

# Welgekomen Energieomwenteling

Aviel Verbruggen<sup>1</sup>  
[www.avielverbruggen.be](http://www.avielverbruggen.be)

21 december 2020

## Inhoud

1. Energiegrondvesten: zonder energie beweegt niets .....	2
1.1 Wetenschappelijke definitie van energie .....	2
1.2 Energie vanuit verschillende perspectieven .....	2
2. Energie & Beschaving .....	4
3. Dynamische Energiesystemen.....	6
4. Tektonische veranderingen.....	7
4.1 Elektriciteit (+ waterstof) als belangrijkste energiedragers .....	7
4.2 Vele hernieuwbare energiebronnen leveren elektriciteit.....	9
4.3 Fossiele brandstoffen in de grond houden .....	10
4.4 Atoomkernenergie uitdoven .....	11
5. Energieomwenteling en klimaatbeleid .....	14
Referenties .....	15

---

<sup>1</sup> Deze tekst is aanvullend bij een lezing over energietransformatie. De pptx met notes kan je vragen via [aviel.verbruggen@uantwerpen.be](mailto:aviel.verbruggen@uantwerpen.be)

Een belangrijke doelstelling van klimaatbeleid is snelle en drastische vermindering van de uitstoot van broeikasgassen, in het bijzonder CO<sub>2</sub> en methaan van fossiele brandstoffen, verantwoordelijk voor ca. driekwart van de CO<sub>2</sub> emissies. De mondiale temperatuur toename beneden 2°C houden vergt de reductie van deze Carbon emissies tot zero, hetzij [Ce = 0]. Alleen een energieomwenteling kan deze nul-emissie realiseren, in nauwe wisselwerking met maatschappelijke omwentelingen. Dit hoofdstuk biedt een bezoek aan enkele energie grondvesten (sectie 1), toelichting van de wisselwerking energie & beschaving (sectie 2), en dynamische energie (sectie 3). Sectie 4 belicht vier tektonische veranderingen: elektriciteit als cruciale energiedrager (4.1), hernieuwbare elektriciteit (4.2), fossiele brandstoffen in de grond houden (4.3), en atoomkernenergie uitdoven (4.4). Sectie 5 verbindt energieomwenteling met klimaatbeleid in de context van duurzame ontwikkeling. Vier figuren prenten enkele hoofdgedachten in. Deze korte tekst behandelt selectief enkele krachtlijnen van de energieomwenteling. Volledige uitwerking beslaat boekdelen.

## 1. Energiegrondvesten: zonder energie beweegt niets

Energie is een altijd aanwezige en werkende metgezel van de mens, soms luid en onstuimig, meestal stil en onzichtbaar. Wetenschappelijke en maatschappelijke kennismaking met energie is geen tijdverlies.

### 1.1 Wetenschappelijke definitie van energie

Energie komt voor in veel gedaanten, met telkens andere namen zoals: warmte, kracht, licht, aardolie, elektriciteit, enz., met ook afzonderlijke eenheden zoals: calorie, joule, lumen, ton-olie-equivalent, kilowattuur. Hoewel veel gedaanten, is er maar één energie, en wat is dan 'energie' precies? Op deze vraag zal je veel antwoorden krijgen, maar zelden het juiste, want energie laat zich niet vatten in een korte omschrijving. Voor een wetenschappelijke definitie zijn axioma's nodig:

- (i) Alles bevat energie, dus energie is overal aanwezig;
- (ii) De energie van een geheel is de som van de energie aanwezig in haar delen;
- (iii) Energie/massa is niet maakbaar en niet vernietigbaar, wel converteerbaar in andere gedaanten;

(iv) Energieconversie en overdracht verminderen de bruikbaarheid ervan, ook genoemd kwaliteitsverlies of entropietoename.

Conversie en overdracht zijn echter nodig om energie nuttig te bekomen in de vereiste vorm, op de plaats en op het moment van gebruik.

De axioma's volstaan voor de wetenschappelijke verklaring van alle diverse energieverschijnselen. Ze maken energieboekhouding en berekeningen van energieconversie, -overdracht, en -efficiëntie sluitend. Dit onderbouwt de ontwerpen van technieken en toestellen om de vele vragen naar energie voor comfort, werk, verplaatsing, ontspanning, e.d. te voldoen. Energie bekleedt een centrale plaats in vele wetenschappelijke disciplines zoals fysica, chemie, biologie, met veel ingenieuze toepassingen.

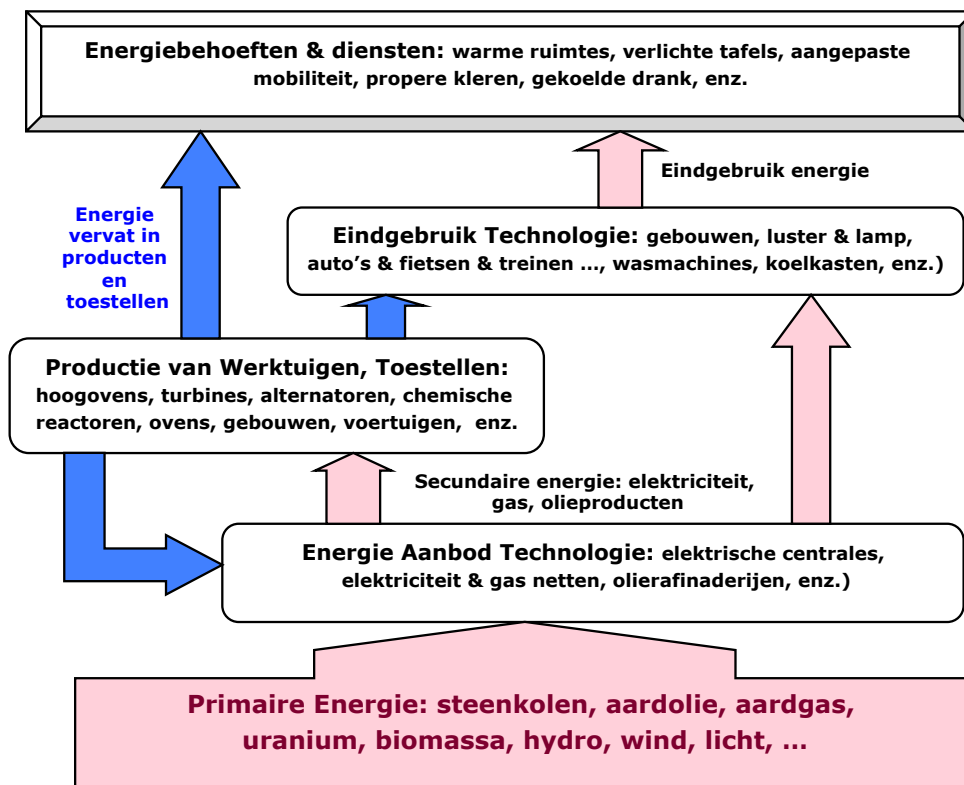
### 1.2 Energie vanuit verschillende perspectieven

De fysische wetten gelden ook in de energieomwenteling. Technologieën voor ontsluiting van energiebronnen, energieconversie, overdracht, gebruik zijn verscheiden. Sommige zijn geheel gekend en steriel (verbrandingsprocessen, atoom reactoren), andere zijn nieuw en dynamisch (elektronica voor PV, nieuwe materialen voor windturbines, ICT voor het sturen van elektrische stromen). Dit geldt ook voor denkkaders en lenzen waarmee wetenschappers, overheden, burgers, bedrijven, ... energiebronnen en technologie bekijken, voorstellen en verdedigen, zoals de drie volgende kaders:

a) Het *techno-economisch kader* in het tijdperk van de fossiele brandstoffen. Dit begon met stoommachines die warmte converteren in kracht. Vandaag komt de meeste elektriciteit nog uit warmtestromen van kolen-, gas-, atoomkern-

centrales. Het kader legt de klemtoon op primaire energie om de industriële maatschappij draaiend te houden. Lovins (1976) typeerde de situatie in de 1970s als een waarbij beleidsmakers 'meer olie, gas, steenkolen, uranium' als antwoord gaven, zonder beseft welke energie waartoe nodig was. Veranderingsdenkers namen energiebehoeften en diensten als uitgangspunt (figuur 1). Zo heeft een comfortabel gebouw niet veel primaire energie als het energiepassief is bedacht; duurzame mobiliteit geeft prioriteit aan wandelen, fietsen, openbaar vervoer, met de auto als aanvullend middel. Deze inverse probleemstelling tekent een energievoorziening anders en veel efficiënter dan de bestaande.

Figuur 1: Energiebehoeften & diensten als uitgangspunt voor de opbouw van energielevering systemen



b) Een *omvattende energiecataloog* ruimer dan op de markt verhandelde, geprijsde energiestromen. De meeste energie voor een aangenaam leven op aarde krijgen we iedere dag gratis van de zon: daglicht, warmte & koelte binnen behapbare temperaturen, ventilatie, planten via fotosynthese, hemelwater na verdamping van het water door de zon, ... Deze feiten zijn verdoezeld door het beperken van de aandacht tot energie waar geld mee gemoeid is, bijgevolg gemeten en zichtbaar gemaakt in rekeningen en winsten. De rijkste en meest invloedrijke multinationale ondernemingen verkopen olie, gas, elektriciteit. Tussen de genereuze zon-aarde en de \$triljoenen van de energie business, zijn er nog twee energiecategorieën. Een is de *somatische* energie van het menselijk lichaam, alias geest, via voedselconversie in chemische en energetische processen. Het lichaam is een bescheiden energieleverancier, maar veelzijdig en intelligent. Als gebouwen en steden deze vele leveranciers ruimte geven, is een pak minder commerciële energie nodig. Twee is de commerciële energie door huishoudens en gemeenschappen met mate geoogst uit energiestromen in de omgeving, meestal voor zelfgebruik, bijvoorbeeld met een zonneboiler, PV-

elektriciteit, plaatselijke biomassa. Dergelijke decentrale energiewinning is van groeiend belang.

c) De *volledige kostenrekening van commercieel energiegebruik* overstijgt vele keren de betaalde \$bedragen. Bijvoorbeeld aardoliebronnen aanboren vergt zware investeringen. Het gas dat bij veel bronnen vrijkomt wordt geloosd, afgefakkeld, of soms opgevangen, vloeibaar gemaakt en verkocht. Pijpleidingen en reuzentankers brengen de olie naar raffinaderijen. Het brede gamma producten van de raffinaderijen noodzaakt distributiesystemen (opslag, pijpleidingen, schepen, vrachtwagens, tankstations voor autobrandstoffen). Accidenten in de schakels van de bronnen tot de gebruikspunten brengen schade toe aan natuur, milieu, en mens (bv. gestrande oceaantankers die het marine leven en de kusten vervuilen).

Aardolie levert energie via verbranding of ontploffing (in automotoren). Deze processen converteren olie (C-H koolwaterstoffen) en luchtmoleculen (stikstof N<sub>2</sub> en zuurstof O<sub>2</sub>) in vele andere moleculen, zoals producten van onvolledige verbranding, fijn stof, roet, stikstofoxides, ... en ook koolstofdioxide CO<sub>2</sub>, het meest uitgestoten, langlevend broeikasgas. De conversies behouden de hoeveelheid massa/energie: 1 ton olie verbranden stoot ca. 3 ton CO<sub>2</sub> uit; de kwaliteit van de olie daalt tot afvalwarmte.

In een financieel gedreven economie en maatschappij is storten van het afval van processen en activiteiten de geliefkoosde oplossing. De schade aan de atmosfeer, en de risico's van onomkeerbaar verlies van een mild klimaat en verbonden ecosystemen, zijn niet in \$triljoenen te vatten. Deze staan op het conto van de oliegebruikers die hun schulden niet betalen, doch het verhaal van '*goedkope olie*' in stand houden. Steeds sneller dringt het door tot steeds meer mensen dat dit verhaal niet klopt, en dat we aardolie en andere fossiele brandstoffen zo snel mogelijk moeten laten laten waar de natuur ze heeft gestopt: onder de grond.

## 2. Energie ⌘ Beschaving

Energie en het gebruik ervan vormen het substraat van beschavingen: beide zijn innig verbonden en verweven. Enerzijds geven mensen door vindingrijkheid en investeringen vorm aan energiesystemen. Anderzijds verhogen energiesystemen de reikwijdte en -hoogte van menselijke activiteiten. Even ver terug in de tijd: de mens heeft zich onderscheiden van andere zoogdieren door de controle over het vuur. Vuur beheersen was cruciaal voor voedselbereiding, ziektebestrijding, bescherming tegen roofdieren, cultuur (bv. verven van textiel), industrie (bv. potten bakken, brons en ijzer winnen en smeden). Het temmen van honden voor het jagen, waken, bewaken van de kuddes en getemde lastdieren waren belangrijke stappen, eveneens het gebruik van medemensen als slaven.

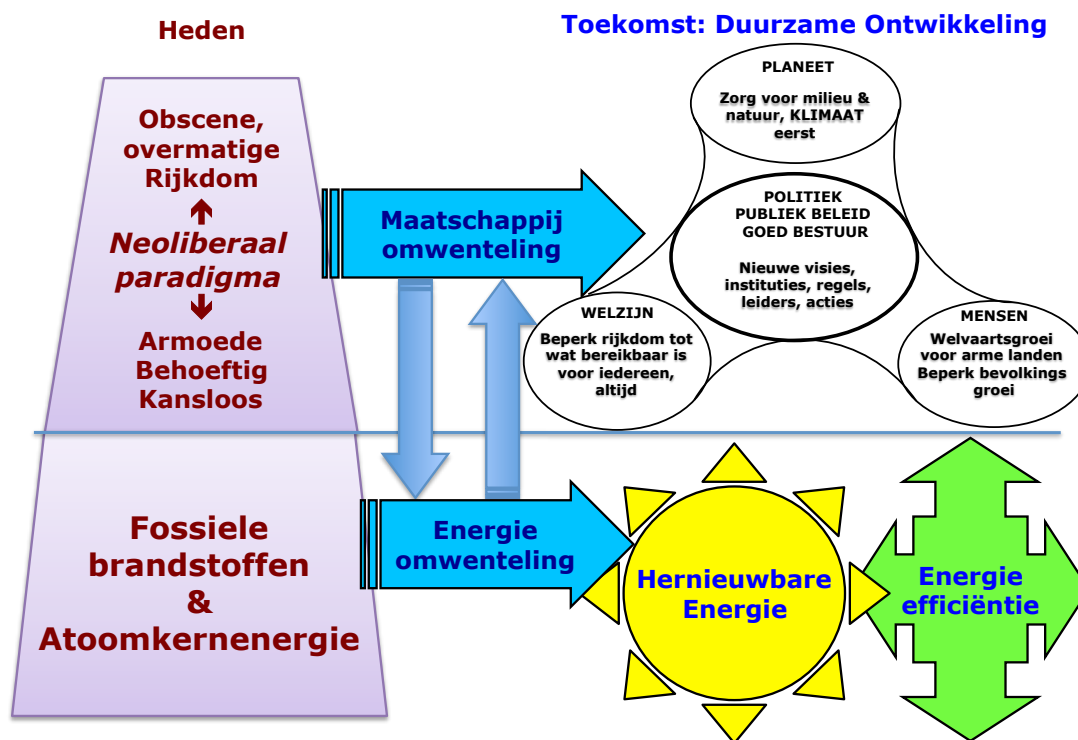
Energiegebruik combineert energiebronnen met techniek. Bijvoorbeeld: bij het optillen van een gewicht door een persoon is het lichaam de techniek; voor zware zaken breidt de persoon zijn lichamelijke techniek uit met een hefboom, met een hydraulisch werktuig, en verder met een kraan op non-somatische energie. Deze energie komt uit natuurbronnen met technieken bewerkt om beschikbaar te zijn in de juiste vorm, plaats, en moment voor een specifiek eindgebruik. De technieken ontwikkelen en wijzigen het energiesubstraat in wisselwerking met de erop gebouwde samenleving.

De voorbije energiegeschiedenis omvat dusver twee grote periodes. De *eerste* periode loopt van het ontstaan van homo sapiens tot het einde van de 18<sup>de</sup> eeuw, waarin mensen met toenemende ervaring en kennis steeds meer energie uit de natuur betrokken (bv. waterrad, windmolen, zeilschip). Einde 18<sup>de</sup> eeuw begint de *tweede* periode met de omzetting van warmte in stoomkracht, einde 19<sup>de</sup> eeuw aangevuld met inwendige verbrandingsmotoren en met elektriciteit gewonnen uit stoom, deels uit waterkracht. Fossiele brandstoffen werden commercieel de belangrijkste primaire energiebron, met een beetje atoomkernenergie vanaf de

jaren 1950. De technieken van de 18<sup>de</sup>, 19<sup>de</sup> en eerste helft 20<sup>ste</sup> eeuw waren primitief, en de efficiëntie van energieconversie ontzettend laag. Na WOII zijn de technieken sterk verbeterd tot nabij de fysische (dikwijls lage) plafonds van efficiëntie. Het gebruik van fossiele brandstoffen gaat gepaard met veel kapitaal- en energie-intensieve installaties (sectie 4.1).

De *derde* periode vangt aan met de 21<sup>ste</sup> eeuw, en neemt de draad op van de eerste periode: energie oogsten uit de omgeving met directe technieken zoals windturbines en PV lichtcellen, stijgend in efficiëntie en dalend in kostprijs. In het jaar 2018 overtroeven wind en PV technisch-economisch de elektriciteitswinning uit fossiele brandstoffen (IRENA 2020). Er is geen ontkomen aan de energie omwenteling van de derde periode, maar de belangen van de tweede periode ruimen niet zomaar plaats voor de nieuwkomers.

Figuur 2: Energiesystemen als substraat van maatschappij ontwikkelingen en omwentelingen



Figuur 2 toont de structuur energie-substraat  $\bowtie$  beschaving-bovenbouw voor de toestand 'Heden' (einde tweede periode) en 'Toekomst' (derde periode). Het neoliberale paradigma domineert nu nog de samenleving: Bentham's idee van maximale materiële welvaart voor zoveel mogelijk mensen is uitgemond in overmatige rijkdom voor minder dan 10 % van de wereldbevolking en obscene rijkdom voor de 1 %. De helft van de mensheid is echter arm, behoeftig tot kansloos. Fossiele brandstoffen en atoomkernenergie vormen het substraat van dit groeimodel. De energieomwenteling creëert een substraat van hernieuwbare energie (vnl. elektriciteit uit wind, zon, water stromen) en optimale energie-efficiëntie<sup>2</sup>. De corresponderende bovenbouw is Duurzame Ontwikkeling (DO),

<sup>2</sup> Beide zijden van de energietoekomst zijn even belangrijk, en staan in wisselwerking. Energie-efficiëntie bespreken vergt minstens een bijkomend artikel.

hier samengevat in haar vier hoofddimensies, met centraal "Politiek, Publiek beleid". Dit staat tegenover de neoliberale opvatting van de markt als centrale factor, met politiek beleid ten dienste van de zogenaamde vrije marktwerking. Hoewel sterk verstrengd, loopt energieomwenteling licht voor op maatschappij-omwentelingen die omvattender en armlastiger zijn. Energieomwenteling is technisch-economisch gemakkelijker te realiseren met goed gerichte economische instrumenten zoals heffingen en subsidies, prestatie-eisen voor technieken en activiteiten, prijszetting van elektriciteit. Maatschappij-omwenteling is sociaal-economisch-politiek-ideologisch in een arena van tegengestelde belangen, visies, achtergronden, overtuigingen, ... waarbij consensus smeden moeilijk ligt. Op energievlak is de uitdaging de jaarlijkse ca. 12 miljard ton olie equivalent aan fossiele brandstoffen met ca. 36 miljard ton jaarlijkse CO<sub>2</sub> uitstoot naar praktisch 0 te herleiden op korte termijn. De emissies namen t.e.m. 2019 mondiaal echter nog toe, met als gangbare beeldvorming in het neoliberale paradigma: *"wanneer de huidige generaties de emissies verminderen, brengen ze offers voor de toekomstige generaties"* (Aldy & Stavins 2006). Dit beeld aanvaardt dat de nu levende (rijke) mensen privileges op het lozen van broeikasgassen bezitten, en zich zo de mondiale commons atmosfeer en klimaat toeëigenen. Een betere naamgeving voor broeikasgasemissies is *"Gasvormig zwerfvuil"*, want vervuilers gooien ze in de atmosfeer zonder om te zien. De naamgeving zet de probleemstelling recht, en het eruit volgende beleidsantwoord: *"zwerfvuil is een misdrijf, en wie op zwerfvuil wordt betrapt, heeft minstens twee verplichtingen: (1) Stop onmiddellijk met zwerfvuil te verspreiden, en (2) Kuis de al veroorzaakte vervuiling op"*.

### 3. Dynamische Energiesystemen

Energiesystemen zijn veranderlijk en veranderbaar. Sociale wetenschappers ontleden energietransities in drie lagen: niches, regimes, landschappen (Verbong en Loorbach 2012). Dit schema is zeer populair en behulpzaam in de studie van voorbije transities, maar lijkt moeilijk inzetbaar voor toekomstgericht beleid, geconfronteerd met veranderingen die verbreden en verdiepen, en transities muteren in omwentelingen. De overgang van energieperiode 1 naar periode 2 in de 18<sup>e</sup> en 19<sup>e</sup> eeuw was een totale omwenteling, maar we beleven nu nog radicalere omwentelingen in de overgang naar periode 3 waarin hernieuwbare energie en energie efficiëntie het substraat vormen.

Na WO II stond energietransitie herhaaldelijk in het middelpunt van de publieke aandacht. In de jaren 1950-60 zou atoomkernenergie snel de fossiele brandstoffen (steenkool) vervangen voor stoomproductie in elektrische centrales. Deze aangekondigde transitie is gestrand in technische en economische problemen, accidenten en catastrofes, en hoge risico's door de verspreiding van atoomtechnologie en kennis. Hoewel de feiten goed controleerbaar zijn, blijven ze onderbelicht in het energiedebat vandaag.

De oliecrisis van 1973 en 1979 werden getemperd niet door de expansie van atoomkernenergie maar door energie-efficiëntie technologie en praktijken, met een schuchter begin van hernieuwbare energie (HE). Het overaanbod van onduurzame energie-opties (atoomkernenergie, aardgas, aardolie) in de jaren 1980 fnuikte de ontwikkeling van efficiëntie en HE. Echter, Deense en Duitse beleidsmakers, wetenschappers, innoverende ondernemers, lokale overheden, cooperatieven, huishoudens, ... verhoogden hun inspanningen om efficiëntie en HE technologie verder te ontwikkelen. Via een slim industrieel model en met op maat gesneden financiële steun brachten ze wind en PV in snelvaart tot marktrijpheid. In Duitsland werd daarbij de sterke tegenwind van de nucleaire lobby en van de chemische grootindustrie overwonnen. In 2011, na de Fukushima catastrofe, koos Duitsland definitief voor de uitfasering van atoomkernstroom, en in 2018 deze van kolenstroom, om zo energieperiode 3 vorm te geven.

Energietransities zijn van alle tijden en waren meestal het resultaat van spontane en vrijwillige initiatieven omdat ze vooruitgang brachten, zoals lichtere arbeid, meer comfort, verder bereik, culturele en economische diversiteit, ...

Omwentelingen zijn gekenmerkt door drastische ingrepen, zoals opheffing van het slavenrijk in het Romeinse rijk (3<sup>de</sup> eeuw) en de doorbraak van stoomkracht (18-19<sup>de</sup> eeuw). In de 20-21<sup>ste</sup> eeuw is echter een dwingende, dringende energieomwenteling aan de orde omdat klimaatverandering omslaat in onomkeerbare klimaatvernietiging, met onomkeerbare degradatie van milieu en natuur waarden, uiterst risicovol voor menselijk leven op aarde. De gedwongen energieomwenteling is een uitdaging die belangrijke opportuniteiten inhoudt voor Duurzame Ontwikkeling met een rechtvaardiger, vreedzamer, hoogstaander samenleven van de diverse mensheid.

## 4. Tektonische veranderingen

De derde periode energieomwenteling is een kluwen van vier ingrijpende veranderingen gedreven door verschillende krachten, stimulerende en remmende. Twee krachten ontrollen de nieuwe energierealiteit, terwijl twee verdwijnende energie-opties zich hardnekkig verzetten tegen de noodwendige toekomst.

### 4.1 Elektriciteit (+ waterstof) als belangrijkste energiedragers

Elektriciteit als energiedrager begon aan een onweerstaanbaar groeipad in de jaren 1880, eerst in de steden van de industrielanden, tot ver in de 20<sup>ste</sup> eeuw op het platteland, nu over de gehele wereld. Elektriciteit is geen energiebron tenzij als brandgevaarlijke statische elektriciteit en bliksems. Elektriciteit is een drager van energie geschikt voor veel toepassingen (licht, kracht, warmte,...), en het gebruik ervan veroorzaakt nul emissies.

Elektriciteit is een stroom, eerder een 'verschijnsel' dan een 'product', gemeten met twee variabelen: momentaan vermogen (Watt = Joule/seconde) en periodiek geaggregeerde energie (kiloWattuur). Vermogen gevraagd door klanten varieert met het aantal elektrische toepassingen in werking. Bij huishoudens is het een op- en neergaande curve tijdens een etmaal, met lage afname in de nachturen tot het dagelijkse leven begint. Met nieuwe technologie wordt de momentane afname meer stuurbaar. Elektrische energie is de som van variabel gebruikt elektrisch vermogen over een tijdspanne (uur, dag, maand, jaar).

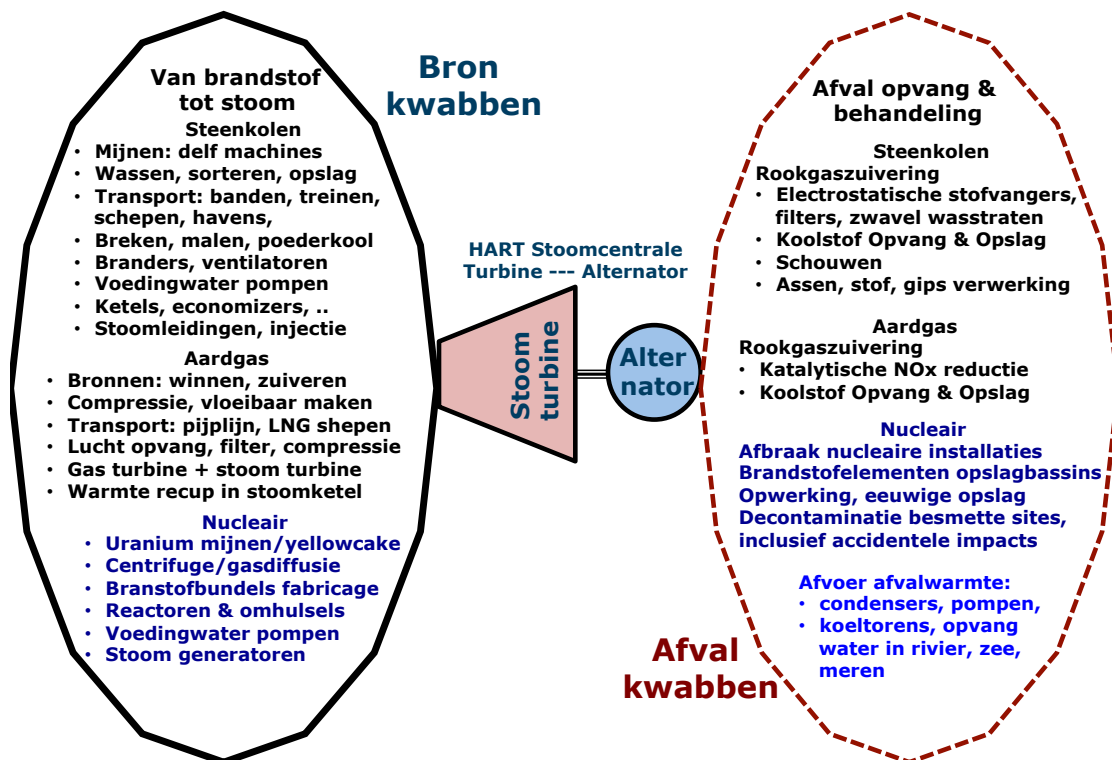
Stroom is niet stockeerbaar, dus ook elektriciteit niet. M.a.w. 'stockage van elektriciteit' noodzaakt een dubbele omzetting: (1) van elektrische stroom in een stockeerbare energievorm (chemische energie in een batterij; potentiële energie van water in een hooggelegen reservoir; waterstof in een tank); (2) omzetting van de opgeslagen energie naar elektrische stroom.

Transmissie en gebruik van elektriciteit verlopen efficiënt met weinig emissies, tenzij omstreden elektromagnetisme. De problematische kant van elektriciteit is haar opwekking zolang thermische centrales het leeuwendeel van ca. 75 % (IEA 2020, p.27) vertegenwoordigen. Het zijn doorgaans grote centrales met stoom of gasturbines die een as doen draaien waarop een alternator stroom opwekt. De turbines draaien door energie uit oververhitte stoom of verhit samengeperst gas (meestal aardgas). Ketels op fossiele brandstoffen (vooral steen- en bruinkolen) of nucleaire reactoren leveren hogedruk hete stoom voor de turbines. Aan de uitlaat van de turbine is koeling nodig om de uitgewerkte stoom te condenseren. Uitlaatgassen van gasturbines kunnen stoom opwekken voor een nageschakelde stoomturbine of worden gedumpt in de atmosfeer. Het rendement van primaire energie tot elektriciteit van thermische centrales is beperkt: 35 % voor atoomkernenergie, 46 % voor geavanceerde kolencentrales, tot 60 % voor gas- en stoomturbine combinaties. Het bereiden van de hogedruk stoom en het afvoeren van de uitgewerkte stoom en van de restproducten vereisen omvangrijke installaties en activiteiten, aangeduid als kwabben in figuur 3.

Voorafgaand aan de thermische centrale, dient brandstof gezocht, gewonnen, gezuiverd, getransporteerd (over grote afstanden), opgeslagen, geraffineerd, behandeld voor gebruik in ketels en reactoren. Iedere stap in de brandstofcyclus gaat gepaard met energiegebruik, vervuiling, afval, en risico's.

Fossiel gestookte elektrische centrales stoten massale hoeveelheden rookgassen uit, een mengsel van schadelijke en gevaarlijke moleculen: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Hg (40 % van alle kwikemissies in de VSA komen van kolengestookte centrales), dioxines, producten van onvolledige verbranding, poly aromatische koolwaterstoffen, roet, stofdeeltjes, ... Behandeling van de rookgassen vergt allerhande installaties en processen met hun eigen afvalstromen. Bovendien spuwen de schouwen grote hoeveelheden CO<sub>2</sub>, waarvan de opvang, behandeling en opslag omvangrijke installaties, veel energie en kosten zouden vereisen (IPCC 2006). Ze zouden de stroom uit een kolencentrale 40 % duurder maken. Deze realiteit maakt koolstofopvang in elektrische centrales al jaren gepraat zonder daad.

Figuur 3: Elektriciteitsopwekking met stoom vergt veel dure en vervuilende installaties aan de bron en afval zijde (onvolledige opsomming)



Atoomkernenergie centrales zijn even omslachtig als fossiele brandstof centrales. Het afval is minder volumineus, maar na 50 jaar belofte is er nog steeds geen behoorlijke oplossing gevonden om dit afval te behandelen of zelfs veilig te bergen. Thermische centrales leggen ook een grote claim op koelwater. Door de hogere temperaturen en de droogte gedurende de laatste jaren, dienden Franse atoomkerncentrales de productie terug te schroeven door tekort aan koelwater op de rivieren.

Figuur 3 geeft een visueel beeld waarom thermische elektriciteitsproductie geen toekomst heeft: de kwabben zijn omvangrijk, vervuilend, duur, ... en veroorzaken grote stromen CO<sub>2</sub>. Voor de rol van belangrijkste energiedrager moet elektriciteit



op zoek naar niet-thermische energiestromen, tenzij waar hoge temperatuur stoom uit de bodem beschikbaar is (geothermie in IJsland, Californië, e.a.).

#### 4.2 Vele hernieuwbare energiebronnen leveren elektriciteit

De tweede component van de energieomwenteling is de gehele overschakeling van onduurzame naar hernieuwbare energie, vooral naar elektriciteit uit windstromen, lichtgolven en waterlopen (Agora Energiewende & Sandbag 2020). Deze technieken zijn vrij van kwabben want hernieuwbare stromen komen uit de natuur, geven een deel van hun energie aan de mens, en vloeien verder in de natuur. De technieken om stromen te oogsten verbeteren voortdurend en dalen in kostprijs. De factoren die deze ontwikkeling begunstigen, zijn:

- (1) Hernieuwbare energie technologie kon en kan surfen op talrijke nieuwe technologische vondsten en verbeteringen, zoals electronica (vooral PV), nieuwe materialen (vooral windturbines), ICT voor sturing van turbines en van eindgebruik, batterijen die beter presteren en in prijs dalen, e.d.
- (2) De technologische ontwikkeling is nog in volle ontwikkeling, en verdere toename van de efficiëntie en daling van de kostprijs zijn verzekerd (IRENA 2020).
- (3) Vooruitziende politici en wetenschappers hebben mechanismen toegepast om hernieuwbare energie projecten van huishoudens, kleine bedrijven, coöperatieven, landbouwers,... te steunen om zo de markt en technologische ontwikkeling te stimuleren. Denemarken en Duitsland waren de koplopers.

Sinds de eeuwwisseling stijgt het aantal deskundigen die de overschakeling technisch en economisch mogelijk achten. IPCC (2012) besluit dat hernieuwbare energie alle energiediensten voor alle mensen op aarde kan leveren. IRENA (International Renewable Energy Agency) is nu de belangrijkste informatiebron over de ontwikkeling van hernieuwbare energie. IRENA (2020) rapporteert hernieuwbare kWh prijzen in 2019, structureel lager dan deze van thermische centrales op fossiele brandstof (publieke kosten en risico's op conto van de onduurzame opties niet meegeteld).

Energiesystemen met als ruggegraat elektriciteit hoofdzakelijk geogst uit natuurlijke stromen, staan voor belangrijke uitdagingen omdat elektriciteit niet stockeerbaar is en natuurlijke stromen zich niet laten commanderen door de mens. Als oplossingen gelden: het beter beheersen en sturen van de vraag naar elektriciteit; interconnectie van elektrische netten; opslag van energie in batterijen, waterreservoirs, e.a. en in waterstof; redundantie<sup>3</sup> in capaciteiten omdat ze erg goedkoop worden (vnl. zonnecellen). Het zijn technisch oplosbare problemen, minuscule in vergelijking met nucleair afval en met een atmosfeer overbelast met broeikasgassen en vervuilende stoffen.

De meest prangende vragen inzake de duurzame energiesystemen van de toekomst zijn politiek-economisch van aard: blijven multinationals top-down gecentraliseerde elektrische systemen domineren? Of krijgen lokale producenten voorrang met een aanvullende rol voor de centrale systemen? Voor een mondiale duurzame ontwikkeling is de tweede optie best, maar afhankelijk van politieke keuzen en van uiterst deskundige regulatoren om de balans tussen decentrale en centrale elektriciteitsproductie in te stellen en te bewaken. Nu de elektriciteit in toenemende mate uit windstromen, lichtgolven en waterlopen zal komen, is ook de economische theorie van elektriciteitsvoorziening toe aan herziening (Verbruggen 2020).

De overschakeling naar hernieuwbare energie biedt veel kansen en significante verbeteringen voor het leven van talrijke mensen: hernieuwbare energie (samen

---

<sup>3</sup> Redundantie is hoog in de vloot van auto's: de laadfactor van de leverbare vermogens onder de motorkappen is enkele % (een personenwagen is duurder dan een zonnedak, en sneller versleten). Preferenties van mensen hebben een grote impact.

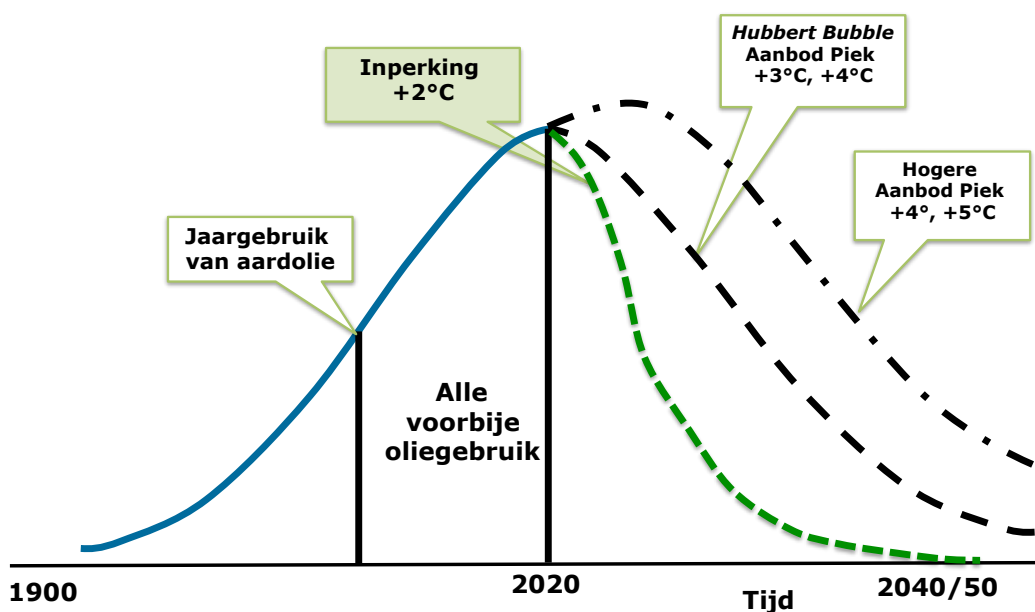
met efficiëntie) is het natuurlijke substraat voor de mondiale Duurzame Ontwikkeling (figuur 2).

De derde en vierde veranderingen betreffen het beëindigen, opdoeken en opkuisen van onduurzame energiesystemen, nu nog van overwegend belang. Ze blijven gesteund door verhalen dat ze goedkoop zijn en omdat ze onmisbaar zijn voor het neoliberale groeimodel. Gevestigde energiebelangen beïnvloeden politieke kringen in de VSA, VK, Rusland, olieproducerende landen, e.a. Veel van de investeringen in energiesystemen slopen ze op, hoewel hun aandeel krimpt. De vele klimaatacties gericht op investeerders en fossiele brandstof bedrijven boeken resultaat.

### 4.3 Fossiele brandstoffen in de grond houden

De oliecrisis van 1973 en 1979 werden gezien als een probleem van uitputting van oliebronnen en voorspelde tekorten voor de groeiende economieën. Het uitputtingsverhaal kreeg vorm in de 'Hubbert Bubble', een klokvormige curve over de oliewinning in de VSA met een spits in 1972, door Hubbert gezien als het jaar waarin het aanbod piekte (peak oil; figuur 4); daarna zou de winning van olie dalen in spiegelbeeld van de eerste helft van de klok (Verbruggen en Al Marchohi 2010). Sinds de jaren 1970 regelmatig voorspelde 'peak oil' vond tot op heden (2019) echter nog niet plaats.

Figuur 4: Inperking oliegebruik ⇔ Aanbod Piek door uitputting oliebronnen, verbonden met mondiale opwarming van +2°C, +3°C, +4°C, +5°C, ...



Een misleidende indicator van schaarste is de R/P (olieReserves/jaarProductie = aantal jaar) gepubliceerd in de jaarlijkse 'BP statistical review of world energy' ([www.bp.com](http://www.bp.com)). De R/P noteerde tussen 40 en 50 jaar in de jaren 1970, toen ik de BP review voor het eerst raadpleegde, en onder de indruk kwam van wat ik als komende schaarste interpreteerde. Echter, 45 jaar later is de olieproductie bijna

verdubbeld en blijft de R/P nog steeds tussen 40 en 50 jaar noteren. Oplossing van het raadsel: R/P is geen indicator van olieschaarste, maar een variabele die meedeelt dat de oliesector is voorbereid om de komende 40 à 50 jaar voldoende olie op te pompen.

Het klimaatbeleid zou fantastisch geholpen zijn indien in de nabije jaren alle fossiele energiebronnen zouden droogvallen. Het tegendeel is waar: er is teveel olie en gas (+ steenkolen) op aarde, die tientallen tot honderden \$miljarden royalties (rentes) opbrengen voor wie ze kan/mag verkopen. De geopolitieke conflicten om olie&gas gaan er niet om de velden van de vijanden te veroveren, maar ervoor te zorgen dat de vijanden geen olie en gas meer kunnen verkopen op de internationale markten. Energie-geopolitiek is best te verklaren vanuit dit teveel: ca.4/5<sup>de</sup> van de aardolie, aardgas en steenkool moet in de bodem blijven, want de atmosfeer is overbeladen met broeikasgassen.

Amerikaanse en Europese oliemultinationals, en bevriende landen als Saoedi Arabië en de Golfstaten, willen het leeuwendeel van de olie kunnen verkopen. De inperking van de olie en gasuitvoer van hun vijanden (Iran, Venezuela, Rusland, Irak, Lybië, ...) gebeurt met embargo's, invasies, en burgeroorlogen (Verbruggen en Van de Graaf 2013). Het laatste is de goedkoopste oplossing voor de legers van de NAVO: de plaatselijke bevolkingen vechten tegen mekaar, en als oorlogstoker moet je enkel nu en dan het vuur oprakelen als er vrede dreigt. Dit bestanddeel van de mondiale energietransitie is het bloedigste deel, maar olie in de grond houden is absoluut noodzakelijk om de [Ce =0] energievoorziening te realiseren. Dit moet dringend gebeuren om ontsprende klimaatverandering te remmen. Verschillende initiatieven komen op gang, zoals 'divest in fossil fuel industries' acties, de Duitse beslissing om elektriciteitsproductie uit steen- en bruinkolen af te bouwen (tegen 2038 weliswaar), de beslissing van de Deense regering (december 2020) om de nationale olie&gas winning uit te doven, anti-mijn acties in Australië. Australië is een land met veel mogelijkheden voor een snelle energieomwenteling, maar gevestigde belangen in de mijnbouw belemmeren vooruitgang.

#### **4.4 Atoomkernenergie uitdoven**

De vierde verandering is de uitfasering van atoomkernenergie, in de jaren 1950 de geprezen uitdager van het fossiele brandstof tijdperk. Het draagvlak voor deze technologie is gekrompen van algemeen in de jaren 1950 naar miniem vandaag, vanwege de risico's, accidenten, catastrofes, hoge investeringskosten, en gebrek aan geloofwaardige toekomstopties. Maar individuen willen hun geprivilegerde posities behouden in wetenschappelijke en administratieve instellingen zoals universitaire departementen, onderzoeksinstituten, IAEA (Internationaal Atoomenergie Agentschap), EURATOM, NEA (Nuclear Energy Agency, OESO), of in de restanten van de atoomkernindustrie. Foratom, het Nuclear Forum, en neo-modernisten ('onwetendheid als deugd') adverteren atoomkernenergie als deel van de [Ce =0] energievoorziening. Hun 'informatie' is propaganda door het verzwijgen van belangrijke feiten en kenmerken van atoomkernenergie (Laes e.a. 2004; Schneider e.a. 2020).

##### *4.4.1 Technische toelichting*

GEN = Generatie van atoomkernenergie technologie. In de EU zijn vier GEN-III+ EPR (European Pressurized Reactor) van 1600 MWe in aanbouw. Flamanville (Frankrijk) en Olkiluoto (Finland) boeken investeringskosten en een bouwduur die drie keer hoger liggen dan de oorspronkelijk geplande waarden (Haas e.a. 2019). In 2018 startten de werken aan twee EPR in Hinkley Point C (VK), gefinancierd door het Franse staatsbedrijf EDF en het Chinese staatsbedrijf CGN. In 2014 regelde de EU Commissie de toelating voor een 35 jaar durende prijsgarantie van £92,5 per MWh voor atoomstroom uit Hinkley Point C, terwijl de MWh marktprijs minder dan de helft daarvan bedraagt (Verbruggen e.a. 2015). Deze enorme

subsidies zullen de belastingbetalers betalen. Het VK heeft nog meer plannen voor de bouw van atoomkerncentrales (Schneider e.a. 2020). GEN-IV betreft de 'snelle neutronen' of kweekreactoren; de hoge temperatuur reactor (voorheen Duitsland, nu China); de SMR (Small Modular Reactors). Het is oprakelen van jaren 1950/80 technologie, uitgebreid getest, toegepast, en verlaten vanwege technische en economische problemen. Enkele feiten over de kweekreactor: na een kernsmelting in de centrale Fermi-1 (Michigan 1966) heeft de VSA tien jaar later de technologie verlaten; Duitsland, België en Nederland investeerden in de jaren 1970/80 ca. €4 miljard in de Kalkar reactor, die niet is opgestart; Frankrijk investeerde ca. €10 miljard in Superphénix, en gedurende 1986-1996 in werking met een capaciteitsfactor<sup>4</sup> van 7,1% als resultaat; uit dienst sinds 1997; de Chinese kweekreactor heeft 26 uur gedraaid in 2011, nadien geen informatie erover; gelijkaardige ervaringen in Japan en Rusland. Ondanks herhaalde mislukkingen in SMR ontwikkeling (Zuid-Afrika als laatste dat er \$miljarden aan verloor), hopen voorstanders van atoomkernenergie erop. Zelfs indien een SMR technisch klaar zou geraken, is het een economisch achterhaalde technologie (zie sectie 4.1 en figuur 3). Plaats vinden voor tientallen/honderden nieuwe SMR in democratische landen is erg onwaarschijnlijk indien de bevolking inspraak krijgt.

GEN-V verwijst naar atoomkernfusie. Het tientallen €miljarden kostende ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) is een fusie-demo project gefinancierd door 35 landen. Binnen 10 à 20 jaar kan blijken of gecontroleerde fusie mogelijk is (de waterstofbom is ongecontroleerde fusie). De installatie van 10 miljoen onderdelen zal niet één kWh elektriciteit voortbrengen. Het 600 MWe transfostation tussen ITER en het elektriciteitsnet is er om de fusiereactie experimenten te voeden. Het ITER prototype bezit geen installaties om stroom op te wekken; de wetenschappers weten ook niet hoe de warmte op te vangen (Jassby 2018). Zelfs indien fysisch mogelijk, de fusiedraak waggelt 50 jaar achter op de realiteit en weegt financieel loodzwaar.

#### *4.4.2 Atoomkernenergie of stroom uit wind, licht en waterlopen*

Elektriciteit is niet stockeerbaar en stroomt ogenblikkelijk van opwekkingspunt naar gebruikspunt, of: stroomopwekking en stroomgebruik moeten op ieder moment in balans zijn. Om de variabele stroomvraag te volgen zijn bijgevolg snel wendbare capaciteiten nodig, zoals stuwdam waterturbines / gasturbines regelbaar in seconden / minuten.

Het opgewekt vermogen van een wind- of zonne-installatie is variabel, deels onvoorspelbaar. Ze zijn niet commandeerbaar om vermogen te leveren, wel snel en eenvoudig uitschakelbaar zoals windturbines kruien, PV panelen afschakelen. Atoomkernenergie centrales zijn duur en log, bedoeld om continu te draaien op maximum vermogen, dus geen bijkomende output mogelijk. Vermogen uitschakelen is de activiteit van atoomkernspitsing in de reactor verminderen. Uitbaters mijden dit om technische en financiële redenen: werkregimes van reactoren zijn best stabiel en een lage capaciteitsfactor maakt atoomstroom nog duurder.

Wind, zon en andere hernieuwbare stromen en atoomkernenergie zijn niet goed wendbaar: beide eisen de eerste plaats voor levering aan het net en de laatste plaats op de afschakellijst. In een elektrisch systeem met een belangrijk percentage wind en zon enerzijds en atoomkernenergie anderzijds botsen de twee opties: voorrang aan de ene ondergraft de rendabiliteit van de andere (Verbruggen en Yurchenko 2017; 2019).

---

<sup>4</sup> Capaciteitsfactor = feitelijk geleverde kWh / maximale kWh indien de centrale continu haar nominaal vermogen levert. Nucleaire eenheden streven naar 90% om de zware investeringen te verantwoorden.

De toekomstige structuur van de elektriciteitsnetten is ook conflictstof tussen atoomkernenergiecentrales en decentrale hernieuwbare elektriciteitproductie. De oude structuur met mastodont centrales is top-down piramidaal. De nieuwe netstructuur moet bottom-up multilateraal zijn. De juiste investeringen in netten, opslagfaciliteiten, digitale sturingen en nieuwe reguleringen voor productie en levering van elektriciteit zijn bepalend voor de [Ce = 0] voorziening. Dit zijn technische, economische, financiële en juridische vraagstukken van prioritair belang. De oude visie *'hernieuwbare elektriciteit integreren in de bestaande systemen'* beschermt de centrale positie van thermische centrales. Waarom moet hernieuwbare energie integreren in een systeem gedoemd om te verdwijnen? De toekomstgerichte visie is: *'Meer dan 80% van de elektriciteit zal komen uit hernieuwbare energiestromen (licht, wind, water), wat verbouwing van de bestaande elektrische systemen vereist, om de variabiliteit en stochastiek van de stromen op te vangen.'* Opties zijn opslag van energie in bv. batterijen, waterreservoirs, waterstof; vraagbeheer; redundantie in capaciteiten; uitwisseling van HE stroom binnen Europa en met naburige regio's.

#### 4.4.3 Georganiseerde misleiding

In juli 2007 financieren grote elektriciteitsproducenten het Nucleair Forum voor de *'nucleaire renaissance'* campagne. Het is slim georganiseerde misleiding (zie box Agnotologie<sup>5</sup>). In maart 2011 kreeg de campagne een zware knak door de Fukushima catastrofe. In de eerste dagen na de catastrofe bleek hoe diep de media geïndoctrineerd waren, bv. G. Monbiot (Guardian) en F. Van den Abeele (DeMorgen)<sup>6</sup>.

#### Agnotologie Nucleair Forum – Saatchi & Saatchi

1. Schep verwarring rond atoomenergie
  - Niemand weet het goed, wij niet, jij niet, wie wel?
  - Niets aan de hand, dus onafhankelijke experts zijn overbodig.
  - *Tegen* zijn is toch dom: hoe kan je tegen iets zijn dat je niet goed weet!
  - *'Voor of Tegen'* is persoonlijke smaak zoets als Pepsi/Coca; wees tolerant!
2. Knuffel hernieuwbare energie als ideale partner
  - In de praktijk eist atoomkernenergie voorrang op hernieuwbare stroom
3. Kies een nieuwe banier
  - Nederige slogan *'Kernenergie is niet dé oplossing, maar er is geen oplossing zonder kernenergie'*
  - Vervangt de vroegere hubris *'te goedkoop om te meten'* atoomkernenergie
4. Construeer een virtuele aanhang
  - *Voor* atoomkernenergie is al wie niet *uitgesproken tegen* is, m.a.w. de zwijgende meerderheid
5. Maak tegenstanders monddood (*'silence opponents'*)
  - Geen debat, geen publiek forum
  - Controleer de media, ook de wetenschappelijke kanalen
6. Verzwijg feiten
  - De vele technisch-economische mislukkingen van bv. kweekreactoren
  - De risico's van atoomkernenergie (accidenten, afval, atoomwapens)
7. Verdwij van publieke fora bij atoomcatastrofes
  - Na Fukushima 11 maart 2011 dook het Nucleair Forum onder tot januari 2012

<sup>5</sup> Study of culturally induced ignorance or doubt: What keeps ignorance alive, or allows it to be used as a political instrument.

<sup>6</sup> <https://www.avielverbruggen.be/nl/publicaties/atoomenergie>

In deze tijden van fake-nieuws en media-dominantie had de campagne veel impact: de feitelijke prestaties van atoomkernenergie blijven verzwegen of vergoelikt, en de publieke opinie wordt misleid met loze beloften. Gamson en Modigliani (1989) filteren de nucleaire propaganda. Om te overleven klamt de atoomkernenergie zich nu vast aan de klimaatzaak, via het mantra van de triptiek '*Hernieuwbare energie, nucleair, koolstof opvang en opslag*' als schijnbaar gelijkwaardige alternatieven om [Ce = 0] te bereiken. Door beïnvloeding van de IPCC rapporten, houdt IAEA de triptiek overeind (Verbruggen en Laes 2015; Verbruggen 2020).

## 5. Energieomwenteling en klimaatbeleid

Energiegebruik is nu de grootste uitstoter van broeikasgassen. De duurzame energieomwenteling naar 100 % hernieuwbare energie is nodig, mogelijk, en wenselijk, bovendien onstuitbaar want hernieuwbare elektriciteit is structureel goedkoper dan stroom uit thermische centrales met dure en milieubelastende bron- en stortkwabben. De zekerheid over de oplossing is geen excuus voor verlamme zelfgenoegzaamheid.

Onomkeerbaar klimaatverlies stijgt gevaarlijk snel door 'Gewoon Voortdoen' want dit 'gewoon' bracht de >400 ppm CO<sub>2</sub>-eq concentratie. In de jaren 2008-2016 bouwden Europese elektriciteitsconcerns nog kolen- en atoomkerncentrales, niet begrijpend dat hernieuwbare energie ook hun toekomst is. Dit veranderde in 2014: het nieuwe business-model geeft voorrang aan grootschalige HE met afremming van kleine HE, en aan versterkte kennis- en datacontrole over geïntegreerde elektrische systemen (uiterst belangrijk in 100% HE voorziening). De EU Commissie schreef staatsteunregels in het voordeel van grootschalige HE projecten (Verbruggen e.a. 2015). Toch zijn de centralistische, energieconcern gecontroleerde transitiepaden geen DO oplossing.

Duurzaamheid van de energieomwenteling is verbonden met het mondiaal karakter van de klimaatverandering. Als 4/5<sup>de</sup> van de mensheid te lang in onduurzame oplossingen verstrikt blijft, dalen de mondiale emissies veel te traag. De dure centrale aanpak en oplossingen zijn misschien door rijke industrielanden betaalbaar. Omwille van DO en mondiaal effectieve emissiesreducties moeten de natuurlijke wind, licht, en waterstromen voorrang krijgen met technieken, systemen, oplossingen geschikt voor alle gemeenschappen, arm of rijk.

Omwentelingen vergen redelijk-radicaal-anders denken, spreken, handelen. *Radicaal* is het paradigma van Duurzame Ontwikkeling in de volle betekenis van 'Our Common Future' (WCED 1987). Echter, neoliberale belangen capteerden het DO verhaal en maakten de inhoud ongevaarlijk voor het 'Gewoon Voortdoen' (Jacques e.a 2008). Ze bezetten de plaatsen op de beslissingsfora en verhinderen radicale ingrepen en beleid. Het helpt niet deze machtsgrepen te vergoelijken of eromheen lopen door DO op te geven. WCED (1987) was een vier jaar durende inspanning om het paradigma te formuleren, met mondiale instemming op de Rio top (1992). Het begrip en volle inhoud van DO heroveren, is nodig als kader voor de omwentelingen die komen.

*Redelijk*: om een stevige muur te vellen is het duwen van duizenden mensen minder effectief en efficiënt dan de beitels en hamers van enkele mensen, of speerpuntacties zijn nodig zoals de snelle transformatie van energiesystemen. Verandering vertrekt van de toestand zoals die is, met mensen zoals ze zijn: wensbeelden verwarren met werkelijkheid is gevaarlijk.

*Anders*: omwenteling is het tegendeel van 'Gewoon Voortdoen': DO denken, spreken, en handelen staan diametraal tegenover de neoliberale norm.

Duurzame energieomwenteling is bevrijdend, versterkt de band natuur-mens en is het draagvlak van DO (figuur 2). De technische en economische condities voor een 100% hernieuwbare energie wereld zijn vervuld (IPCC 2012). Echter, fossiele brandstoffen uitfaseren zal nog veel conflicten, invasies en oorlogen met zich meebrengen. Atoomkernenergie bezwijkt onder het gewicht van haar mislukkingen en catastrofes, met verspilling van miljarden en menselijk kapitaal, en meer atoomafval en risico's. DO oplossingen zijn ruim voorhanden, maar neoliberale belangen spenderen triljoenen aan het gewoon voortdoen. De problemen zijn gekend, maar de antwoorden op de vraag 'Wat te doen?' zijn verscheiden en tegenstrijdig. De metafoor van de omkerende reuzentanker toont veel kapiteins op de brug naar alle kanten wijzend, waardoor in de machinekamer Gewoon-Voortdoen de regel blijft. Dit doorbreken vraagt talrijke specifieke ingrepen. Iedereen kan bijdragen door de eigen activiteiten te herschikken en door deelname in gemeenschappelijke initiatieven. Sommigen hebben grote invloed op activiteiten van anderen, met de verantwoordelijkheid heldere, doordachte DO oplossingen te vinden. De leidraad komt van voorafgaande kritische analyse met resultaten ontstellend en ontluisterend voor Gewoon-Voortdoen, maar nodig en hoopgevend voor DO.

De onvermijdbare en welgekomen energieomwentelingen zijn diepgaander dan deze gebracht door het stoomtijdperk en de fossiele brandstoffen (18<sup>de</sup>-20<sup>ste</sup> eeuwen). DO in de volle betekenis van 'Our Common Future' is het omslagpunt van een verwoestende naar een harmonische houding van de mens tav natuur en medemens.

## Referenties

- Agora Energiewende & Sandbag, 2020. The European Power Sector in 2019: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition. [www.agora-energiewende.de](http://www.agora-energiewende.de)
- Aldy, J.E., Stavins, R.N., eds., 2007. Architectures for Agreement. Addressing Global Climate Change in the Post-Kyoto World. Cambridge: Cambridge University Press, xxvii + 380p.
- Gamson, W.A., Modigliani, A., 1989. Media Discourse and Public Opinion on Nuclear Power: A Constructionist Approach. *American Journal of Sociology* 95 (1): 1-37
- Haas, R., Mez, L., Ajanovic, A. eds., 2019. The Technological and Economic Future of Nuclear Power. Energy Policy and Climate Protection series. Springer VS
- IEA, 2020. Global Energy Review 2020. The impact of the COVID-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions. April 2020 [www.iea.org](http://www.iea.org)
- IPCC, 2006. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press; [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- IPCC, 2012. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press; [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- IRENA, 2020, Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency [www.irena.org](http://www.irena.org)
- Jacques, P.J, Dunlap, R.E., Freeman, M., 2008. The organization of denial: Conservative think tanks and environmental skepticism. *Environmental Politics* 17(3): 349-385
- Laes, E., Chayapathi, L., Meskens, G., Eggermont, G., 2004. Kernenergie en Maatschappelijk Debat, SCK-CEN/VUB, VIWTA
- Lovins, A.B., 1976. Energy Strategy: The Road Not Taken? *Foreign Affairs* 55(1):65-96
- Verbruggen, A., Al Marchohi, M., 2010. Views on peak oil and its relation to climate change policy. *Energy Policy* 38, 5572-81.
- Verbruggen, A., Van de Graaf, T., 2013. Peak oil supply or oil not for sale? *Futures* 53: 74-85
- Verbruggen, A., Laes, E., 2015. Sustainability assessment of nuclear power: Discourse analysis of IAEA and IPCC frameworks. *Environmental Science & Policy* 51:170-180
- Verbruggen, A., Di Nucci, M.R., Fishedick, M., Haas, R., Hvelplund, F., Lauber, V., Lorenzoni, A., Mez, L., Nilsson, L.J., del Rio Gonzalez, P. Schleich, J., Toke, D., 2015. Europe's electricity regime: restoration or thorough transition. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 5, 57-68

- Verbruggen, A., Yurchenko, Y., 2017. Positioning Nuclear Power in the Low-Carbon Electricity Transition. *Sustainability* 9, 163; doi:10.3390/su9010163
- Verbruggen, A., Yurchenko, Y., 2019. The Collision of Atomic and Flow Renewable Power in Decarbonization of Electricity Supply, pp.77-95, in Haas et al. eds (2019)
- Verbruggen, A., 2020. Pricing Carbon Emissions: Economic Reality and Utopia, Routledge, te verschijnen.
- WCED, 1987. Our Common Future. The World Commission on Environment and Development. Oxford University Press.