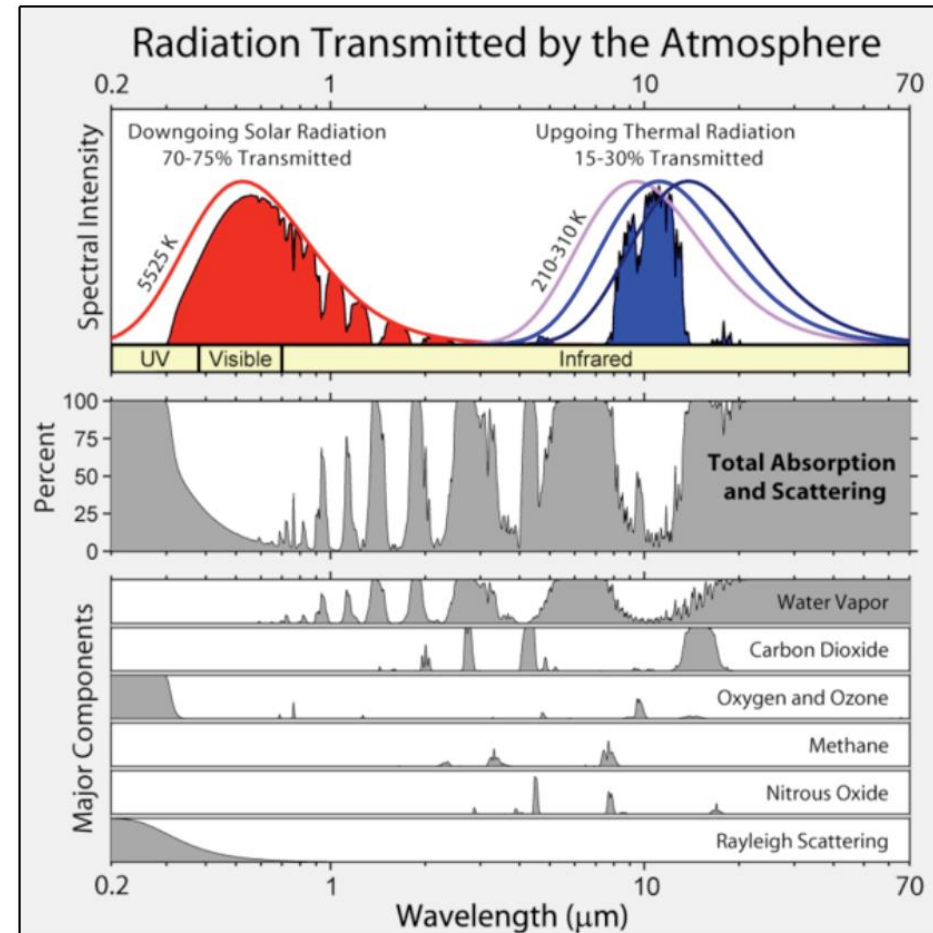
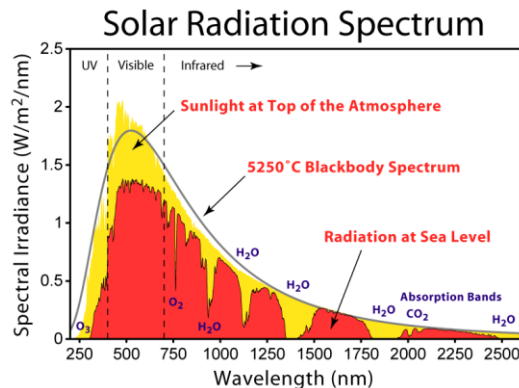


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

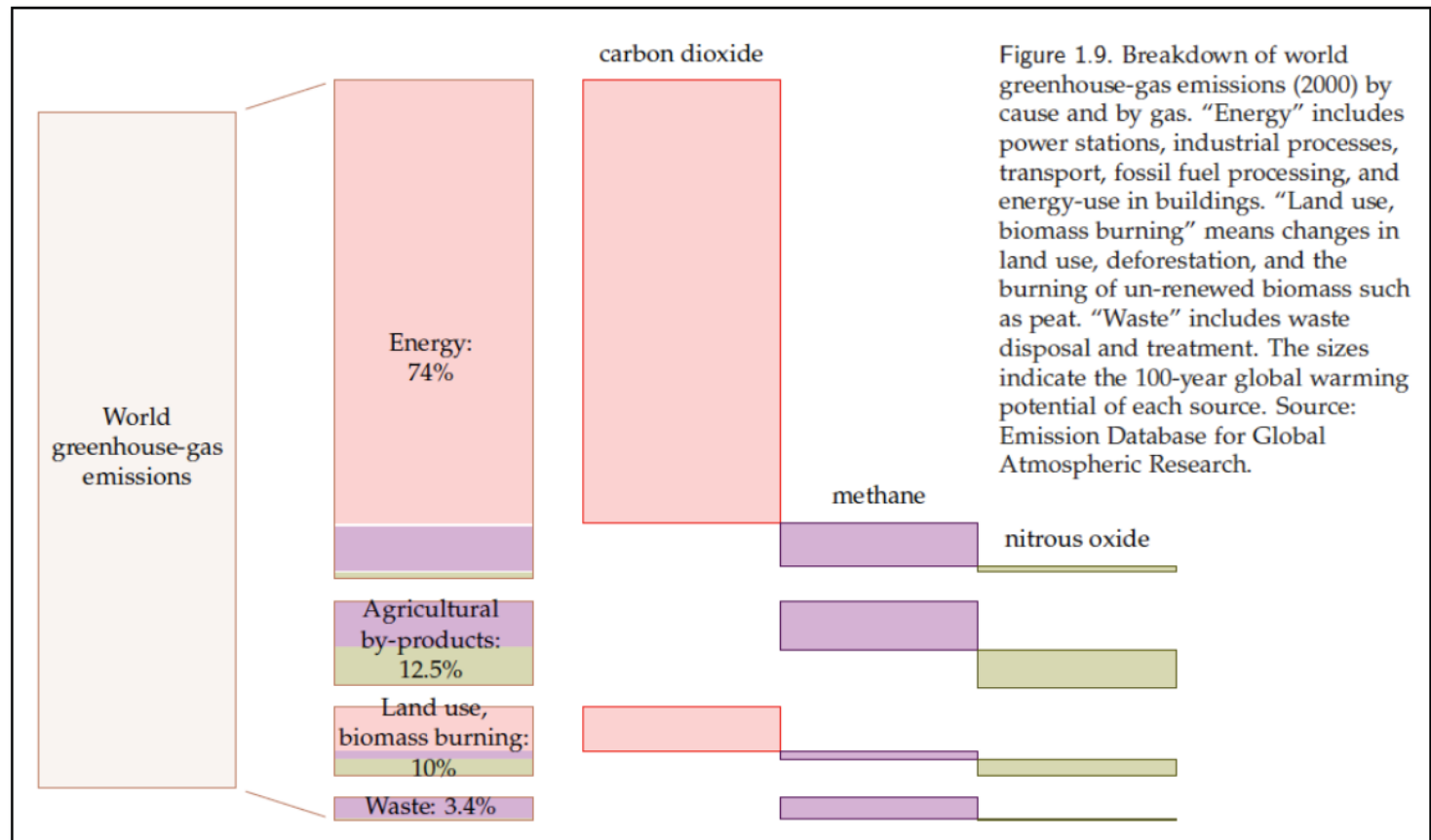
Broeikasgassen

- Fysica van moleculaire vibraties bepaalt het gedrag van deze gassen
 - Dat zouden we kwantummechanisch kunnen beschrijven (maar dat is een ander college...)
- Er zijn sterke absorptiebanden in het infrarood



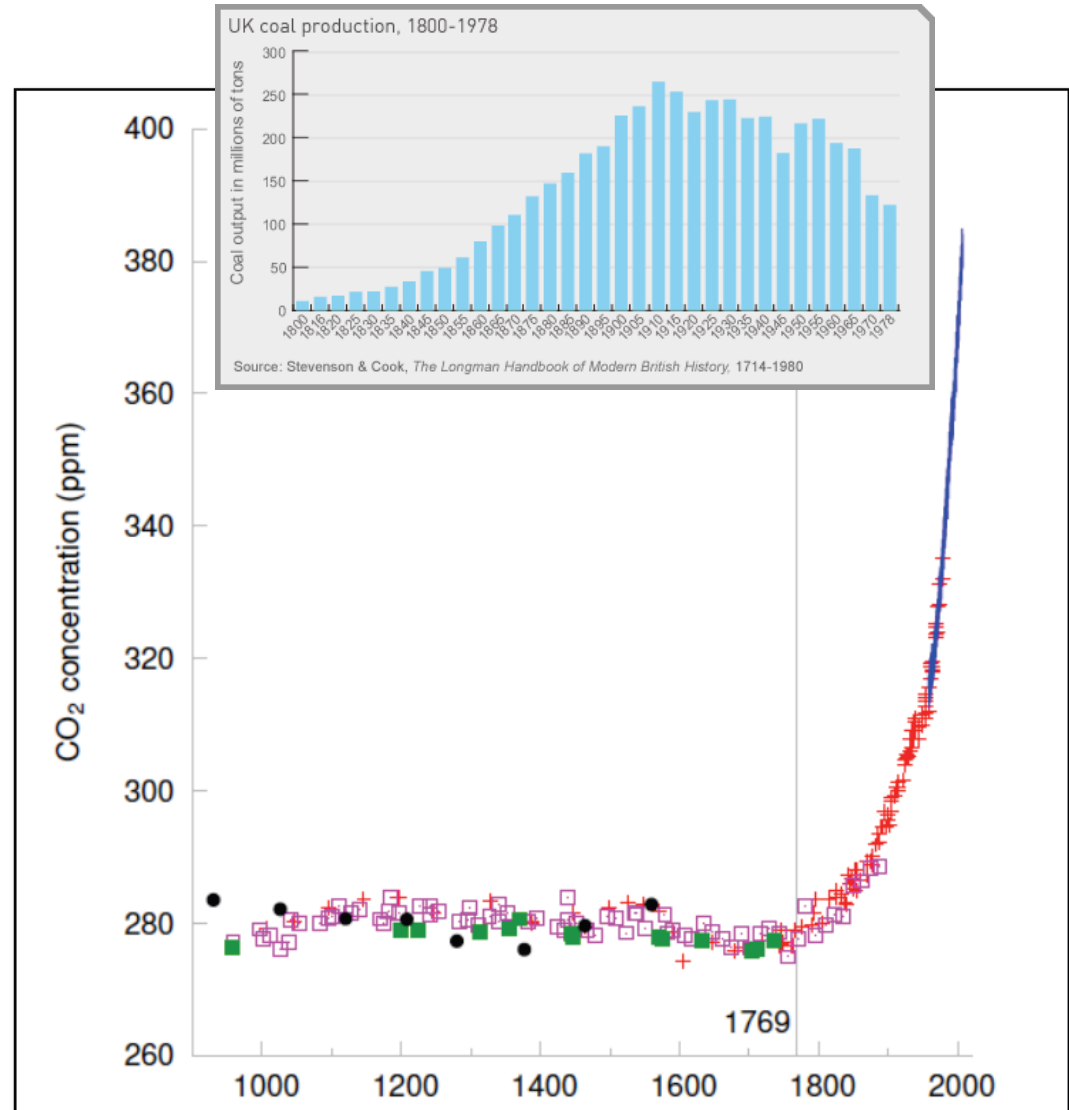
Broeikasgassen

- Kooldioxide is het dominante broeikasgas



Kooldioxide concentratie

- Kooldioxide in de atmosfeer
 - Parts per million
 - Lucht opgesloten in ijs-boorkernen
 - Directe metingen in Hawaii
- De verticale lijn geeft het jaar aan waarin de stoommachine gepatenteerd werd
 - James Watt, 1769
 - Start van de industriële revolutie
- De productie van steenkool kwam toen ook op gang
 - En de CO₂ uitstoot



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

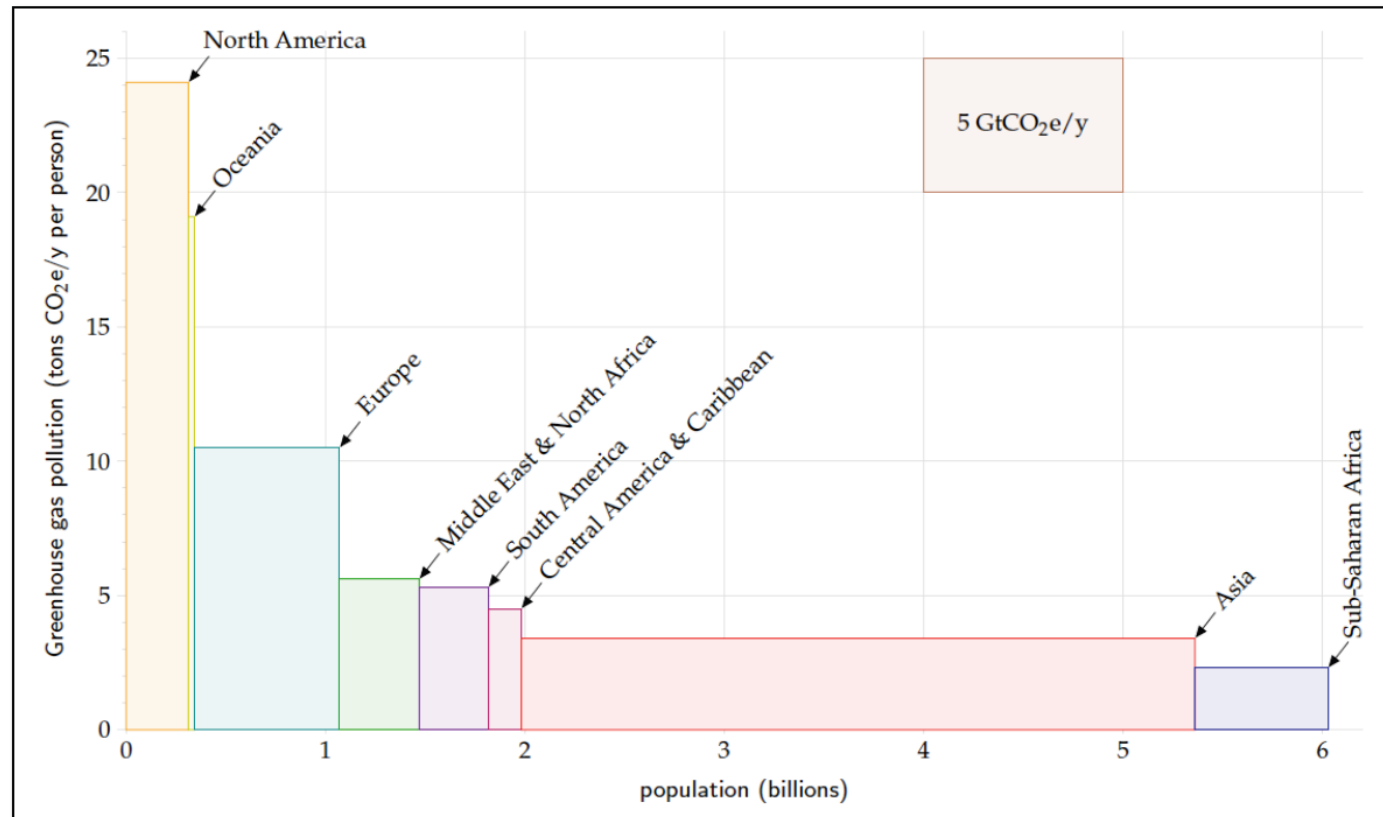
Kooldioxide concentratie

- Wie is er verantwoordelijk?
 - Huidige emissie per continent
 - Huidige emissie per land
 - Historische emissies
- Stel uzelf de volgende vragen
 - Geven de figuren dezelfde impressie?
 - Kun je de presentatie zo doen, dat je de gewenste indruk overbrengt?
- Equivalente hoeveelheden CO₂
 - Niet alle gassen hebben dezelfde eigenschappen
 - Equivalent betekent dat ze hetzelfde globale opwarmingseffect hebben over een periode van honderd jaar als CO₂
- Persoonlijk maken
 - In het jaar 2013 was de emissie 36 miljard ton CO₂ equivalent
 - Dat is 61% hoger dan 1990 (het Kyoto Protocol referentiejaar)
 - Emissie gedomineerd door China (28%), USA (14%), EU (10%) en India (7%)
 - Wereldpopulatie 7 miljard (in maart 2012)
 - Gemiddeld 5.1 ton CO₂e per jaar per persoon



CO₂ emissie per continent

- Merk op
 - Aantal inwoners op horizontale as
 - Emissie per persoon per jaar op verticale as

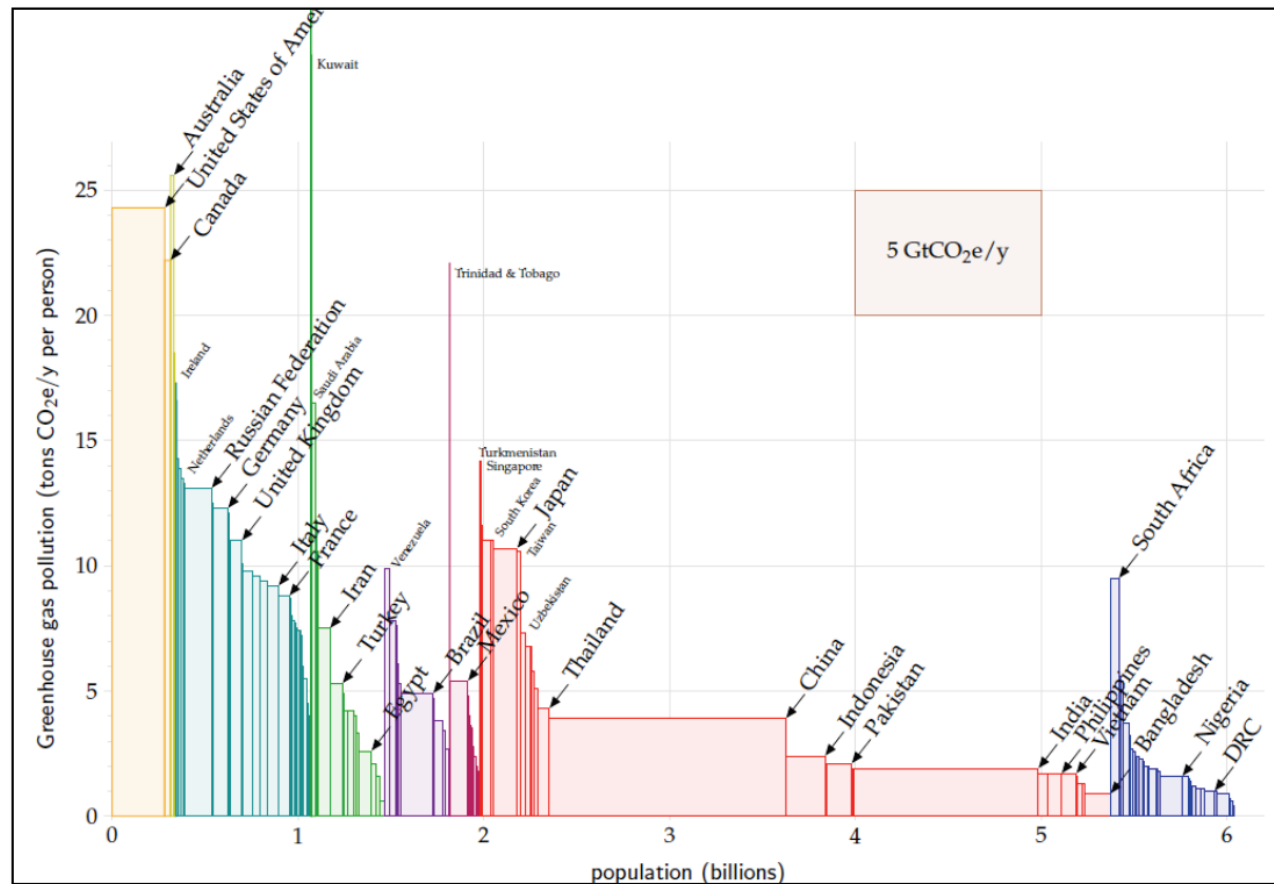


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

CO₂ emissie per land

- Merk op
 - Hoger Bruto Nationaal Product correleert met hogere emissie
 - China, India zijn lager dan het wereld gemiddelde
 - Veel van onze producten worden daar gefabriceerd

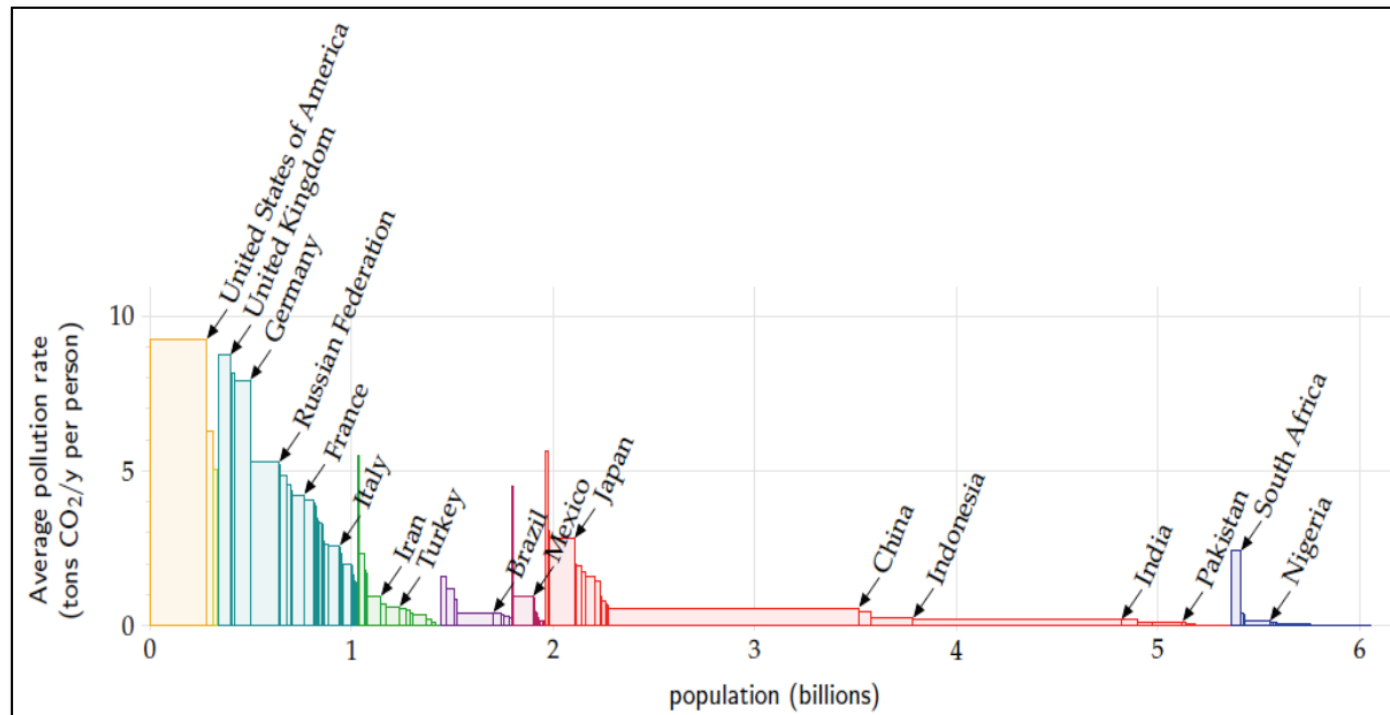


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

CO_2 emissie historisch

- Merk op
 - Historisch cumulatieve emissies
 - Kooldioxide blijft 50 tot 100 jaar in de atmosfeer
 - De vervuiler betaalt?
 - Wie begint?
 - Wie is het rijkst?

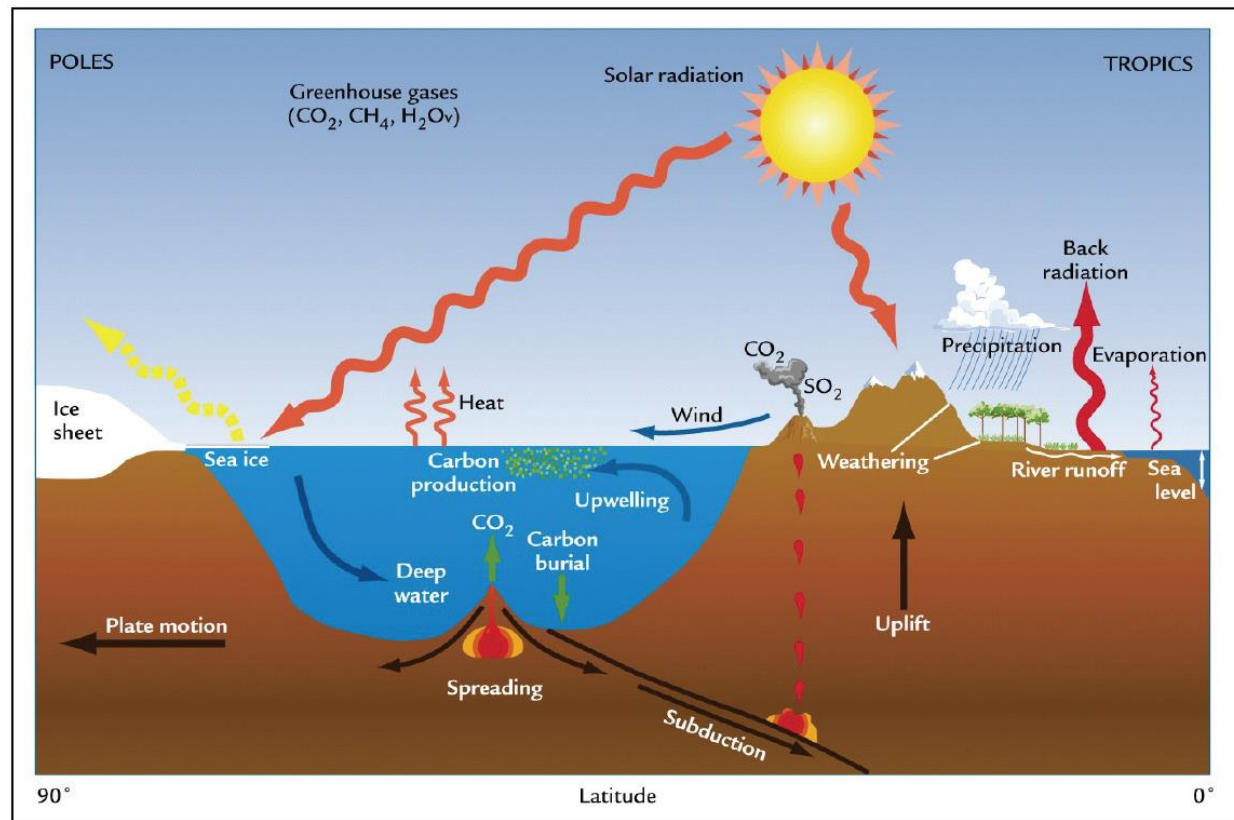


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Klimaat: belangrijke processen

- Klimaatmodellen zijn complex
 - Relatief jonge tak van wetenschap
- Tectonische processen
 - Interne warmte van Aarde heeft effect op continenten
- Baan van de Aarde
 - Seizoenen, latitude
- Sterkte van de Zon
- Anthropogene effecten
 - Mens en klimaat

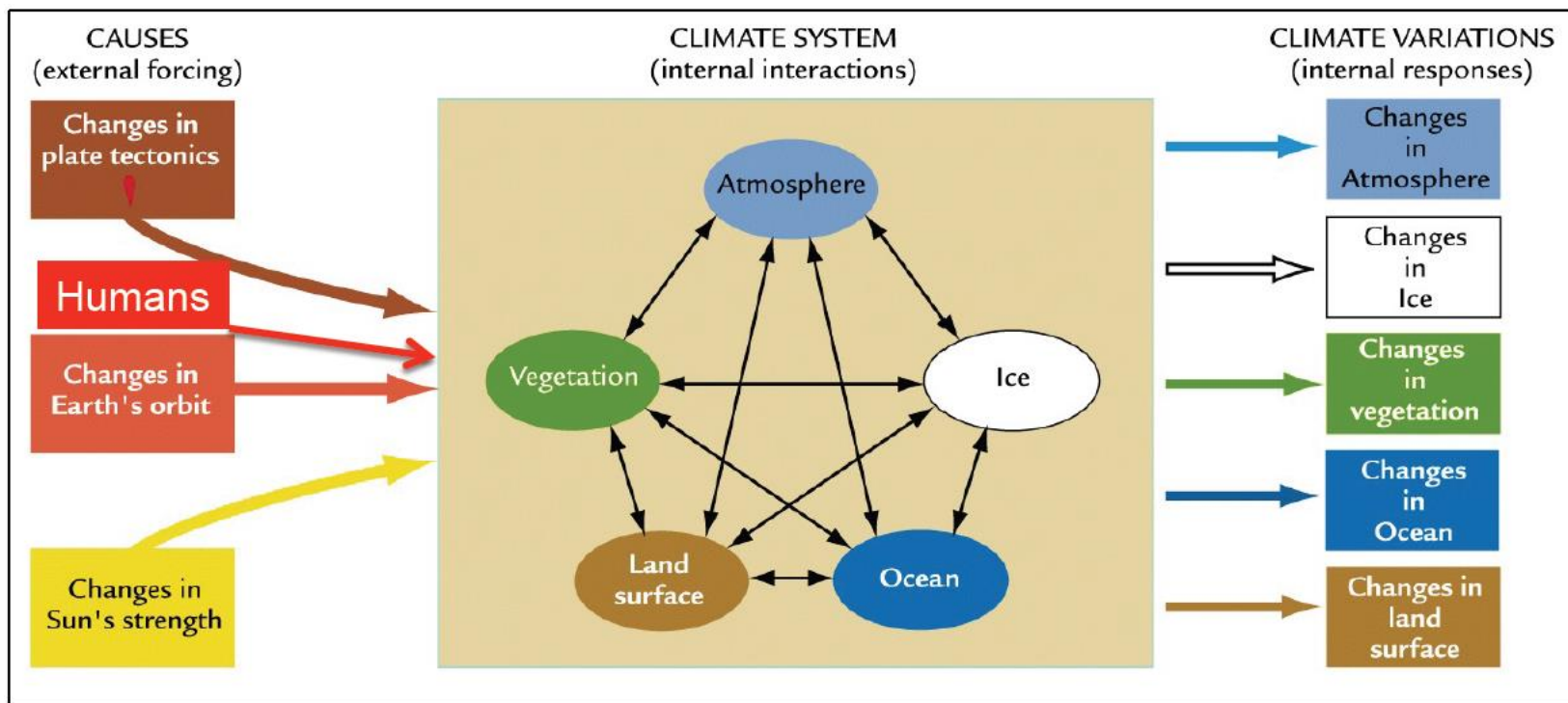


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

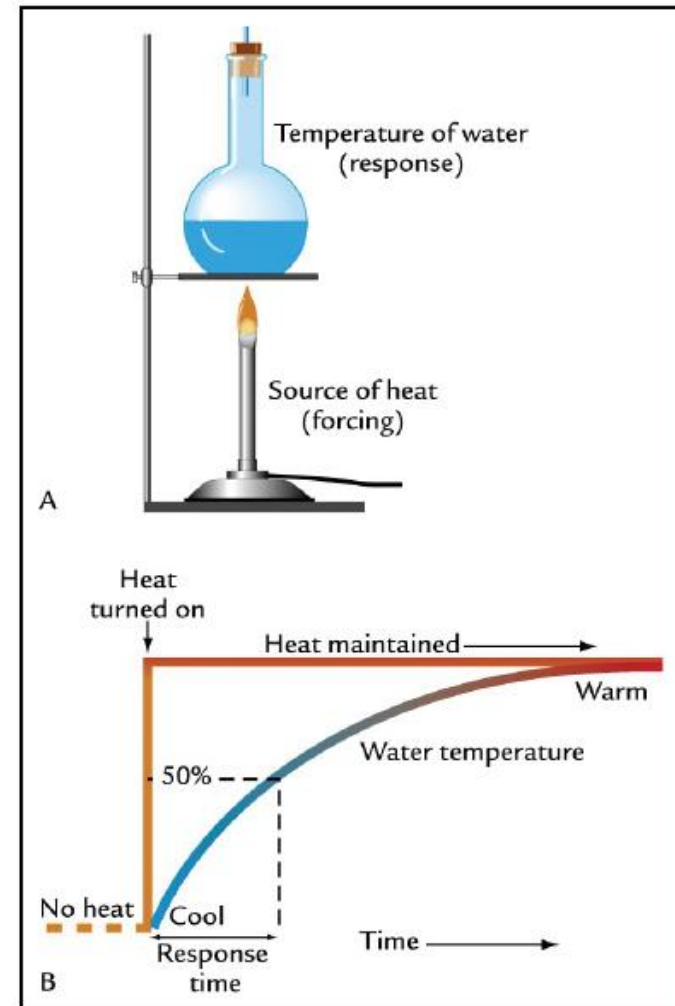
Krachten en response

- Reduceer complexiteit
 - Een klein aantal factoren leidt tot klimaatverandering
 - Deze factoren zorgen voor interactie tussen de interne componenten van het klimaatsysteem
 - Het resultaat is een meetbare verandering: klimaatrespons



Responstijd

- Een respons is niet instantaan
- Verschillende systemen hebben verschillende responsetijden
- Voorbeeld: een Bunsen “burner”
- Responsetijd hangt af van
 - Hoeveelheid water
 - Warmtecapaciteit van het water
 - Thermische geleiding van de fles
 - Beweging en menging van de verschillende delen in de fles
 - Etc.

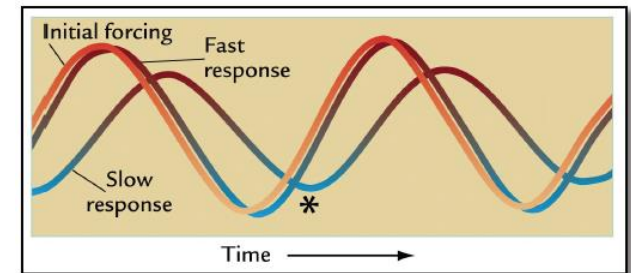
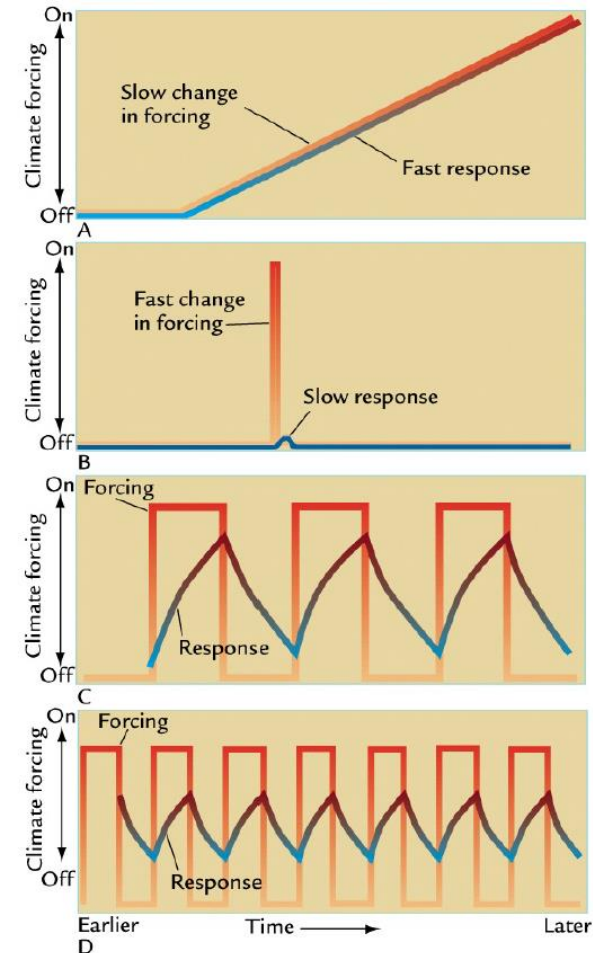


Responstijd

- Bij een korte respons-tijd kan het klimaatsysteem langzame krachten volgen
- Bij een lange respons-tijd krijgen we een kleine response bij een snelle verandering in kracht
- Bij ongeveer gelijke tijden voor kracht en response zijn er verschillende reacties mogelijk

TABLE 1.1 Response Times of Various Climate System Components

Component	Response time (range)	Example
Fast responses		
Atmosphere	Hours to weeks	Daily heating and cooling Gradual buildup of heat wave
Land surface	Hours to months	Daily heating of upper ground surface Midwinter freezing and thawing
Ocean surface	Days to months	Afternoon heating of upper few feet Warmest beach temperatures late in summer
Vegetation	Hours to decades/centuries	Sudden leaf kill by frost Slow growth of trees to maturity
Sea ice	Weeks to years	Late-winter maximum extent Historical changes near Iceland
Slow responses		
Mountain glaciers	10–100 years	Widespread glacier retreat in 20th century
Deep ocean	100–1500 years	Time to replace world's deep water
Ice sheets	100–10,000 years	Advances/retreats of ice sheet margins Growth/decay of entire ice sheet

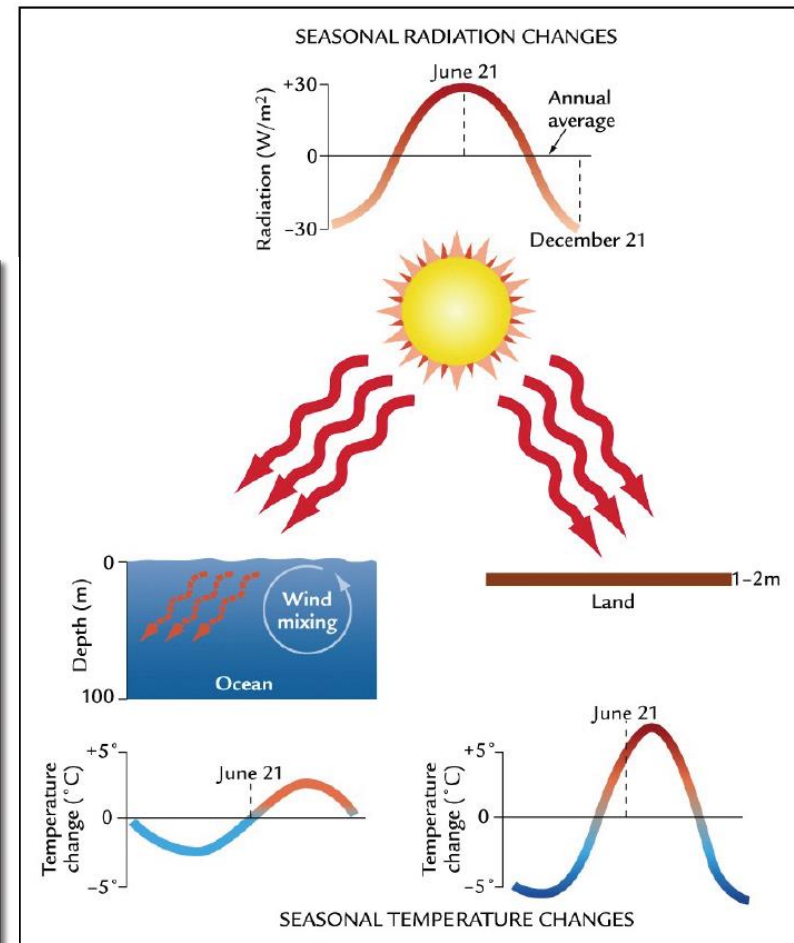
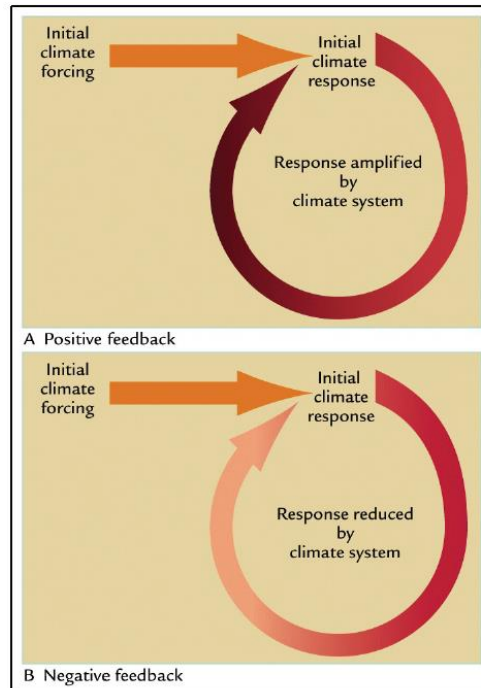


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Respons en feedback

- Verschillende respons op dezelfde kracht
- Klimaat is complex
 - Er kan terugkoppeling optreden
 - Feedback kan positief of negatief zijn
 - Voorbeeld: temperatuur neemt toe, de polen smelten, er wordt minder zonlicht gereflecteerd naar de ruimte, er wordt dus meer warmte geabsorbeerd, temperatuur neemt verder toe, etc.

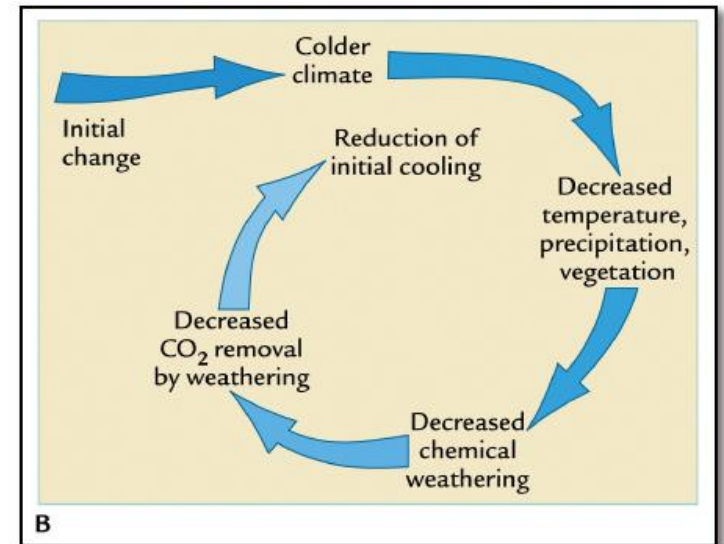
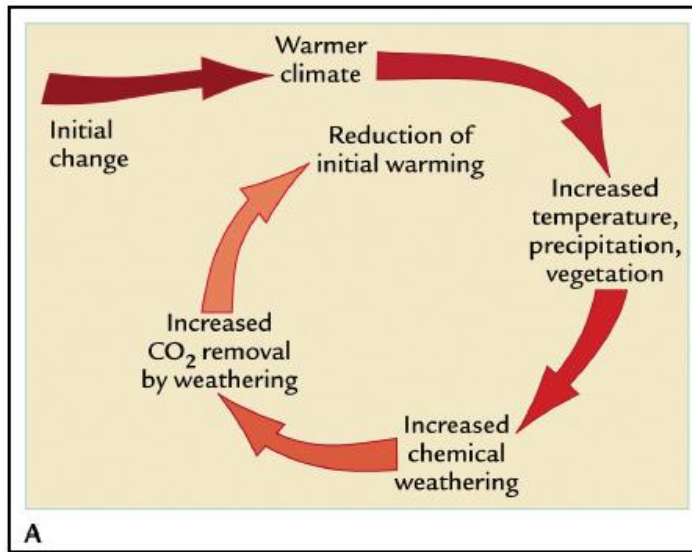


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Feedback: CO₂ versus waterdamp

- CO₂ werkt als een thermostaat (negatieve feedback)
- Deze feedback is erg traag



- Waterdamp is een broeikasgas met positieve feedback
 - Klimaat: opwarming
 - Toename waterdamp in de atmosfeer
 - Toename broeikaseffect (meer straling wordt vastgehouden)
 - Opwarming, etc.

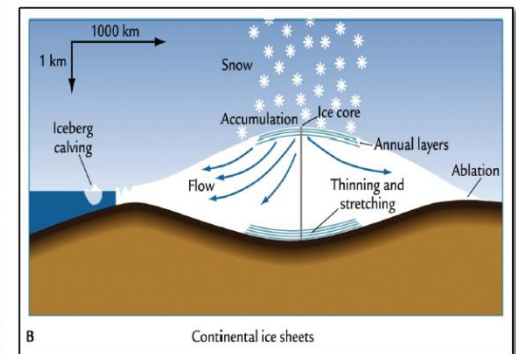
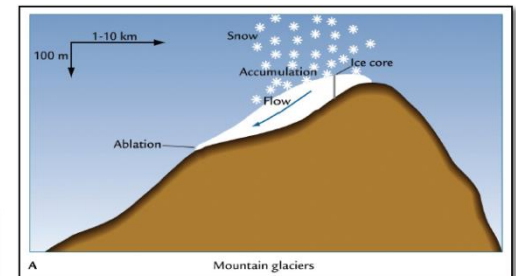
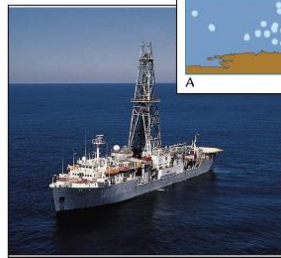
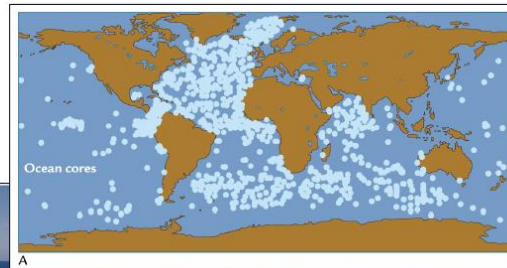
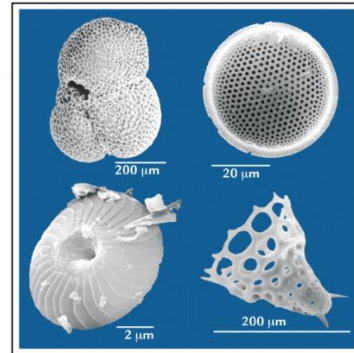


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Reconstructie klimaat

- Boomringen
 - Temperatuur in groeiseizoen heeft sterkste invloed
 - Neerslag heeft invloed
- Ijskernen
 - Groenland en Antarctica
 - Ingevroren gasbellen geven direct concentraties broeikasgassen
- Sediment
 - Meren, oceanen
 - Koraal geeft jaarringen van CaCO_3
 - Watertemperatuur
 - Voeding
 - Waterdiepte



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

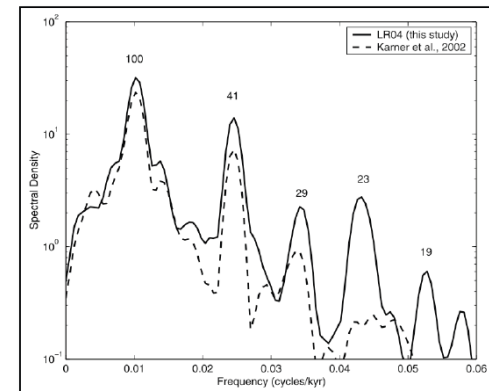
Temperatuur

- De $\delta^{18}\text{O}$ waarde
 - Verhouding van 2 isotopen zuurstof
 - Correleert met watertemperatuur
 - Kookpunt ^{18}O is 0.14 °C lager dan van ^{16}O
 - Dus verdampt ^{18}O minder en regen bevat meer ^{16}O
 - Kan gebruikt worden bij alles waar zuurstof in zit
 - Ijsskernen, sedimenten (foraminifera), koralen, etc.

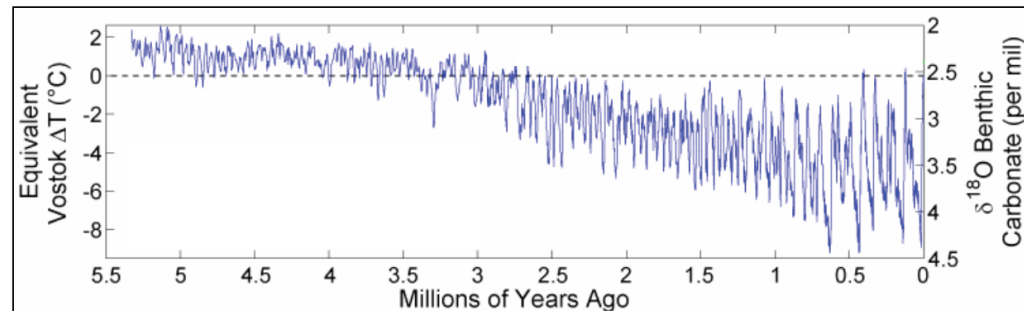
^{16}O	^{17}O	^{18}O
15.9949	16.9991	17.9991
99.76%	0.04%	0.20%
Stable	Stable	Stable

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰}$$

- Temperatuur is bekend voor de laatste 5 miljoen jaar
 - Temperatuur van de Aarde was niet constant de laatste paar miljoen jaar
 - De gemiddelde temperatuur varieert fors (bijna 10 °C)
 - De laatste 3 miljoen jaar waren veel kouder dan daarvoor
 - De variatie in temperatuur verandert
 - Langer dan 3 miljoen jaar geleden was de variatie slechts 2 °C
 - De laatste miljoen jaar waren er schommelingen tot 10 °C



- Fourier analyse
 - Periodes van 100, 41, 29, 23 en 18 duizend jaar
 - Milankovitsch cycli
 - Eccentriciteit
 - Axiale tilt
 - Precessie

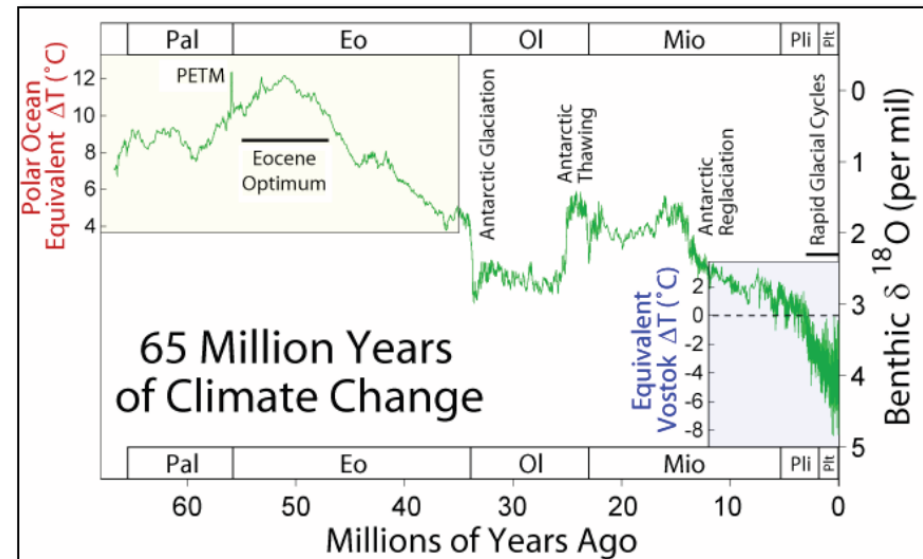


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

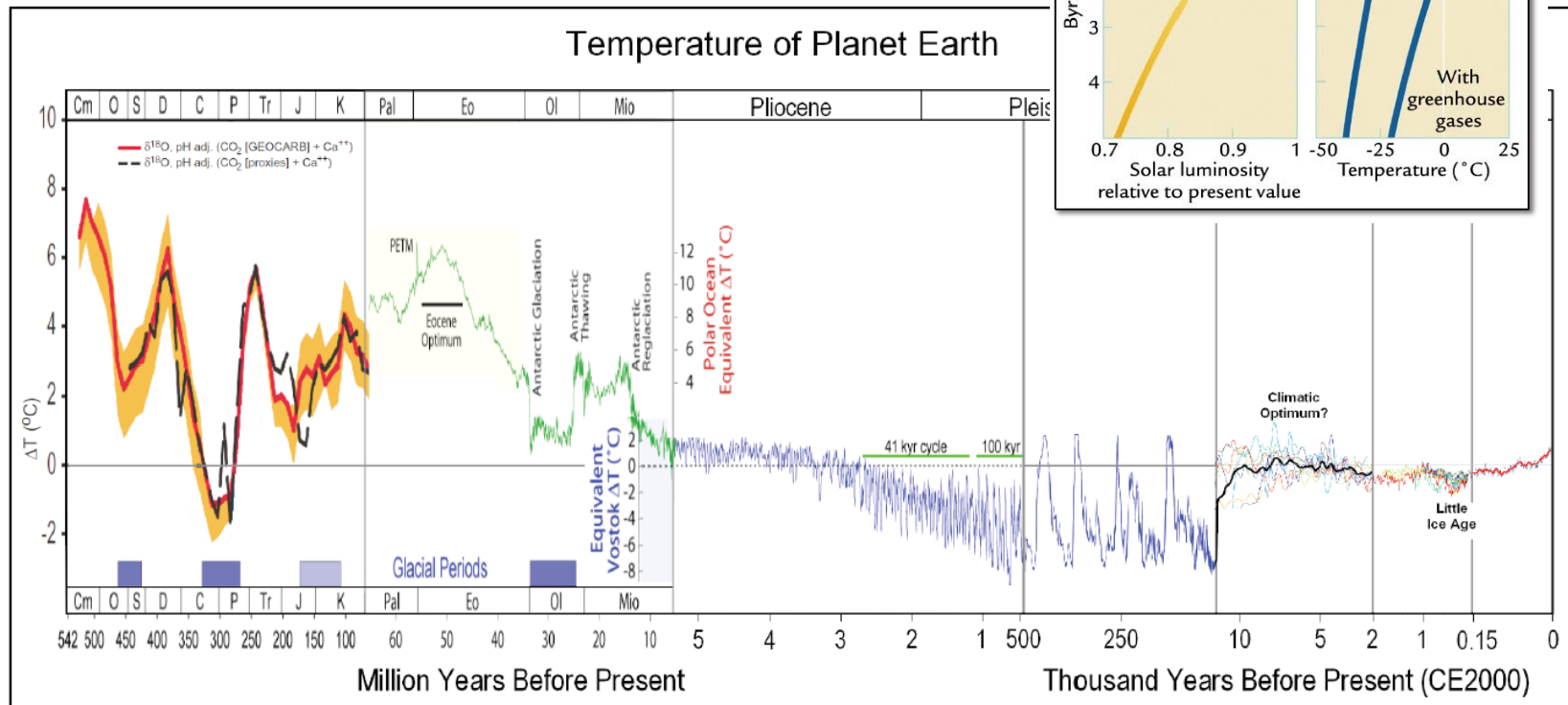
Laatste 65 miljoen jaar

- Temperatuur de laatste 65 miljoen jaar
 - Niet constant
 - Voor het merendeel significant warmer dan nu
 - 50 miljoen jaar geleden was de gemiddelde temperatuur 6 °C warmer dan nu
 - Wat is de PETM piek?
- Paleocene – Eocene Thermal Maximum
 - Focus van klimaatonderzoek nu
 - Wat gebeurde er gedurende PETM?
 - Gemiddelde temperatuurstijging met 6 °C in 20000 jaar
 - Veel soorten uitgestorven
 - Veel nieuwe soorten
 - Door positieve feedback (smelten van ijskappen) was de gemiddelde temperatuur op de polen tussen 10 en 20 °C
 - Door stijging zeespiegel kwamen tropische wouden onder water te staan. Er kwam veel methaan vrij, die converteerde naar CO₂ en leidde tot verdere opwarming
 - Herstel was ook snel: 150.000 jaar
 - De hoeveelheid CO₂ die tijdens PETM vrijkwam is ongeveer equivalent aan de emissie door mensheid na de industriële revolutie



Carboon

- Tijdens carboon is het merendeel van onze fossiele energievoorraden gevormd
- Sterke reductie van CO₂ in de atmosfeer en sterke koeling
 - Faint Young Sun Paradox
 - De Zon wordt helderder naarmate ze ouder wordt
 - In het verleden moet de concentratie broeikasgas groter zijn geweest

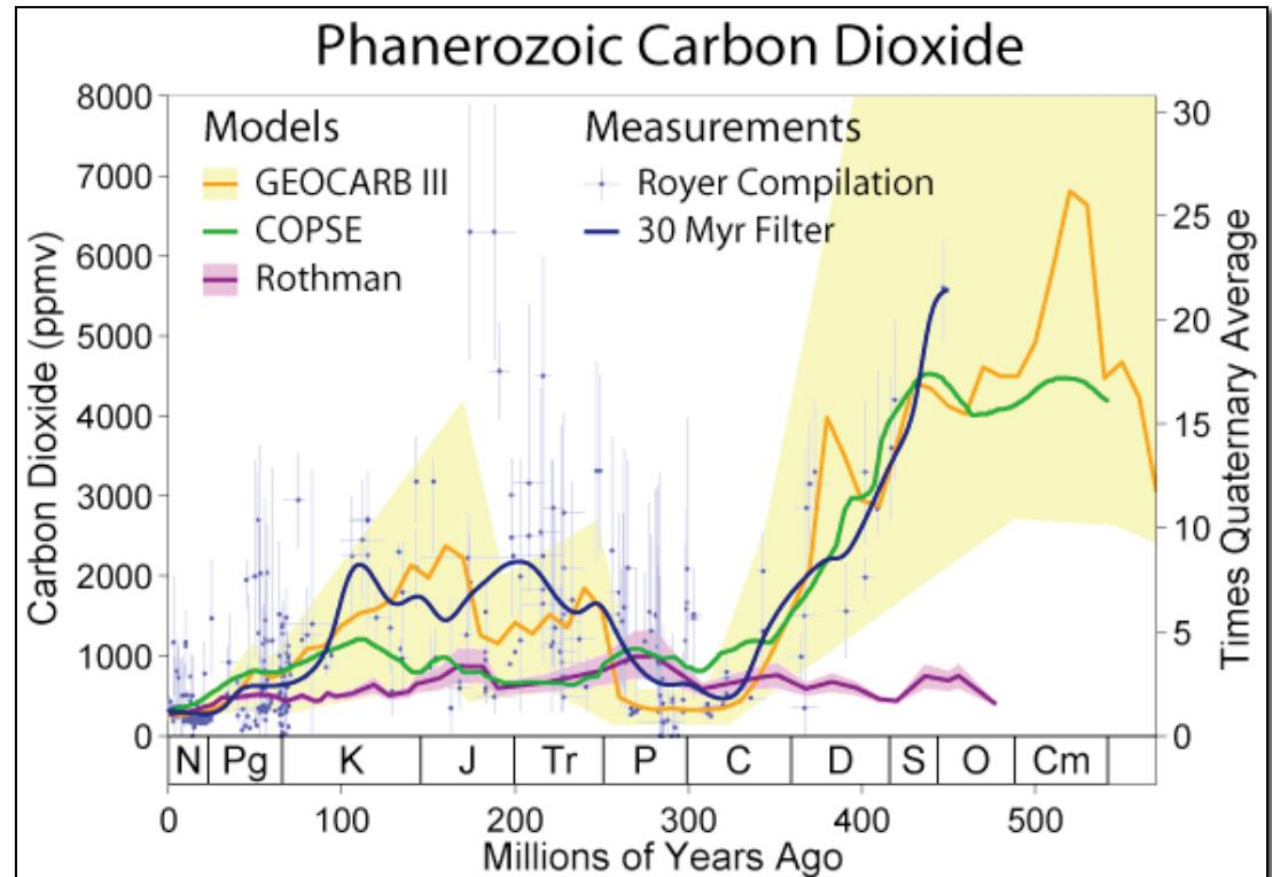


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

CO₂ concentratie

- Voor de laatste 0.5 miljard jaar
 - Concentratie kooldioxide was in het verleden inderdaad veel hoger

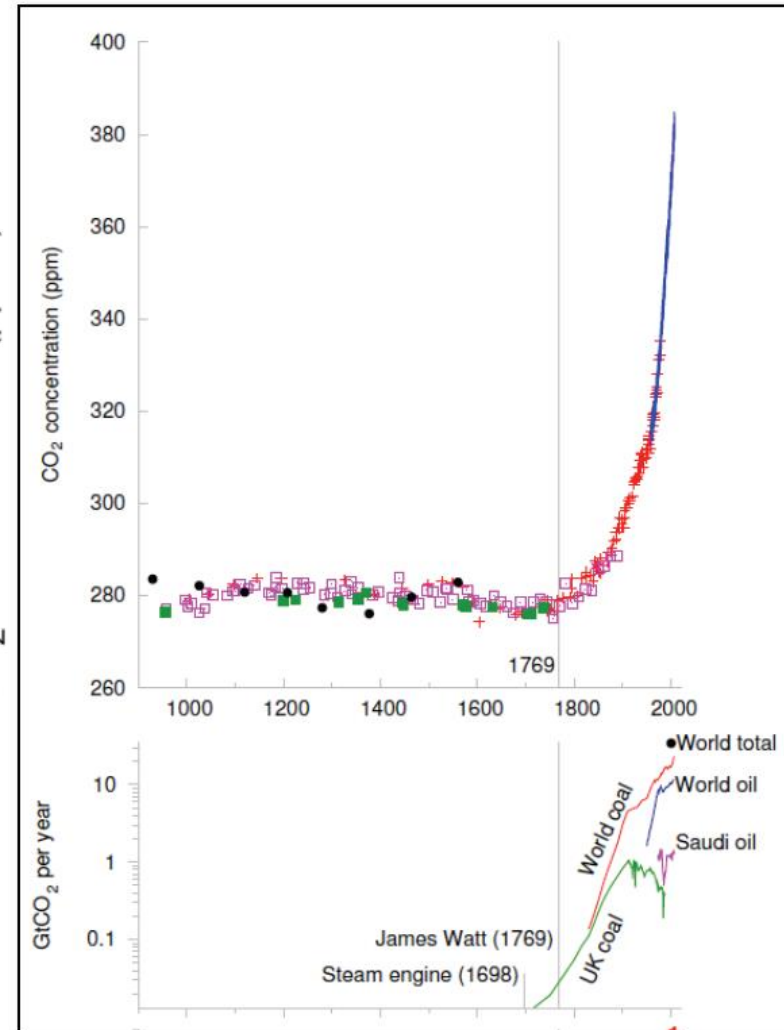
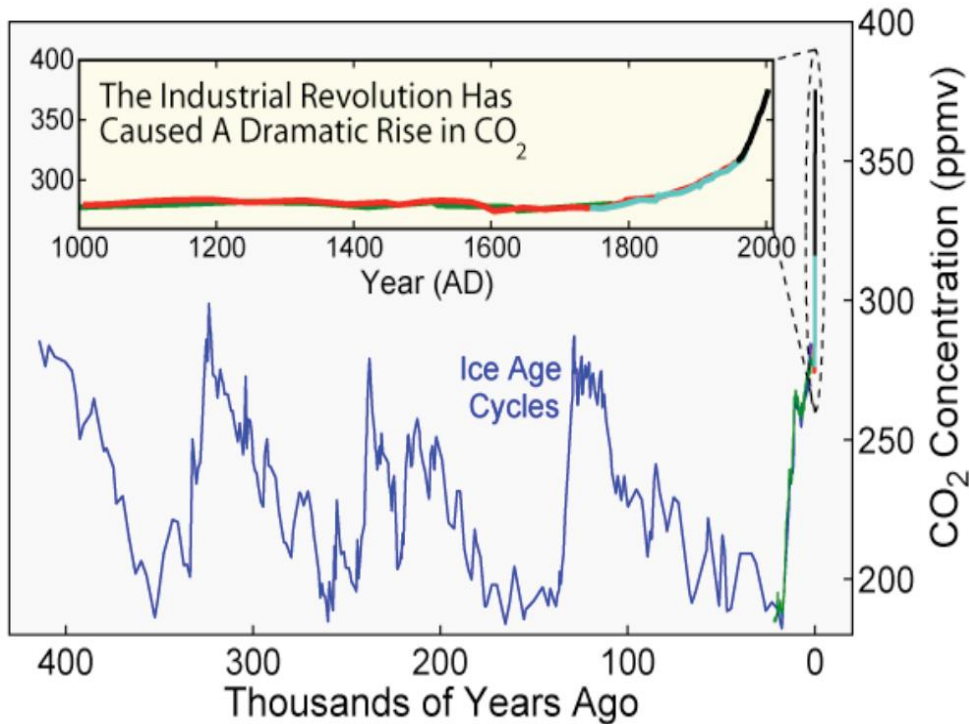


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Variaties in CO_2 concentratie

- Concentratie redelijk constant rond 280 ppm tussen 750 en 1750
- Sterke toename de laatste 150 jaar
 - Verbranden van fossiele brandstoffen
 - Industriële revolutie (stoommachine, etc.)
 - Sterke correlatie met temperatuur Aarde

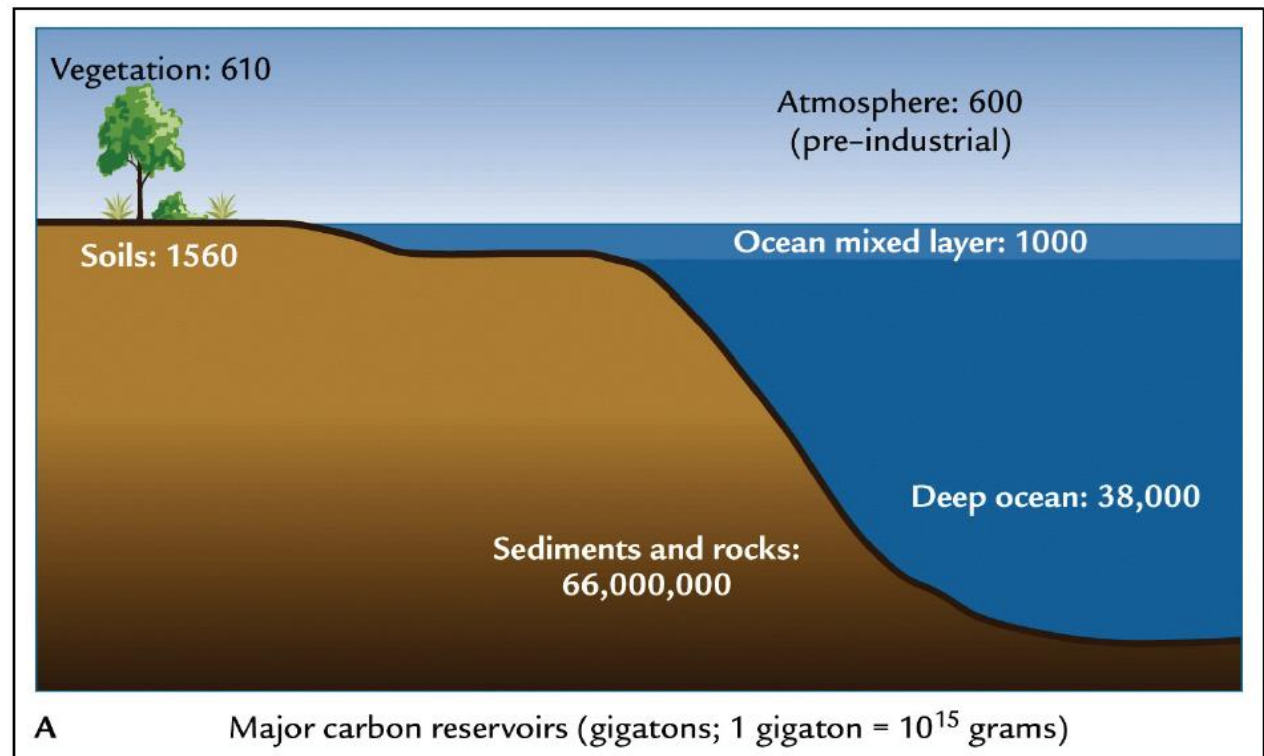


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

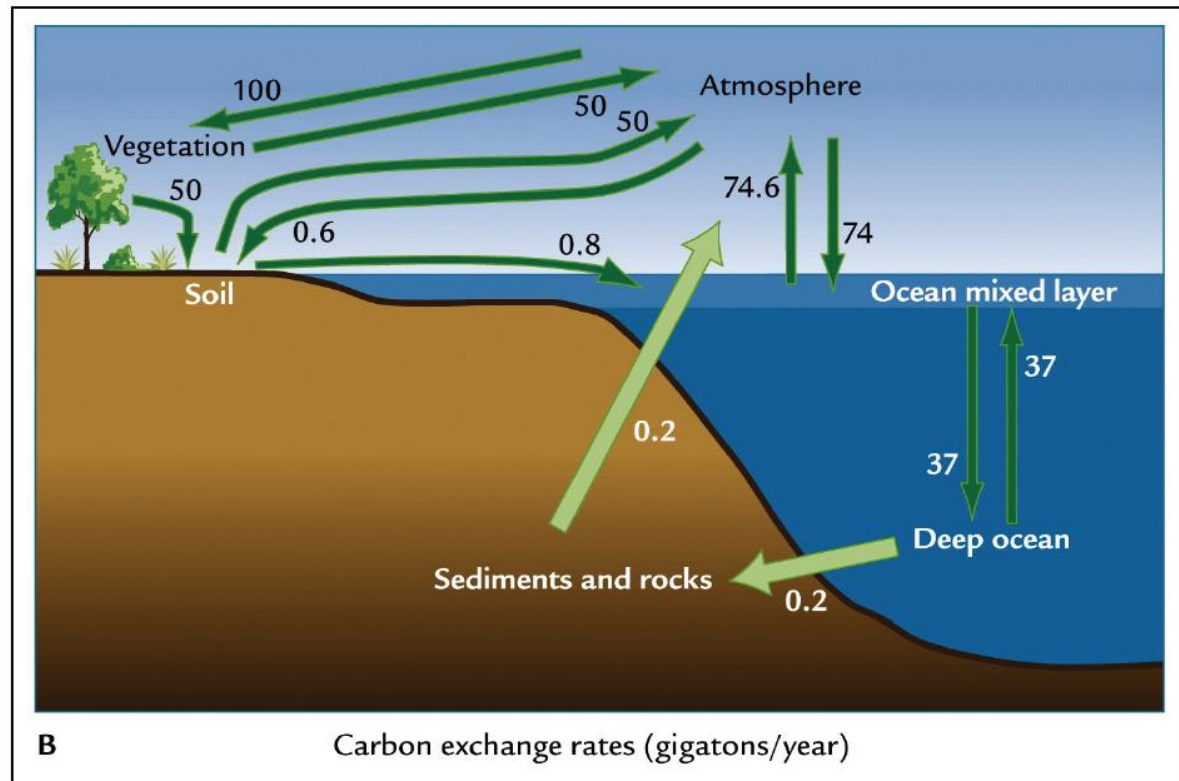
Koolstof reservoirs

- Slechts een fractie van de koolstof bevindt zich in de atmosfeer of in de vegetatie
- Enorme reservoirs van koolstof ten opzichte van onze CO₂ emissie van 36 Gte/jaar
 - Oceanen
 - Sedimenten en gesteente
- Waarom is de CO₂ uitstoot door de mensheid belangrijk?



Koolstof uitwisseling

- Trage uitwisseling tussen de koolstof reservoirs
 - Voorbeeld: tijdconstante diepe oceaan: $38.000 \text{ Gt} / 37 \text{ Gt/j} = 1000 \text{ jaar}$
- Vergelijk dit met de CO_2 emissie van 37 Gt/jaar
 - Kooldioxide emissie door mensheid is belangrijke bijdrage
- Stel dat iedereen evenveel uitstoot als de gemiddelde Nederlander
 - NL = $13 \text{ tCO}_2\text{e pp per jaar}$
 - 7 miljard mensen: 91 Gt/jaar
 - USA: 168 Gt/jaar
 - In 2100: 15 miljard mensen
 - In 2100: 300 Gt/jaar!

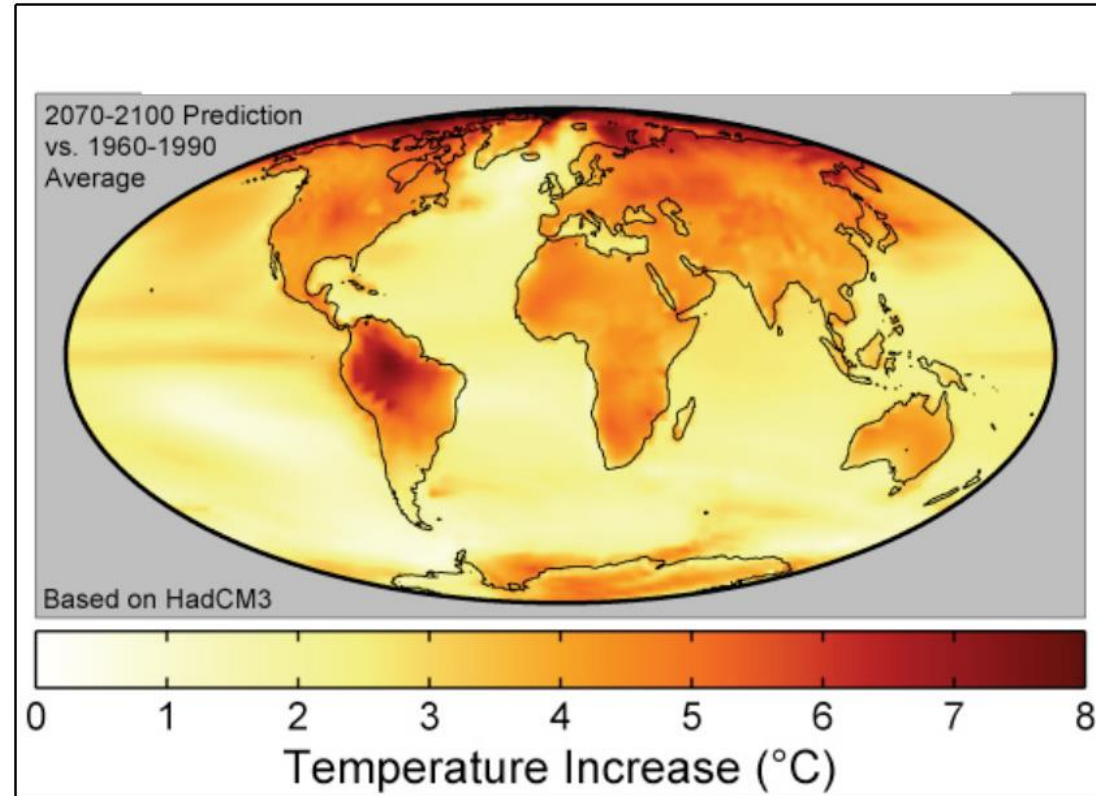
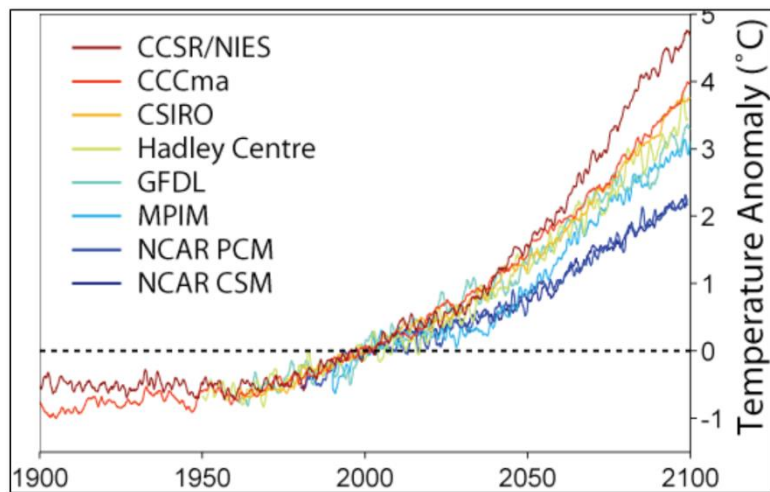


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Klimaatvoorspellingen

- Voorspelling voor eind 21ste eeuw
 - Aanneمة “business as usual” (continue economische groei en groei in CO₂ uitstoot)
- United Nations Framework Convention on Climate Change
 - 8 verschillende modellen

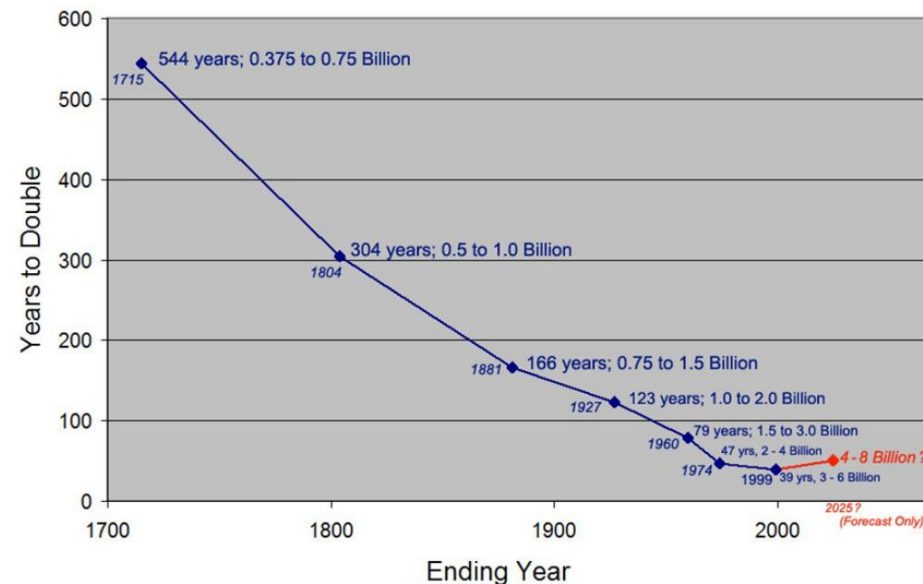
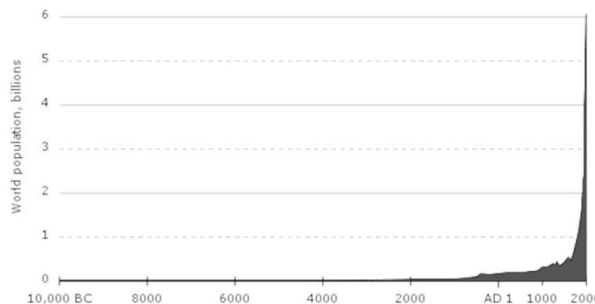


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Duurzaamheid

- Aspecten van een duurzame oplossing
 - Bereiken van een situatie met stabiel evenwicht
- Exponentiële groei
 - 2012: 7 miljard mensen
 - Groei-index 1.092%
 - Verdubbelingstijd: deel 70 door 1.092 = 64 jaar
 - Komt redelijk overeen met data in figuur
 - Is deze groei (te) groot? Wenselijk? Duurzaam?
- Eenvoudige oefeningen
 - Neem aan dat we “duurzaam blijven groeien”
 - Wanneer is de dichtheid 1 persoon per m²?
 - Wanneer is het gewicht van alle mensen evenveel als het gewicht van de Aarde?

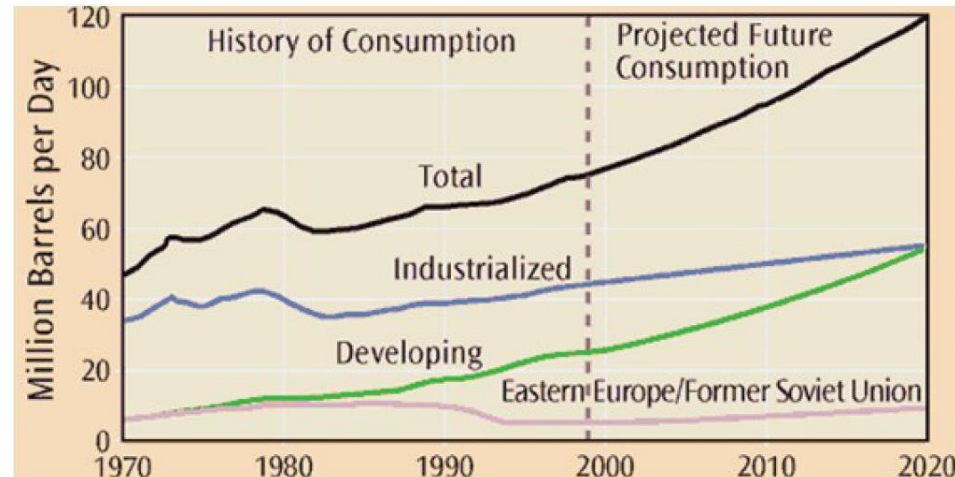
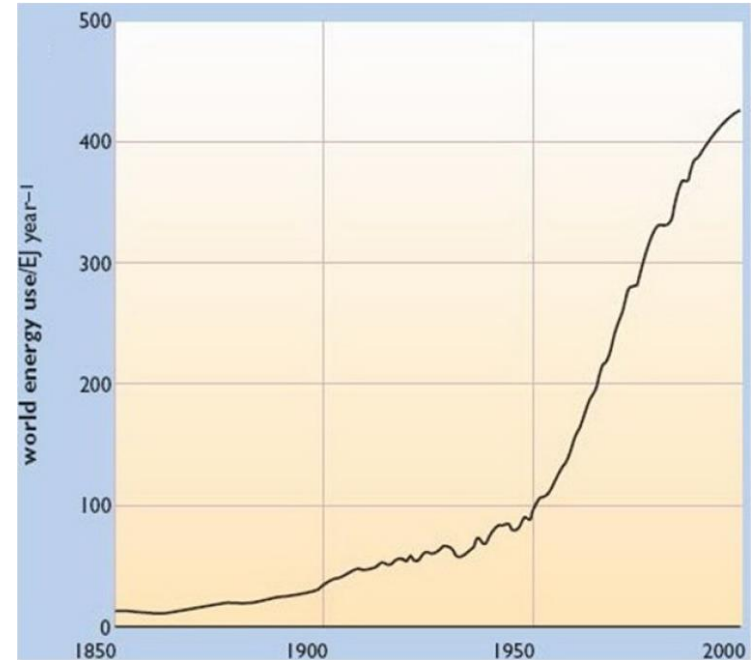


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

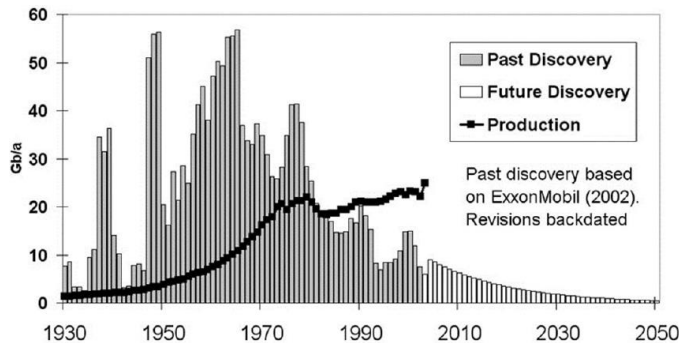
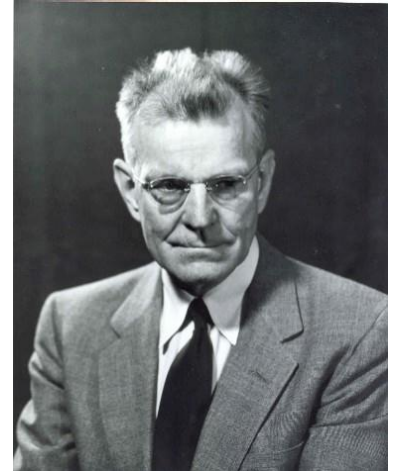
Duurzaamheid

- Energie consumptie
 - 1 exa joules = 10^{18} J
- Consumptie aardolie
 - 93 miljoen vaten (barrels) per dag (begin 2015)
 - Productie 94 miljoen vaten per dag
 - 1 barrel is ongeveer 159 liter olie
 - Groei-index 3.8% voor periode 1940 – 2006
 - Verdubbelingstijd: $\text{deel } 70 \text{ door } 3.8 = 18 \text{ jaar}$
- Verdubbelen
 - Fabel van het schaakbord: 1, 2, 4, 8, 16, 32, ...
 - Bij verdubbelen (bijvoorbeeld van 16 naar 32) komt er meer bij (16), dan ALLES wat er tot dan toe gebruikt is (1 + 2 + 4 + 8)
- Interessant is de competitie tussen een exponentiële functie en een eindige voorraad (niet echt...)

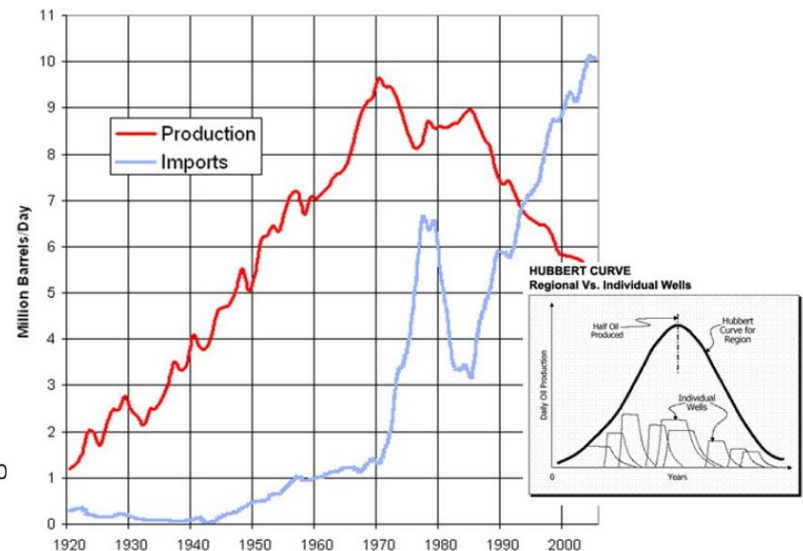


Aardolie

- Marion King Hubbert (Shell)
 - Voorspelde in 1956 dat de piekproductie van olie in de USA in 1969 zou plaatsvinden
 - De piekproductie was in 1970
 - Daarna moest de USA steeds meer olie gaan importeren
- World Coal Association
 - Aangetoonde reserves voor steenkool, olie en gas zijn 118, 46 en 59 jaar
 - Reserves worden fout ingeschat
 - Dat is bij de huidige consumptie
 - Laatste vat moeilijker te winnen dan het eerste
- Rapportage reserves
 - ExxonMobil (2002)



US Oil Production and Imports



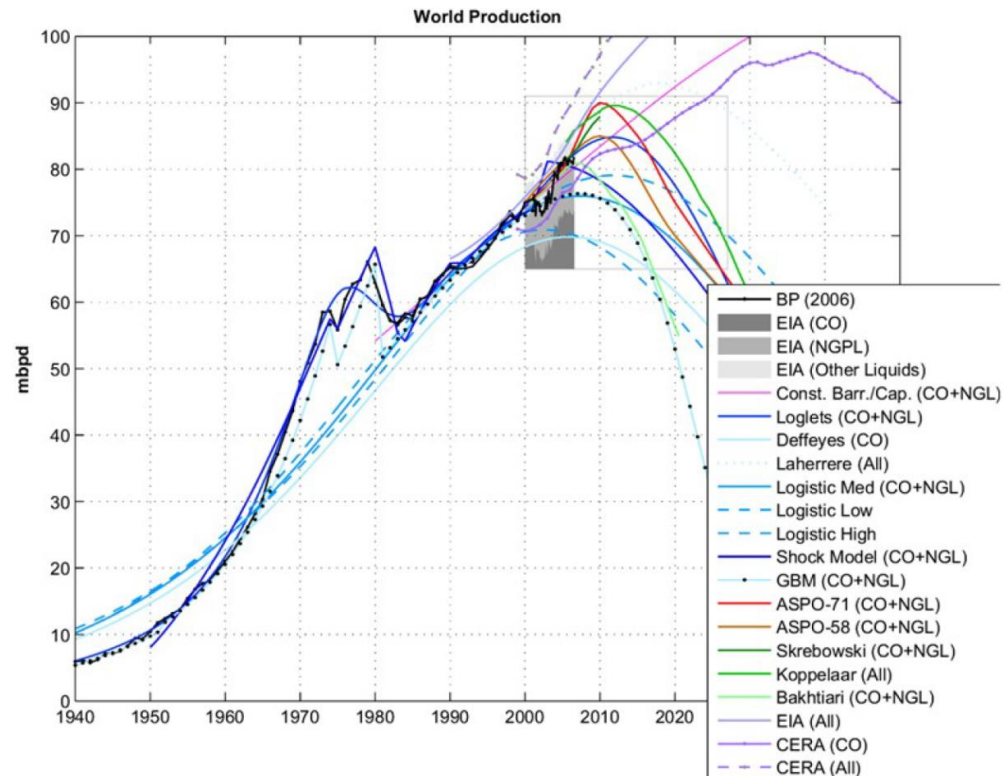
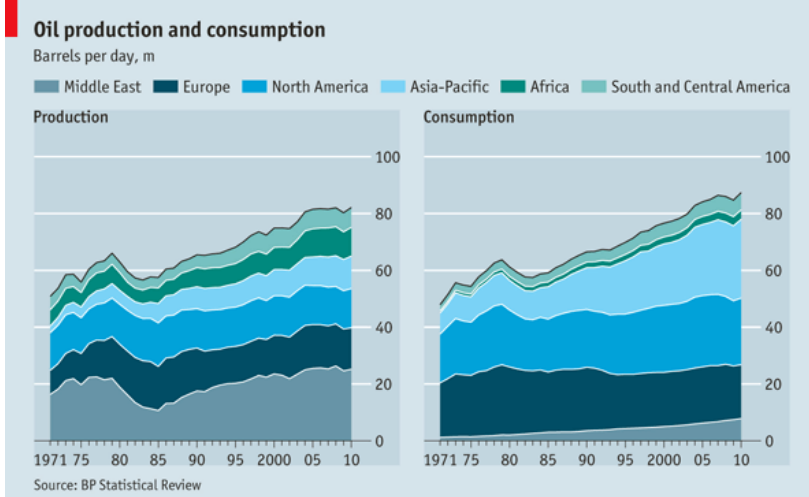
© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Voorspellingen aardolie

- Legio modellen (zie peakoil Wikipedia)
 - Department of Energy (DOE) USA in 2005: Hirsch report
 - Binnen 10 jaar wordt piekproductie bereikt
 - Nu maatregelen treffen
- Verhulst vergelijking
 - Aantal op tijdstip t is $N(t)$
 - Groeifactor r
 - Maximale populatie die mogelijk is K

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

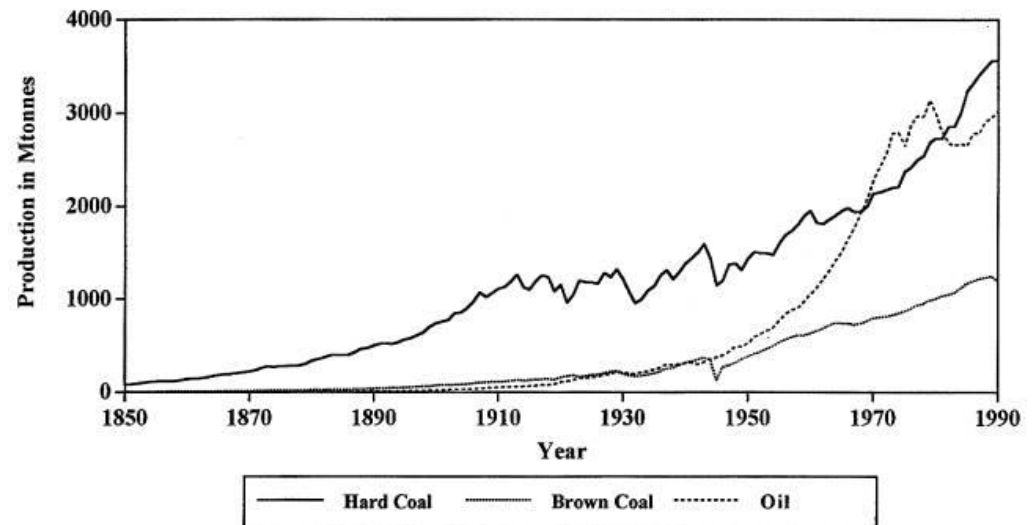
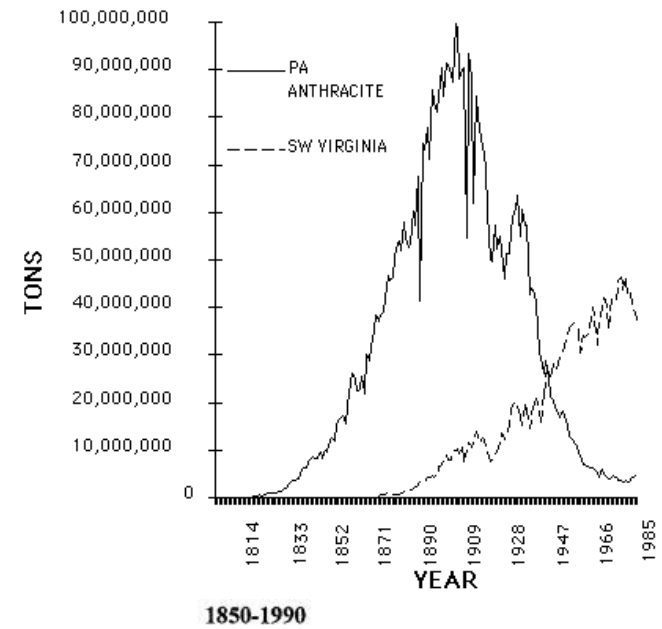
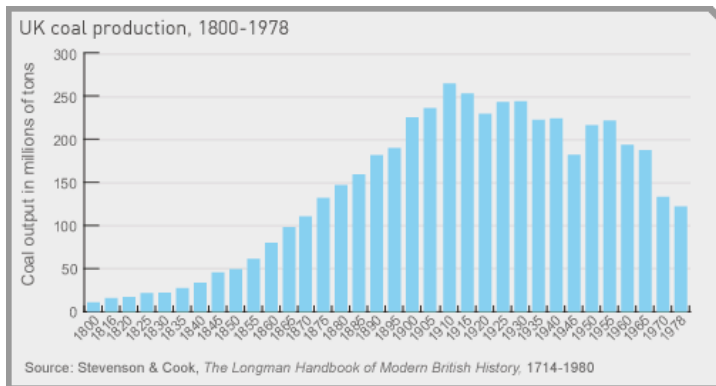


© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Hubbert modellen

- Exponentiële groei in competitie met eindige grondstof
 - Mathematische zekerheid, geen opinie
 - Steenkool, aardolie en aardgas
 - Kunstmest



© J.F.J. van den Brand

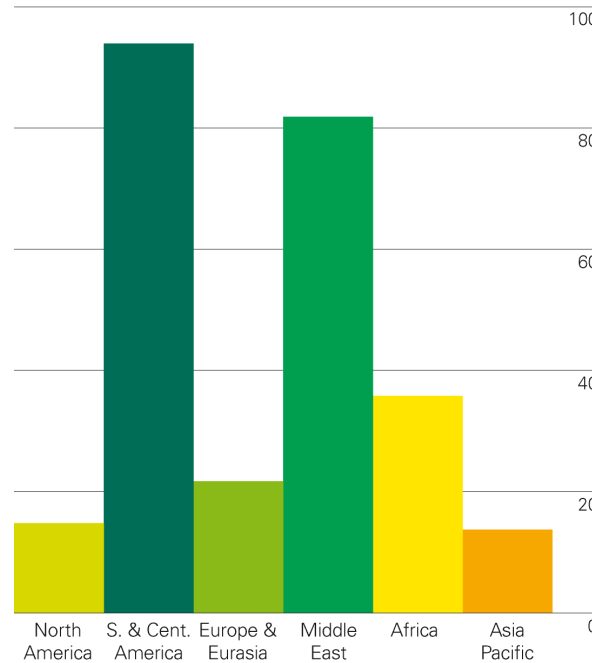
No reproduction without explicit written approval

Olie reserves

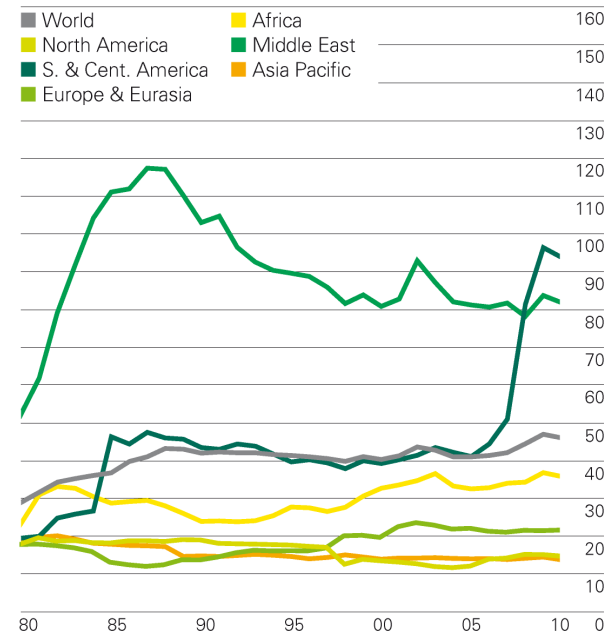
- R/P ratio
 - BP report 2011
 - Gebaseerd op huidige productie
 - 46.2 jaar
 - Minder dan in 2009

Reserves-to-production (R/P) ratios
Years

2010 by region



History



World proved oil reserves in 2010 were sufficient to meet 46.2 years of global production, down slightly from the 2009 R/P ratio because of a large increase in world production; global proved reserves rose slightly last year. An increase in Venezuelan official reserve estimates drove Latin America's R/P ratio to 93.9 years – the world's largest, surpassing the Middle East.



© J.F.J. van den Brand

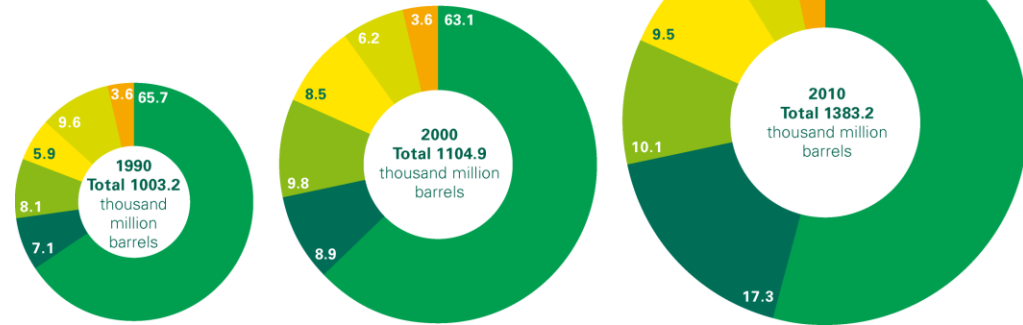
No reproduction without explicit written approval

Olie reserves

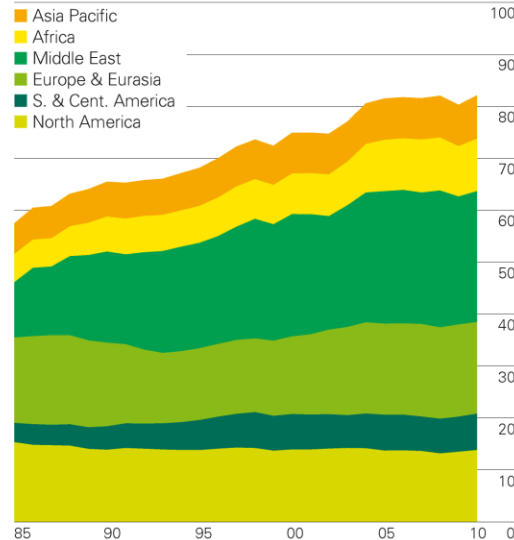
- Verdeling bewezen reserves
 - Totaal 1383.2 gbl
 - Huidig verbruik 88 mbl/d
 - 46.2 jaar (volgens BP)
 - Aandeel Midden Oosten loopt terug
 - Zuid Amerika neemt toe
- Productie 2010
 - Toename met 1.8 mbl/d
- Consumptie 2010
 - Toename met 2.7 mbl/d
 - Dat is 3.1% groei
 - Verdubbelingstijd 22.8 jaar
 - Alles op binnen deze tijd!

Distribution of proved reserves in 1990, 2000 and 2010
Percentage

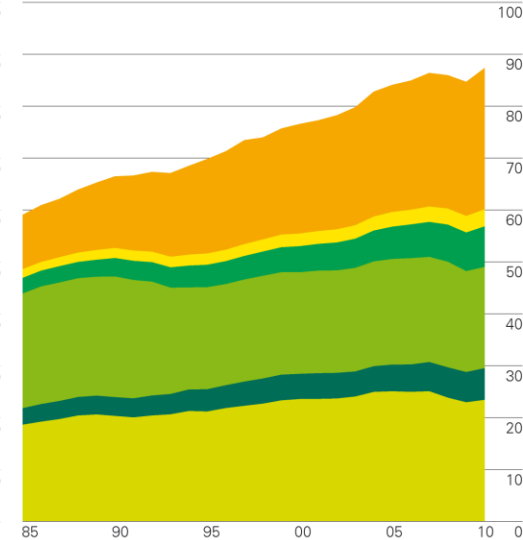
■ Middle East
 ■ S. & Cent. America
 ■ Europe & Eurasia
 ■ Africa
 ■ North America
 ■ Asia Pacific



Production by region
Million barrels daily



Consumption by region
Million barrels daily



World oil production increased by 1.8 million b/d in 2010; growth was broadly-based, with increases in all regions except Europe & Eurasia. Moreover, growth was broadly split between OPEC and non-OPEC countries. World oil consumption increased by 2.7 million b/d; growth was above average in all regions, although Asia Pacific countries accounted for the majority (54%) of global consumption growth.



© J.F.J. van den Brand

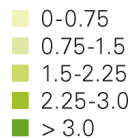
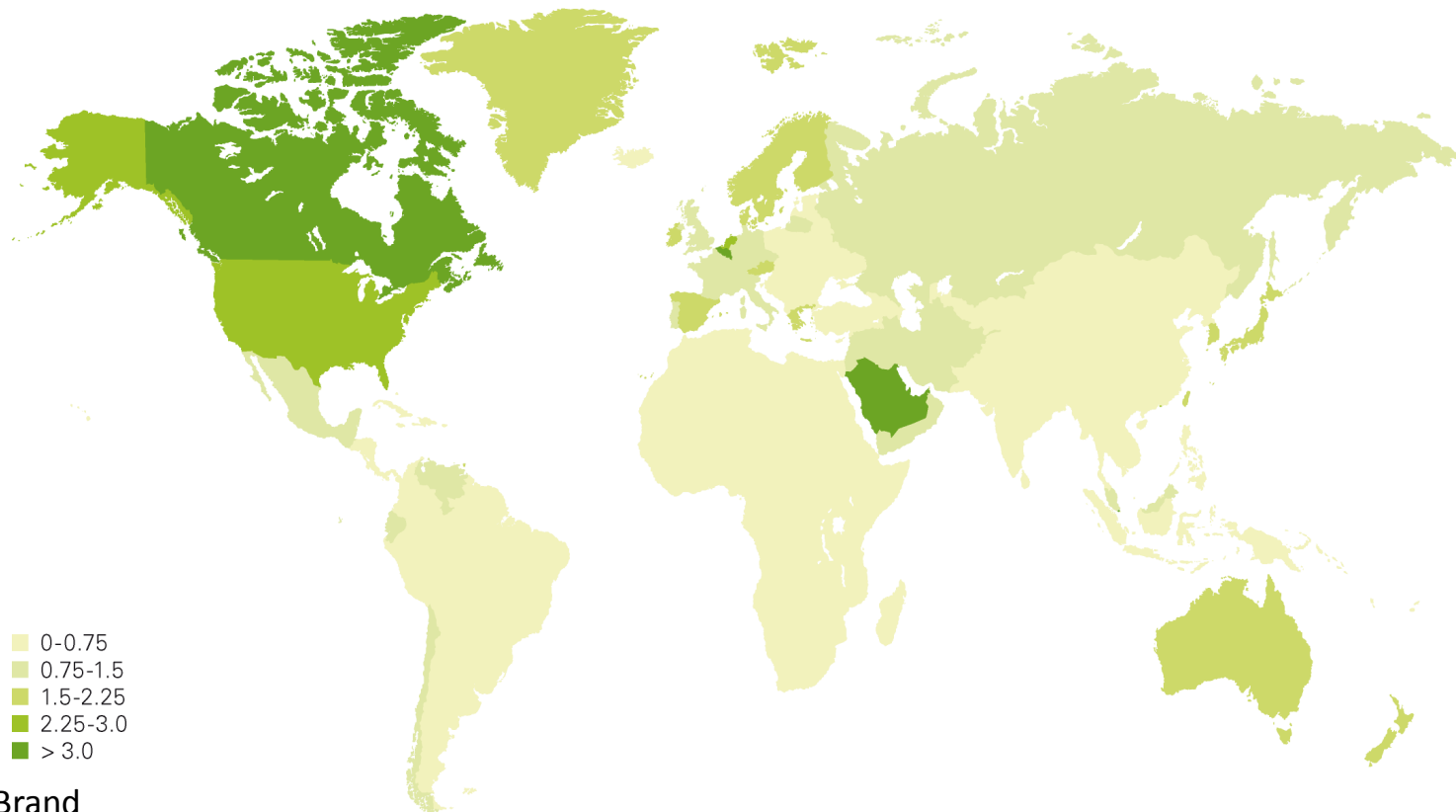
No reproduction without explicit written approval

Olie consumptie

- Per hoofd van de bevolking in 2010

Consumption per capita 2010

Tonnes



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

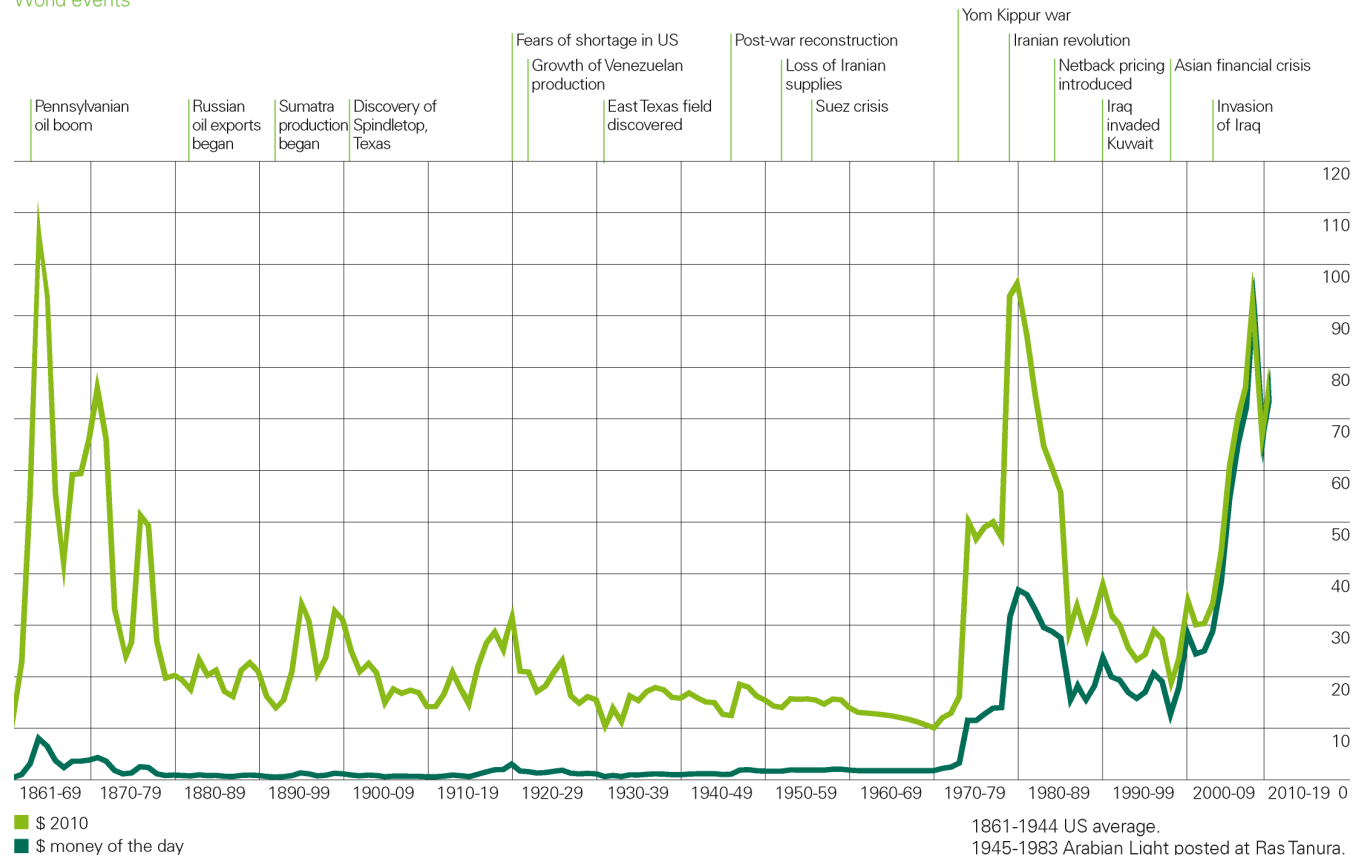
Olie prijzen – historisch

- Prijzen sinds 1861

Crude oil prices 1861-2010

US dollars per barrel

World events



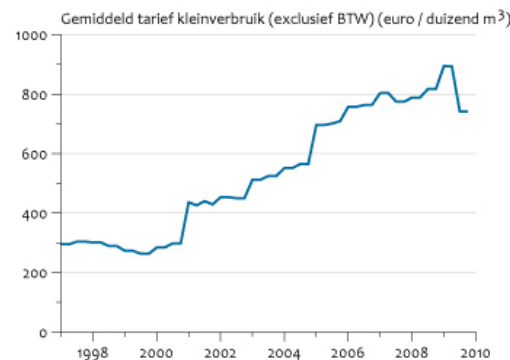
© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

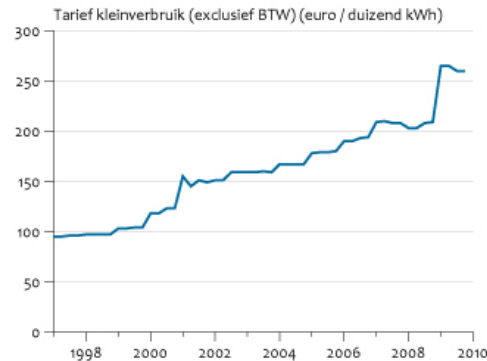
Fossiele brandstofprijzen

- Prijsniveaus olie en gas
 - Elektriciteitsprijs is met 250% gestegen in 10 jaar tijd
 - Idem voor olie en gas
- Redenen
 - Stijgende vraag
 - China en India
 - Gebrek aan reserve productie capaciteit
 - Politieke onzekerheden

Aardgasprijs

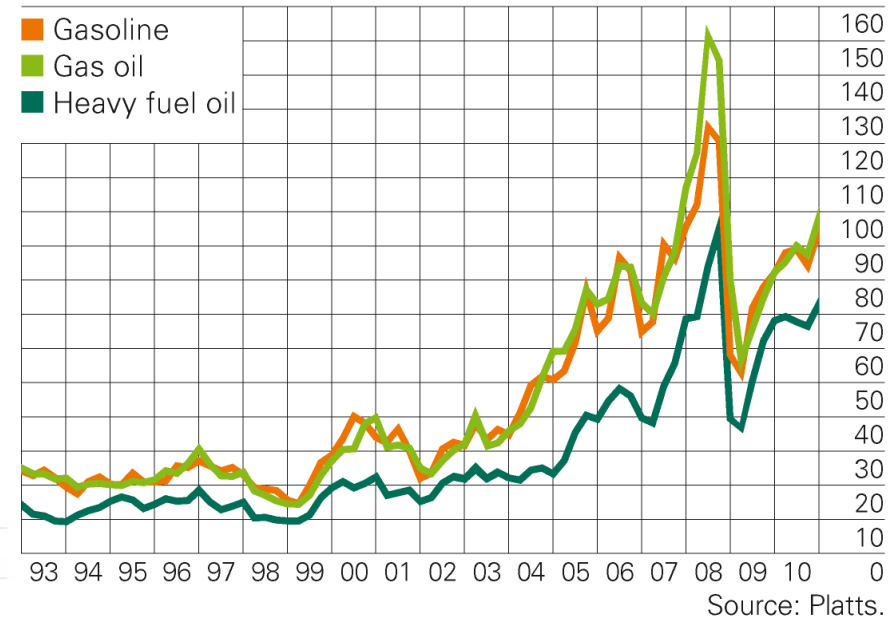


Elektriciteitsprijs



Rotterdam product prices

US dollars per barrel



CBS/junio/0554

www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

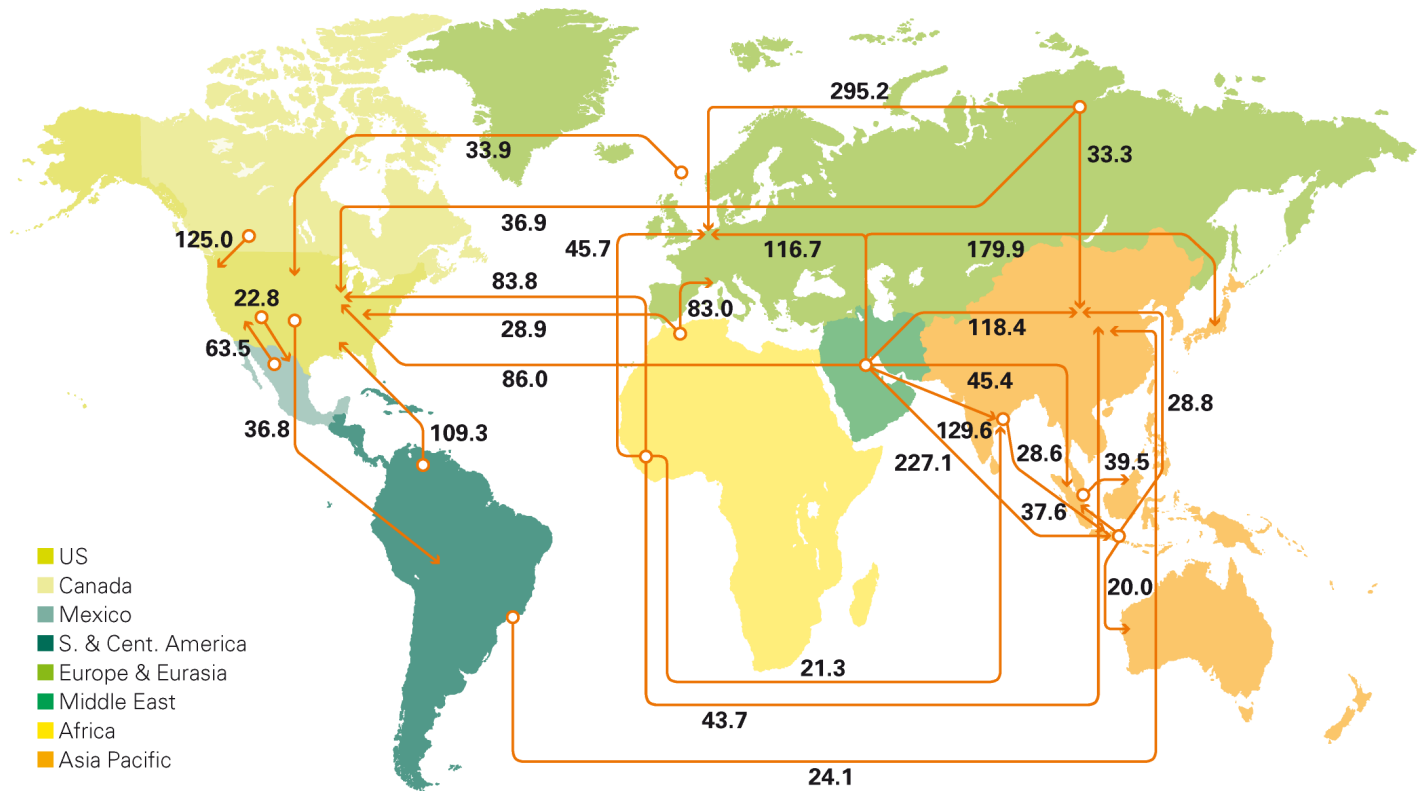
Bron: CBS.

Olie – handelsstromen

- Bewegungen in 2010

Major trade movements 2010

Trade flows worldwide (million tonnes)



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Olie – reserve's

World Proved¹ Reserves of Oil and Natural Gas. Most Recent Estimates

Country/Region	Oil (Billion Barrels)	Oil (Billion Barrels)	Oil (Billion Barrels)
	<i>BP Statistical Review</i> ² Year-End 2007	<i>Oil & Gas Journal</i> ³ January 1, 2009	<i>World Oil</i> ⁴ Year-End 2007
World Total	1,238.892	1,342.207	1,184.208

- Energy Information Administration
 - In 2009 naar schatting 1342 Gbl
- United States Geological Survey
 - F95 betekent 95% kans dat minstens deze hoeveelheid olie gewonnen kan worden
 - Totaal (mean) 3021 Gbl (2000 report)



	Oil				Gas				BBOE	NGL			
	Billion Barrels				Trillion Cubic Feet					Billion Barrels			
	F95	F50	F5	Mean	F95	F50	F5	Mean		F95	F50	F5	Mean
World (excluding United States)													
Undiscovered conventional	334	607	1,107	649	2,299	4,333	8,174	4,669	778	95	189	378	207
Reserve growth (conventional)	192	612	1,031	612	1,049	3,305	5,543	3,305	551	13	42	71	42
Remaining reserves*				859				4,621	770				68
Cumulative production*				539				898	150				7
Total				2,659				13,493	2,249				324
United States													
Undiscovered conventional**	66			104	83	393			698	527	88	Combined with oil	
Reserve growth (conventional)**				76				355	59	Combined with oil			
Remaining reserves				32				172	29	Combined with oil			
Cumulative production				171				854	142	Combined with oil			
Total				362				1,908	318				
World Total				3,021				15,401	2,567				
(including United States)													



© J.F.J. van den Brand

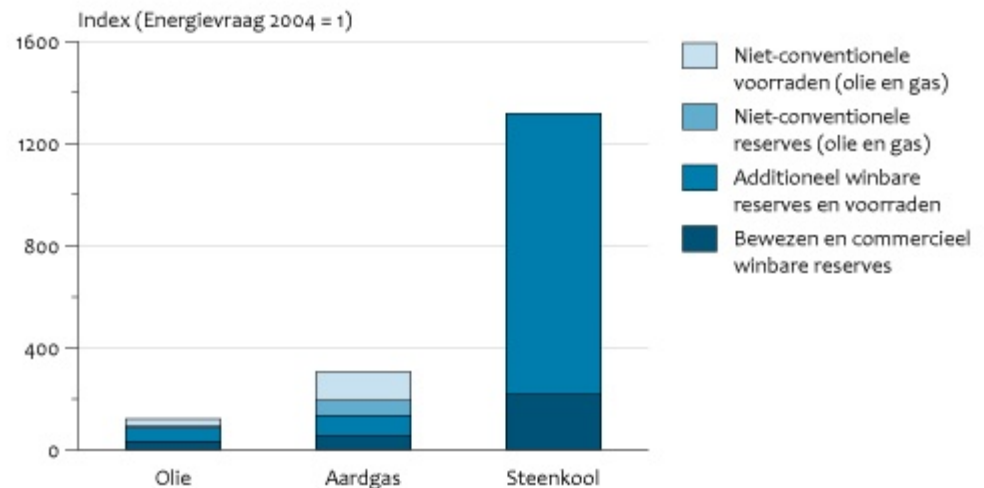
No reproduction without explicit written approval

Fossiele brandstoffen – reserve's

- Site van CBS, PBL en Wageningen University
- Mondiale voorraden
 - Aardolie 150 jaar
 - Gasverbruik 360 jaar
 - Steenkool 1320 jaar
 - Op basis van 2004

Compendium
voor de Leefomgeving

Mondiale voorraden fossiele brandstoffen 2006



© J.F.J. van den Brand

No reproduction without explicit written approval

Bron: IEA, TNO, MNP, 2006.

PBL/deco6/0051
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Global warming

NOVEMBER, 1922. MONTHLY WEATHER REVIEW.

THE CHANGING ARCTIC.

By GEORGE NICOLAS IFFT.

[Under date of October 10, 1922, the American consul at Bergen, Norway, submitted the following report to the State Department, Washington, D. C.]

The Arctic seems to be warming up. Reports from fishermen, seal hunters, and explorers who sail the seas about Spitzbergen and the eastern Arctic, all point to a radical change in climatic conditions, and hitherto unheard-of high temperatures in that part of the earth's surface.

In August, 1922, the Norwegian Department of Commerce sent an expedition to Spitzbergen and Bear Island under the leadership of Dr. Adolf Hoel, lecturer on geology at the University of Christiania. Its purpose was to survey and chart the lands adjacent to the Norwegian mines on those islands, take soundings of the adjacent waters, and make other oceanographic investigations.

Dr. Hoel, who has just returned, reports the location of hitherto unknown coal deposits on the eastern shores of Advent Bay—deposits of vast extent and superior quality. This is regarded as of first importance, as so far most of the coal mined by the Norwegian companies on those islands has not been of the best quality.

* R. L. Holmes: Quart. Journ. Royal Meteorol. Soc., January, 1905.

The oceanographic observations have, however, been even more interesting. Ice conditions were exceptional. In fact, so little ice has never before been noted. The expedition all but established a record, sailing as far north as $81^{\circ} 29'$ in ice-free water. This is the farthest north ever reached with modern oceanographic apparatus.

The character of the waters of the great polar basin has heretofore been practically unknown. Dr. Hoel reports that he made a section of the Gulf Stream at 81° north latitude and took soundings to a depth of 3,100 meters. These show the Gulf Stream very warm, and it could be traced as a surface current till beyond the 81st parallel. The warmth of the waters makes it probable that the favorable ice conditions will continue for some time.

A NEW CHAPTER IS WRITTEN BY THE GLACIERS

Now in Full Retreat in the Alps, They Emphasize the Influence That They Exert on Climate and the Migrations of People

By EMIL LENGYEL

WORD comes from Switzerland that the Alpine glaciers are in full retreat. Out of 102 glaciers observed by Professor P. L. Mercanton of the University of Lausanne and his associates more than two-thirds have been found to be shrinking. Does this mean the approach of a warmer climate, such as swept over our globe thousands of years ago? Will palms, cypresses, magnolias, myrtles and olive trees thrive at the feet of the Adirondacks, as they did in those distant days?

The New York Times

Published: December 21, 1930

Copyright © The New York Times