

# 1 Inleiding

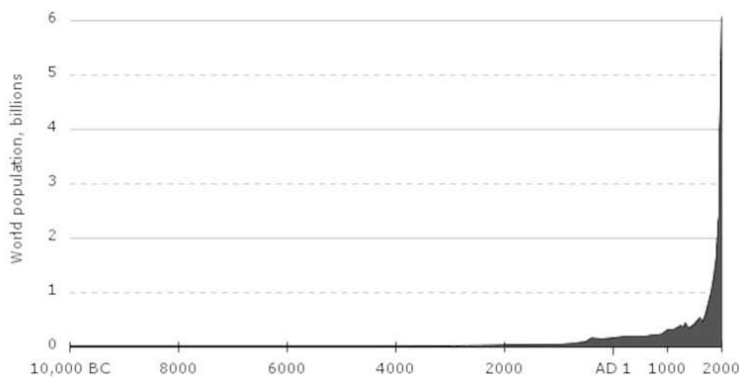
Het doel van deze cursus is het bestuderen van feiten rond energie en met name de mogelijkheden rond duurzame oplossingen. Duurzaam in deze context definiëren we als oplossingen die duizenden jaren van toepassing kunnen zijn. In het volgende zullen we vooral de situatie in en mogelijkheden voor Nederland onder de loep nemen.

Een van de gebeurtenissen die grote indruk op me heeft gemaakt, was onderstaande foto van onze Aarde genomen door astronauten van de Apollo 11 missie in 1969. De foto toont de Aarde als een



**Figure 1:** Aarde die opkomt boven de horizon van de Maan. Image Credit: NASA.

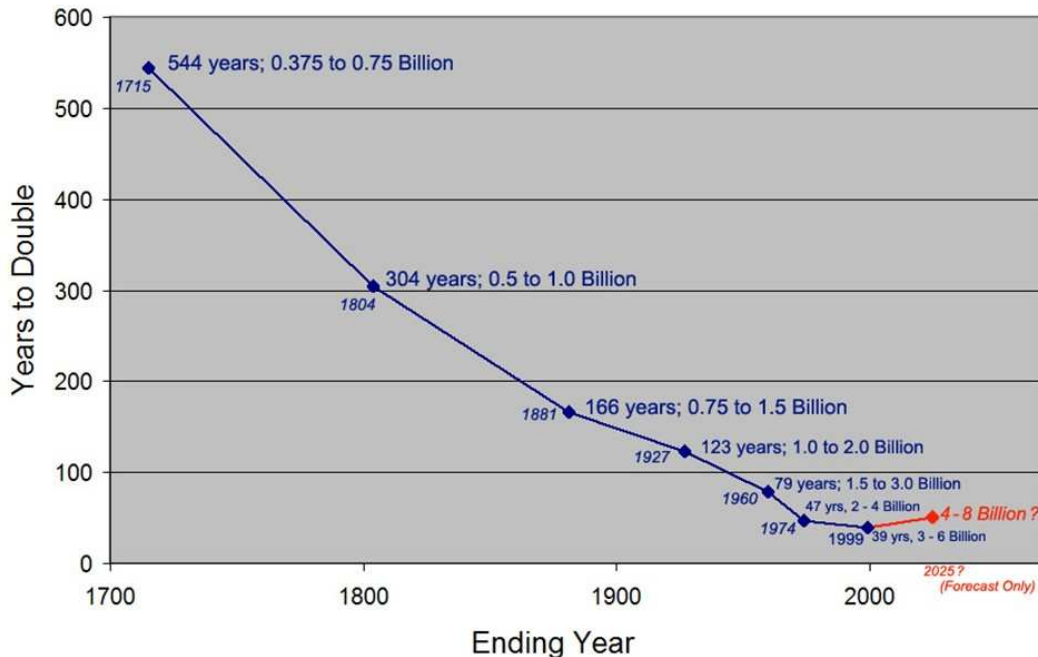
bol in vrije val in het heelal. We zien hier direct de eindigheid en kwetsbaarheid van onze planeet. Sinds enkele miljoenen jaren wordt de Aarde bevolkt door onze soort en gedurende het overgrote deel van deze tijdsduur was onze invloed erop verwaarloosbaar. Alu sequenties van het gehele menselijk genoom laten zien dat de effectieve menselijke populatie 1,2 miljoen jaar geleden minder dan 26.000 was. Verder is het plausibel om aan te nemen, dat de Toba supereruptie ongeveer 70.000 jaar geleden plaatsvondt. De bijbehorende vulkanische winterperiode van 6 tot 10 jaar verminderde de wereldbevolking tot ongeveer 10.000 met slechts ongeveer 1.000 broedende paren. Fig. 2 toont dat de wereldbevolking in de laatste eeuwen steeds sneller is toegenomen. Op dit



**Figure 2:** Groei van wereldbevolking. Bron wikipedia (2011)

moment (Juli 2011) wordt de Aarde bevolkt door ongeveer 6.928.198.000 mensen en bedraagt de groeisnelheid 1.092% per jaar. Als we uitrekenen hoe lang het duurt voordat de wereldbevolking zal zijn verdubbeld bij deze groeisnelheid, komen we tot de conclusie dat dit slechts 64 jaar is.

Merk op, dat de verdubbelingstijd wordt gevonden door het getal 70 te delen door de groeisnelheid in procenten<sup>1</sup>. Overigens komt dat getal goed overeen met de verdubbelingstijden [1] getoond in Fig. 3. Laten we eens bekijken wat het zou betekenen als de groei van de wereldbevolking op



**Figure 3:** Verdubbelingstijden van de wereldbevolking. Bron wikipedia (2011)

deze manier door zou gaan. Een groei van 1.092% klinkt wellicht bescheiden, maar het leidt na 700 jaar tot een dichtheid van 1 persoon per vierkante meter<sup>2</sup>. Na 3500 jaar zou het gewicht van alle mensen samen zelfs evenveel zijn als dat van de Aarde (ongeveer  $5,9722 \times 10^{24}$  kg). Het zal duidelijk zijn dat het nooit zover zal kunnen komen, omdat, ook al zou de mensheid de huidige groei willen vasthouden, de natuur dit niet zal toelaten.

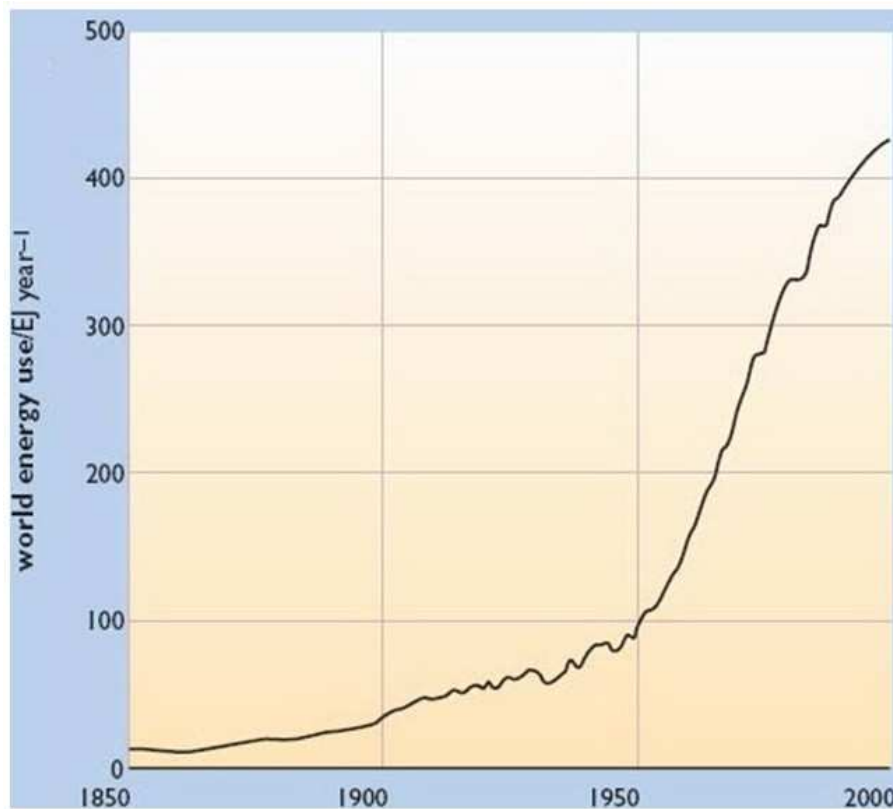
Het is ironisch dat veel van de zaken die wij als moreel juist ervaren, de problemen die een ongelimiteerde groei van de wereldbevolking met zich mee brengt, alleen maar verergeren: de gezondheidszorg, de opvang van zwakken en ouderen, immigratie, beperking van kindersterfte, schone lucht, goede voeding, vrede op Aarde. Allemaal goede zaken, maar ze verergeren het bevolkingsprobleem en verminderen de kans op een duurzame samenleving. Als we de problemen rond de bevolkingsgroei serieus nemen en de groei willen afremmen of stoppen, dan moeten zaken worden aangemoedigd als onthouding, gebruik van voorbehoedsmiddelen, abortus, kleine gezinnen, een stop op immigratie<sup>3</sup>. We zien hier een groot dilemma: alles wat we als moreel juist ervaren, maakt het bevolkingsprobleem erger, terwijl wat wij als verwerpelijk ervaren, bij kan dragen tot een "oplossing" ervan. Het is een absolute wiskundige zekerheid dat de groei uiteindelijk zal stoppen, ook al zouden wij als mensheid besluiten hierin geen sturende rol te willen vervullen! Aan ons de verantwoordelijkheid om de juiste keuzes te maken. Een ding dient echter wel duidelijk te zijn in dit eenvoudige voorbeeld: exponentiële groei van de wereldbevolking is niet te verenigen met duurzaamheid.

<sup>1</sup>Vraagt u zich af waar dat getal 70 vandaan komt? Dat is bij benadering 100 keer de natuurlijke logaritme van 2. Dat onderwijzen we onze knappe koppen op de middelbare school.

<sup>2</sup>Het totale landoppervlak op Aarde is ongeveer 148.940.000 km<sup>2</sup>.

<sup>3</sup>Merk op dat ook ziekten, oorlogen, moord, hongernood en ongelukken de bevolkingsgroei tot stilstand kunnen brengen. De natuur zal uiteindelijk een weg vinden.

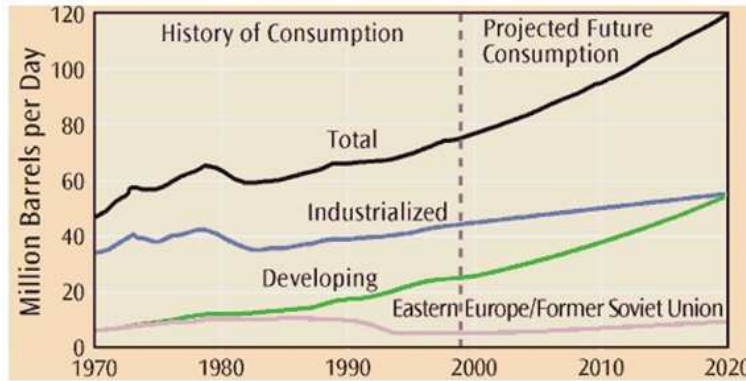
De mathematische zekerheid van de onhoudbaarheid van exponentiële groei van de mensheid op Aarde, geldt ook in algemene zin. Exponentiële groei van consumptie ten koste van een grondstof die in beperkte hoeveelheid op onze eindige Aardbol voorhanden is (en slechts met beperkte snelheid geproduceerd kan worden), is wiskundig niet mogelijk. Dat geldt voor *elke* eindige grondstof. Van cruciaal belang voor de ontwikkeling van de mensheid is energie. Energie zorgt ervoor dat fabrieken kunnen produceren, dat grondstoffen getransporteerd kunnen worden en dat voedsel kan worden verbouwd. Energie wordt op dit moment voor het overgrote deel (ongeveer 80%) gewonnen uit fossiele brandstoffen. In het volgende bespreken we onze afhankelijkheid van fossiele brandstoffen als steenkool, olie en gas. De beschikbaarheid van deze grondstoffen is eindig, terwijl onze energiebehoefte nagenoeg exponentieel stijgt (zie Fig. 4). Van 1850 tot



**Figure 4:** Wereld consumptie van energie tussen 1850 en 2000 in exa joules ( $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$ ). Bron <http://www.our-energy.com>.

2000 is de wereldbevolking toegenomen van ongeveer 1,5 miljard tot 6 miljard mensen (ongeveer een factor 4), terwijl het energieverbruik met meer dan 20-keer is toegenomen. De belangrijkste energiebron is olie (33,5% in 2008). We bekijken de situatie in wat meer detail. Fig. 5 toont het verbruik van aardolie tussen 1950 en 2005. De productie wordt getoond in miljoenen vaten per dag (mbpd), waarbij 1 vat staat voor ongeveer 159 liter olie. Tussen 1940 en 2006 is het verbruik toegenomen van ongeveer 6 tot 75 miljoen vaten per dag. Dat komt overeen met een groeifactor van 3,8% per jaar. De bijbehorende verdubbelingstijd bedraagt 18 jaar. Een dergelijke groei betekent dat er de volgende 18 jaar evenveel olie gebruikt wordt als *alle* aardolie die tot dan toe in de geschiedenis van de Aarde<sup>4</sup> gebruikt is. We hebben hier weer te maken met een voorbeeld

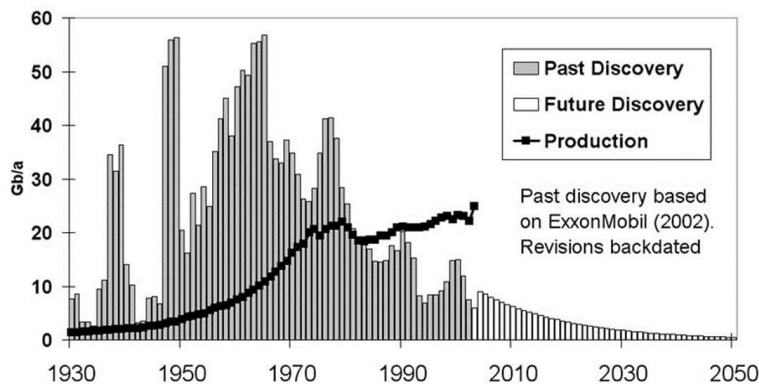
<sup>4</sup>Wellicht is het goed het voorbeeld van het schaakbord in herinnering te hebben, waar op het eerste veld 1 graankorrel geplaatst wordt. Het aantal wordt op elk volgend veld verdubbeld: 1, 2, 4, 8, 16, 32, enzovoort. Merk op dat elk getal meer is dan de som van alle voorgaande getallen (bijvoorbeeld 16 is meer dan  $1 + 2 + 4 + 8 = 15$ ).



**Figure 5:** Wereldverbruik van aardolie voor de periode 1970 tot en met 2020. Bron: Association for the Study of Peak Oil, [www.asponews.org](http://www.asponews.org).

van exponentiële groei en dat kan niet duurzaam zijn bij een eindige grondstof als olie.

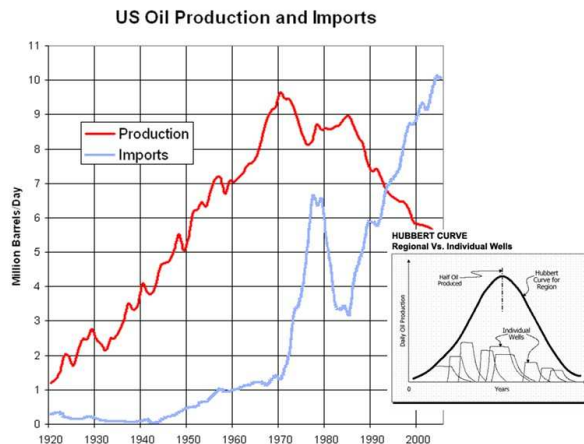
Aardolie is gevormd op Aarde in processen die honderden miljoenen jaren geduurd hebben. De voorraad is eindig en naar schatting is ongeveer 90% van de goedkoop te winnen olie in kaart gebracht. Fig. 6 laat duidelijk zien dat de ontdekking van nieuwe olievelden steeds meer achterblijft bij de productie. De geoloog Marion King Hubbert werkte bij Shell en voorspelde al



**Figure 6:** Er is een groeiende discrepantie tussen ontdekking van olievelden en olieproductie.

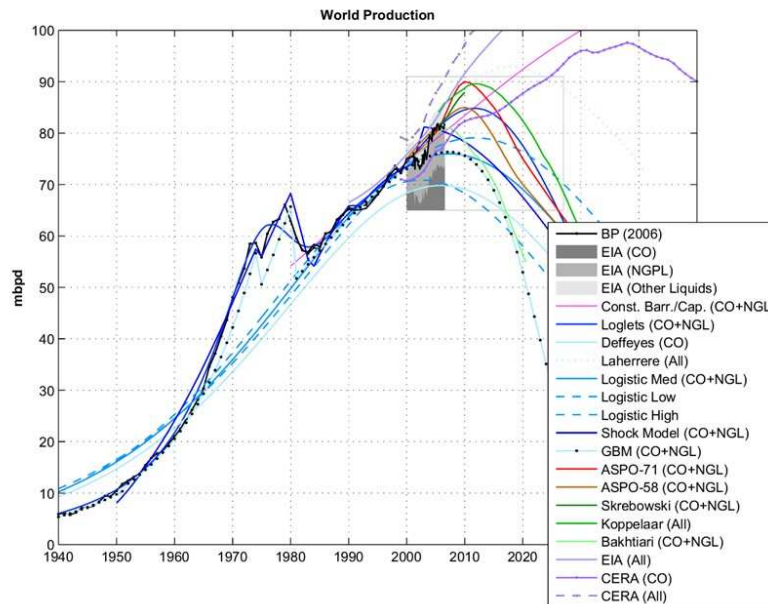
in 1956 dat de productie van olie in de USA (behalve Alaska en Hawaii) zou pieken in 1969 (zie Fig. 7). Zijn model is gebaseerd op het combineren van data van diverse productiecurven van olievelden. De productie van aardolie in de USA piekte daadwerkelijk in 1970 waarna deze een steeds minder belangrijke rol op wereldniveau speelde. De USA kunnen het zich veroorloven om olie te importeren en zijn hiervan nu afhankelijk. Later in zijn leven voorspelde Hubbert dat de wereldproductie van olie zou pieken tussen 1995 en 2000, maar twee crises in de jaren zeventig hebben het gebruik van olie geremd.

Volgens een rapport van de World Coal Association [3] uit 2010, zijn de aangetoonde reserves van steenkool, olie en gas bij de huidige consumptie voldoende voor respectievelijk 118, 46 en 59 jaar. Wat aardolie betreft, zijn er minstens drie kanttekeningen te plaatsen bij deze getallen. Allereerst worden de reserve's fout ingeschat. De tweede fout is de aanname van constante productie. De derde en belangrijkste fout is de aanname dat het laatste vat even gemakkelijk uit de bron gepompt kan worden als het eerste; de productie zal veel eerder afnemen. Fig. 8 toont



**Figure 7:** Productie van aardolie in de USA in miljoenen vaten per dag. De piek van de productie vond plaats in 1970 en dat was reeds voorspeld door Hubbert in 1956.

verschillende scenario's voor het verloop van de olieproductie.

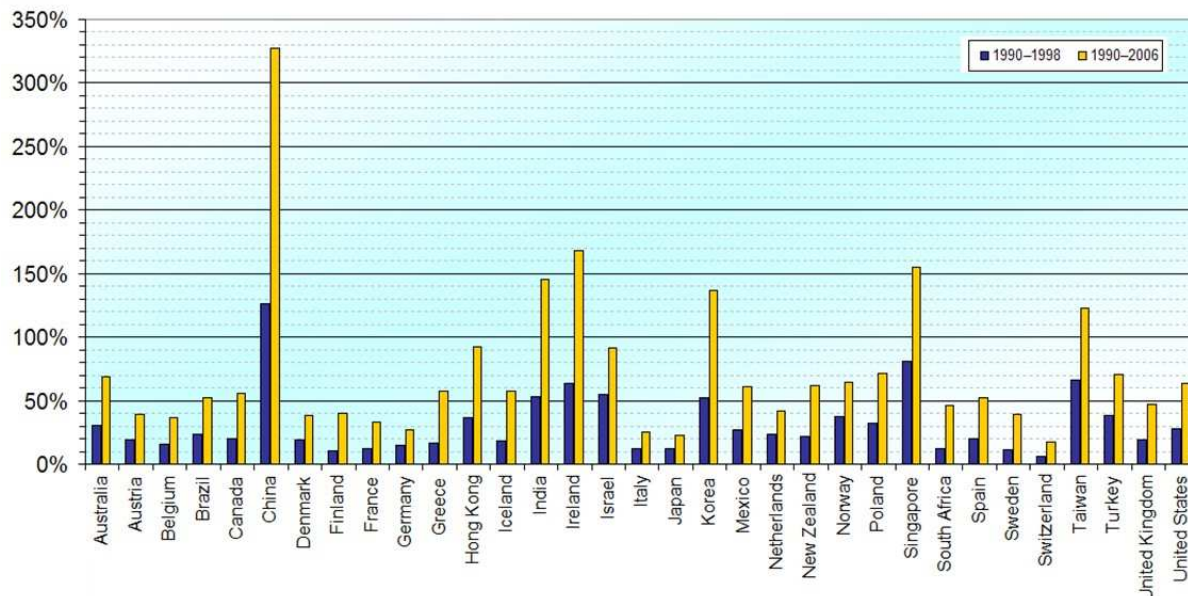


**Figure 8:** Historische gegevens van olieproductie en diverse toekomst scenario's.

De US Department of Energy heeft in 2005 een onderzoek laten doen [2] naar de duurzaamheid van aardolie. Dit zogenaamde Hirsch rapport werd uitgegeven door de Science Applications International Corporation (SAIC) en stelde dat het pieken van de olieproductie op termijn een feit is en als hier niet binnen tien jaar voorafgaande aan de piek ingegrepen wordt, dat het kan leiden tot "unprecedented" economische, sociale en politieke kosten. De gevolgen zullen vooral voelbaar zijn in de transportsector. Later stelde Hirsch dat de wereld dient te beginnen met het uitgeven van één biljoen dollar per jaar in de decade voorafgaand aan het pieken. Volgens de International Energy Agency (IEA) piekte de productie [4, 5] van conventionele ruwe olie in 2006 bij meer dan 70 miljoen vaten per dag, terwijl optimistische scenario's een wereldwijde afname

laten zien, beginnend in 2020.

Hubberts model is een voorbeeld van een logistische functie, waarbij de initiële groei bij benadering exponentieel is, waarna verzadiging optreedt en de groei afneemt om uiteindelijk te stoppen. Deze functie werd door Pierre Francois Verhulst (1804 - 1849, professor aan de Universiteit van Gent) gebruikt in zijn studies naar populatiegroei<sup>5</sup>. Het beschrijft de competitie tussen exponentiële groei en de limiet die door de omgeving gesteld wordt. Hubberts theorie kan toegepast worden op diverse eindige grondstoffen: kolen, olie, gas, metalen, helium, water en visserijen. Opmerkelijk is de discussie rond fosfor: een stof die essentieel is voor de kunstmest gebruikt in de landbouw. Een recente studie [6] schat dat er een totale wereldvoorraad van 3.200 MT (mega-ton) is en dat in een Hubbert model de piekproductie 28 MT/jaar zal zijn in 2034. Kunstmest is van groot belang voor voedselproductie en de productie van biobrandstoffen. Ongeveer 50% van de oogst wordt toegeschreven aan kunstmest. Het gebruik is de laatste 50 jaar met een factor 20 gestegen tot 100 miljoen ton per jaar (in 2000). De productie van ammoniak is niet duurzaam en gebruikt naar schatting 5% van 's werelds gasconsumptie (deze energiekosten zijn verantwoordelijk voor ongeveer 90% van de kosten van kunstmest).



**Figure 9:** *Groei van het bruto binnenlands product (BBP, ook wel GDP) van diverse landen voor de periode 1990 - 1998 en 1990 - 2006.*

Het zal duidelijk zijn uit de discussie op de vorige bladzijden dat (exponentiële) groei inconsistent is met duurzaamheid. Feit is dat we sinds de industriële revolutie gewend zijn geraakt aan exponentiële groei. Het is door meer dan 150 jaar aan voorspoed vanzelfsprekend geworden. Fig. 9 toont de economische groei van de laatste 20 jaar. In de recente crisis van 2008 is de globale groei van het GDP (Gross Domestic Product) wereldwijd afgenomen met ongeveer 6%. In 2009 en 2010 groeide de economie wereldwijd weer en voorspelt het IMF voor de komende jaren een groei van ongeveer 4%.

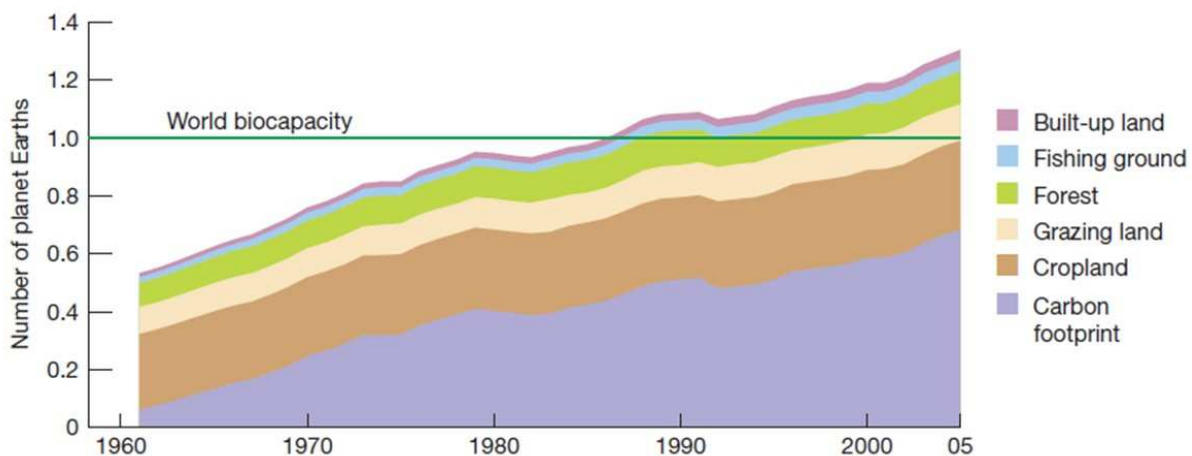
<sup>5</sup>Verhulst publiceerde in 1838 de niet-lineaire differentiaalvergelijking

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

met  $N(t)$  de aantal individuen op tijdstip  $t$ ,  $r$  de groeifactor en  $K$  de maximale populatie die mogelijk is.

Ook onze belangrijkste regeringsleiders geloven in duurzame groei [8, 9]. Stelling 3 (van de 29) van de bijeenkomst van de G20 in London in 2009 luidt *'We start from the belief that prosperity is indivisible. That growth, to be sustained, has to be shared; and that our global plan for recovery must have at its heart the needs and jobs of hard working families, not just in developed countries but in emerging markets and the poorest countries of the world too; and must reflect the interests, not just of today's population, but of future generations too.'* Dat klinkt zeer nobel, maar het uitgangspunt is *'Growth, to be sustained'* en dat wordt niet ter discussie gesteld. Wel meer mooie uitspraken als *'restore confidence, growth, and jobs'*, *'accelerate the return to trend growth'*, *'the engine of recent world growth'*, *'world trade growth has underpinned rising prosperity'*, *'investment is essential for restoring global growth'*, *'We are determined not only to restore growth but to lay the foundations for a fair and sustainable world economy'*. Onze regeringsleiders zijn overtuigd van de mogelijkheid tot duurzame globale groei, overtuigd van een waanbeeld.

Hoe kunnen onze regeringsleiders duurzame groei nastreven, terwijl al in 2008 bijvoorbeeld het World Wildlife Fund<sup>6</sup> publiceerde dat de mensheid de grondstoffen sneller consumeert dan de Aarde haar kan aanvullen. Fig. 10 toont de ecologische 'footprint', waarbij de groene lijn

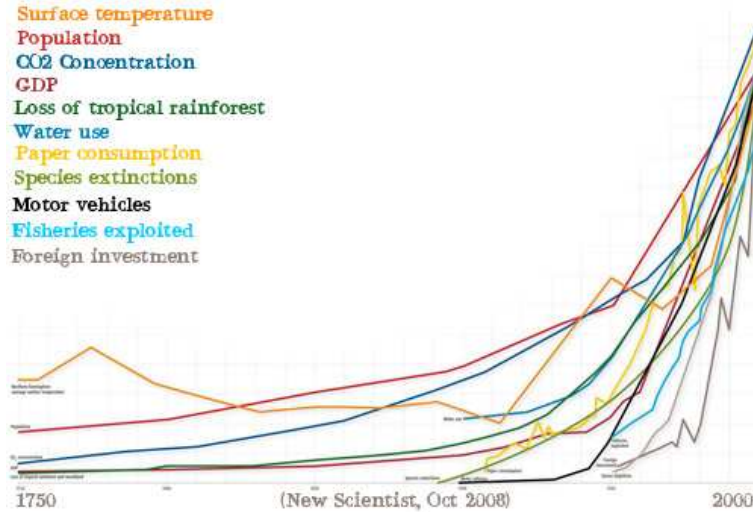


**Figure 10:** Ecologische 'footprint' per component voor de periode 1961 - 2005. Bron: Living Planet Report WWF 2008.

aangeeft wat de biocapaciteit is. In 2005 was de globale ecologische belasting 17,5 miljard globale hectaren (gha), ofwel 2,7 gha per persoon (een globale hectare is een hectare met wereldgemiddeld vermogen om grondstoffen te produceren en afval te absorberen). Voor Nederland bedraagt de belasting ongeveer 4 gha per persoon. Het totale productieve oppervlak van de Aarde, de biocapaciteit, was toen 13,6 miljard gha, ofwel 2,1 gha per persoon.

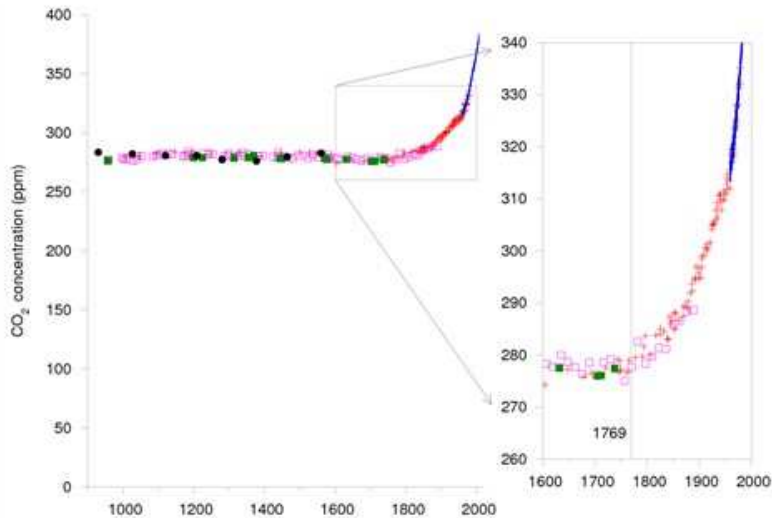
Duurzame economische groei heeft consequenties voor ons energiegebruik en de uitputting van onze grondstoffen en is onverenigbaar met het vinden van een duurzame oplossing. De groei van onze welvaart heeft diverse effecten op de Aarde. Fig. 11 toont enkele ervan [8]. Naast de groei van de wereldbevolking en het globale bruto nationaal product, zien we een toename van de CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer, stijging van de oppervlakte temperatuur, verlies van tropisch regenwoud, gebruik van water en consumptie van bijvoorbeeld papier. Het verbranden van fossiele brandstoffen leidt tot CO<sub>2</sub> in de atmosfeer. Men kan hier sceptisch over zijn, maar als men naar de meetgegevens kijkt, dan moet men wel een grote plank voor de kop hebben,

<sup>6</sup>Het WWF of World Wide Fund for Nature, in Nederland Wereld Natuurfonds WNF, werd opgericht in 1961 met Prins Bernhard als de eerste president. Het is een van 's werelds grootste natuurorganisaties.



**Figure 11:** Groei van het bruto binnenlands product (GDP) van voor de periode 1750 - 2000.

om niet tot de conclusie te komen dat de  $\text{CO}_2$  concentratie de afgelopen decennia enorm is toegenomen. We tonen de data in Fig. 12. In natuurlijk evenwicht tussen absorptie (met name



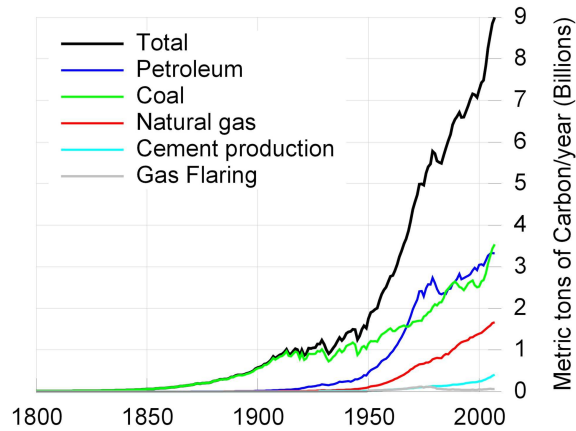
**Figure 12:** Concentratie kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ) in ppm (in delen per miljoen) voor de laatste 1100 jaar. De data zijn van lucht opgesloten in ijs uit boringen (tot 1977) en directe meting in Hawaii (vanaf 1958). De stoommachine wordt door James Watt uitgevonden in 1769. Bron: David MacKay [10].

door de oceanen) en emissie van  $\text{CO}_2$  hebben we een concentratie tussen 260 en 280 ppm (parts per million) voor de laatste 10.000 jaar. Sinds 1850 is de concentratie met ongeveer 100 ppm toegenomen.

Het begin van de stijging in  $\text{CO}_2$  concentratie valt samen met de aanvang van de industriële revolutie. De stoommachine werd door James Watt uitgevonden in 1769 en de productie van steenkool kwam goed op gang rond 1850. Tussen 1769 en 2006 nam de wereldproductie van steenkool toe met een factor 800 en hij neemt nog steeds toe. De emissie van  $\text{CO}_2$  die ontstaat



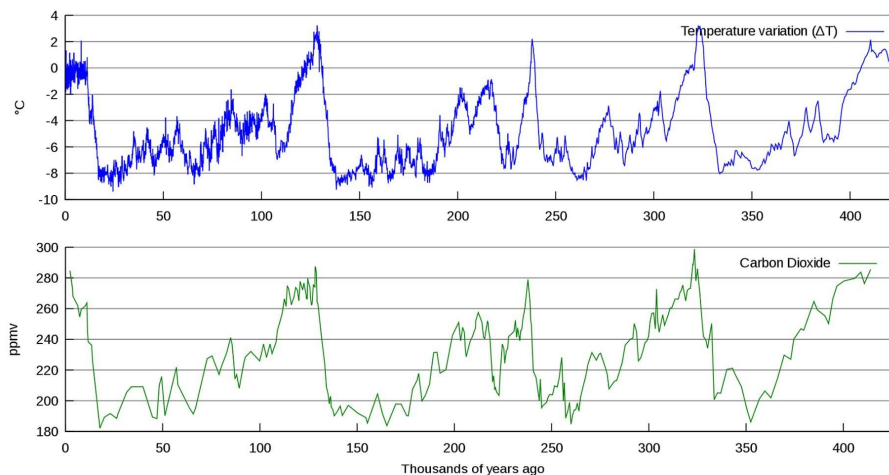
in het verbranden van fossiele brandstoffen wordt getoond in Fig. 13. De emissie wordt gemeten



**Figure 13:** *Emissie van CO<sub>2</sub> die ontstaat in het verbranden van fossiele brandstoffen. De emissie wordt gemeten in miljarden ton koolstof per jaar.*

in miljarden ton koolstof per jaar. We hebben het over de emissie CO<sub>2</sub>, maar we praten over de emissie koolstof. De 9 miljard gigaton koolstofemissie in 2010 komt overeen<sup>7</sup> met 33 miljard gigaton CO<sub>2</sub>.

Het probleem met de CO<sub>2</sub> in de atmosfeer is dat het invloed heeft op de temperatuur van onze planeet. Dit verband heet het broeikaseffect en wordt voorspeld door diverse klimaatmodellen. We kunnen het ook experimenteel beschouwen. Fig. 14 toont de concentratie van CO<sub>2</sub> (in ppm)



**Figure 14:** *Concentratie van CO<sub>2</sub> in ppm en gereconstrueerde temperatuur voor de laatste 420.000 jaar bepaalt met ijskernen uit Vostok, Antarctica.*

in de atmosfeer en een gereconstrueerde temperatuur voor de laatste 420.000 jaar. Deze data komen van de analyse van lange ijskernen, die van Vostok in Antarctica. De data tonen de correlatie tussen kooldioxide concentratie en temperatuur. Een verandering van ongeveer 100 ppm

<sup>7</sup>CO<sub>2</sub> bestaat uit 1 koolstofatoom met molecuulmassa 12 en twee zuurstofatomen met molecuulmassa 16. CO<sub>2</sub> heeft dus een molecuulmassa van 44 (= 12 + 2 × 16). De conversie van koolstofemissie naar die van CO<sub>2</sub> is dus een factor 44/12 = 3,7.

in concentratie gaat gepaard met een verandering van 5 tot 8° C in temperatuur. Onze meest geavanceerde klimaatmodellen<sup>8</sup> voorspellen dat een verdubbeling van de CO<sub>2</sub> concentratie zal leiden tot een wereldwijde temperatuurstijging van ongeveer 3° C. Dit is niet wenselijk (dat is een understatement) en zal leiden tot het smelten van de ijskap op Groenland en vervolgens tot een stijging van de zeespiegel van ongeveer 7 meter. Omdat dergelijke temperaturen honderdduizenden jaren niet zijn voorgekomen op Aarde vreest men dat er verschillende positieve-feedback effecten kunnen zijn. Om een voorbeeld te noemen: een toename in de temperatuur zou kunnen leiden tot het vrijkomen van methaan dat nu in bevroren toestand is opgeslagen in de Siberische permafrost. Methaan is meer dan 20 keer effectiever als broeikasgas dan CO<sub>2</sub>, waardoor de opwarming versterkt en versneld kan worden.

In het volgende proberen we duurzaamheid en dan met name duurzame energie objectief te bekijken. Het betreft een giga-vraagstuk en we zullen zien dat goedbedoelde adviezen als het gebruik van spaarlampen en de TV niet op standby laten staan, niet de meest belangrijke zaken zijn. De continuering van onze lifestyle en beschaving staat op het spel. Ons energiegebruik is astronomisch en het is echt geen zaak van alle kleine beetjes helpen! Er dient een plan voor Nederland te komen en in het volgende zullen we een opinie over deze zaak ontwikkelen. Iedereen mag een andere mening hebben, zolang het voorstel maar een reële oplossing biedt en gestoeld is op harde feiten.

---

<sup>8</sup>De IPCC voorspelde in 2001 dat de wereldwijde temperatuur zou stijgen tussen 1,4 en 5,8°C in de periode 1990 - 2100. Voor 2050 werd een stijging voorspeld van 1,0 - 1,8°C en een CO<sub>2</sub> concentratie van 475 - 575 ppm.