

Auteur A.H.H. (Harry) Schmitz

Energietransitie, arbeid en welvaart

Het klimaat- en energiebeleid behelst de transformatie van kolen, aardolie, aardgas, biomassa en wellicht uraniumerts naar elektriciteit van zon, wind en water. Een transitie van primaire energievoorraden naar duurzame exergiestromen. Het doel van het overheidsbeleid is een welvarende samenleving zonder CO₂-emissies in 2050. Maar niet energie en niet exergie maar arbeid is de thermodynamische grootheid voor welvaart. Dit artikel stelt grenzen aan het welvaartsvaste klimaatneutrale transitiegeloof naar een toekomstige duurzame circulaire 'all electric society'.

Thermodynamica

Eerst worden vijf relevante thermodynamische grootheden benoemd. Dit zonder bronvermelding maar in elk leerboek zo beschreven. Aan deze omschrijvingen wordt een 6^e 'nieuwe' toegevoegd.

1. Energie is 'het vermogen om arbeid te verrichten'.
2. Vermogen is 'de energie per tijdseenheid'.
3. Exergie is 'het arbeidspotentieel van een energiedrager'.
4. Energiedrager is 'een stof of systeem dat gebruikt kan worden om warmte of een mechanische kracht te produceren'.
5. Arbeid is 'het product van kracht en weg'.
6. Arbeidsvermogen is 'de arbeid per tijdseenheid'.

Ook is het zo dat energie de sommatie is van anergie en exergie. Voor zonnestraling, wind- en waterstromen is de anergiewaarde nul, zodat de energiewaarde gelijk is aan de exergiewaarde.

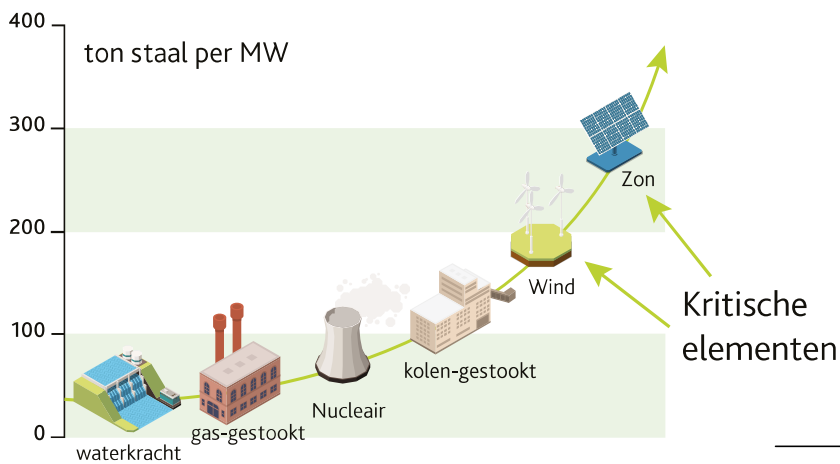
Volgens de tweede hoofdwet wordt arbeid geproduceerd uit energiestroom-omzettingen. Tijdens elke conversie treden exergieverliezen op. In thermische centrales wordt uit de oxidatie van kolen, aardolie, aardgas en biomassa en de afvalwarmte van kernsplijting elektriciteit geproduceerd, evenals door fotovoltaïsche

zonnecellen uit zonnestraling en door wind- en waterturbines uit lucht- en waterstromingen. Het geproduceerde arbeidspotentieel, met als energiedrager elektriciteit, wordt door daartoe geschikte elektrische apparatuur, zoals boormachines, compressoren et cetera, verbruikt om machinale arbeid te verrichten.

Arbeid, de tijdintegraal van arbeidsvermogen, is, in tegenstelling tot primaire energievoorraden en duurzame exergiestromen niet zonder meer beschikbaar, maar moet door daartoe geschikte conversie-installaties uit daartoe geschikte energie- en exergiestromen worden geproduceerd. De benodigde conversie-installaties zijn ook niet zonder meer voorradig. Voor de bouw, exploitatie en ontmanteling is arbeid benodigd. Zodoende is arbeid een functie van de toegevoerde energie- en exergiestromen, de conversierendementen, de vermogens van de conversie installaties en de arbeidsinvesteringen in de bouw, de exploitatie en, na de technische levensduur, de ontmanteling van conversie installaties. Arbeid resulteert dus uit een vicieuze arbeidscirkel!

Productie en distributie

Om arbeid te verrichten verbranden mensen biomassa. Door ademhaling wordt zuurstof aan de exotherme oxidatie van het verorberde plantaardige en dierlijke voedsel toegevoerd. Als afvalproducten resteren warmte, CO₂ en fecaliën. Middels een cascade van in kwaliteit afnemende energiestroom omzettingen wordt de chemische energie van het verorberde voedsel geconverteerd in spier- en denkrachten. Deze kunnen worden aangewend voor het verrichten van arbeid, bijvoorbeeld het schrijven van dit artikel. De toegevoerde chemische energiestroom tijdens het schrijven bedroeg circa 150 Watt en het geproduceerde arbeidsvermogen 3 Watt. Het biologische conversierendement was niet veel meer dan 2 %, met een CO₂-emissie van circa 20 liter per uur. De schrijfduur bedroeg circa 40 uur en de verrichte arbeid 120 Watturen met een energiegebruik van 6.000 Watturen en een CO₂ emissie van rond de 800 liter. De geïntegreerde conversie installatie betrof een zeer inefficiënte biologische tekstschrjver ter grootte van 1,85 meter met een massa van circa 90 kilogram en een technische levensduur van 65 jaar.



Figuur 1: Staal intensiteit per type conversie-installatie

Vanwege de zeer lage conversierendementen van biologische conversie installaties, zoals mensen, buffels, kamelen, ezels en paarden, heeft de mens ketels, motoren, thermische centrales, boormachines, tractoren, ontwikkeld, gebouwd en succesvol geëxploiteerd. Volgens de overheid en milieuorganisaties schijnt nu echter de tijd aangebroken te zijn om uiterlijk in 2050 volledig over te schakelen naar zonnecellen, windturbines en waterkrachtcentrales met als distributie media electriciteit en/of waterstof, want dan moet de productie en distributie van potentieel arbeidsvermogen duurzaam zijn en conversie installaties mogen geen CO₂ meer uitstoten. Dat is, kort samengevat, de doelstelling van het vigerende klimaat- en energiebeleid.

Net zoals bij mensen worden in thermische centrales kolen, aardolie, aardgas en biomassa verbrandt. Door een cascade van in kwaliteit afnemende energiestroom omzettingen, van chemisch in warmte, van warmte in mechanisch en uiteindelijk van mechanisch in elektriciteit, wordt arbeidspotentieel geproduceerd. In kerncentrales wordt, op dezelfde wijze als in thermische centrales, afvalwarmte van kernsplijting omgezet in elektriciteit. De conversierendementen van thermische en kerncentrales bedragen circa 50% à 60%. Aanzienlijk hoger dan van biologische conversie installaties. Voor vergelijkbare vermogens zijn de CO₂-emissies van thermische en kerncentrales (ook kernenergie is niet CO₂-vrij met name door de productie van brandstofstaven uit uraniumerts) aanzienlijk lager dan van biologische conversie installaties zoals paarden, ezels, etceta.

Uit zon, wind en water wordt door zonnecellen, windturbines en waterkrachtcentrales, via een cascade van in kwaliteit afnemende energiestroom omzettingen duurzame elektriciteit geproduceerd. De conversierendementen van zonnecellen bedragen circa 15% en de productiefactoren van windturbines op zee circa 20%. Hoewel de CO₂-emissies tot nul te reduceren,

zijn voor vergelijkbare vermogens wel aanzienlijk grotere duurzame conversie-installaties benodigd dan voor thermische en kerncentrales

Het bouwen van conversie-installaties is niet mogelijk zonder arbeid. Menselijke en machinale arbeid in de mijnbouw, de grondstoffenproductie, de toeleveringsbedrijven, het transport en op de bouwplaats. Niet alleen mechanische arbeid maar ook proceswarmte voor de productie van bouw- en installatiematerialen. Veel arbeidsvermogen vragen basismaterialen zoals staal (1.900 graden Celsius), aluminium (1.200 graden Celsius plus elektrolyse), cement (1.200 graden Celsius), silicium (1.800 graden Celsius) en kunststoffen (1.000 graden Celsius). Basismaterialen waaruit conversie-installaties zijn en worden samengesteld.

Ook in een circulaire economie blijven grote hoeveelheden proceswarmten en mechanische arbeid noodzakelijk. Niet alleen voor het recyclen van staal, aluminium en laagwaardige kunststoffen, maar ook voor de productie van niet recyclebare basismaterialen zoals hoogwaardige kunststoffen, metalen, silicium en cement, om er maar eens een paar te noemen. Per type conversie installatie verschillen niet alleen de benodigde basismaterialen maar ook de benodigde hoeveelheden. Figuur 1 toont bijvoorbeeld de staalintensiteit voor diverse typen conversie-installaties. Uit deze figuur blijkt dat de arbeidsinvestering in staal voor waterkrachtcentrales het laagste en voor zonnecellen het hoogste is.

Naast de bovengenoemde arbeidsinvesteringen in de bouw is ook arbeid benodigd voor de exploitatie. Operationele arbeid door pompen, compressoren, computers, et cetera en arbeid voor preventief en correctief onderhoud. Soms minder zoals voor thermische centrales en soms meer zoals voor kerncentrales. Met name voor de dagmijnbouw van uraniumerts, de opwerking naar brandstofstaven en de opslag van radioactief afval.

Zoals alles op deze wereld zijn conversie-installaties onderhevig aan

veroudering. Na de technische levensduur is arbeid benodigd voor het ontmantelen, het zo mogelijk revitaliseren, het recyclen en het verwerken van het afval. Soms minder zoals voor kampvuren en soms meer zoals voor ketels.

Het aanbod van en de vraag naar elektriciteit zijn doorgaans niet in evenwicht, zodat aan de energie casu quo exergie toevoerzijde van conversie installaties en/of aan de afvoerzijde van de geproduceerde elektriciteit buffering aanwezig moet zijn voor de afstemming tussen vraag en aanbod.

Het bufferen van primaire energiedragers is relatief eenvoudig, zoals kolenbunkers, aardolietanks en (lege) aardgasvelden. Voor uranium brandstofstaven is het al wat moeilijker en voor water moeten dammen worden gebouwd. Het opslaan van wind en zonnestraling is niet mogelijk. Vanwege de geringe opslagdichtheid is het bufferen van elektriciteit in accu's, materiaal en dien overeenkomstig arbeidsintensief.

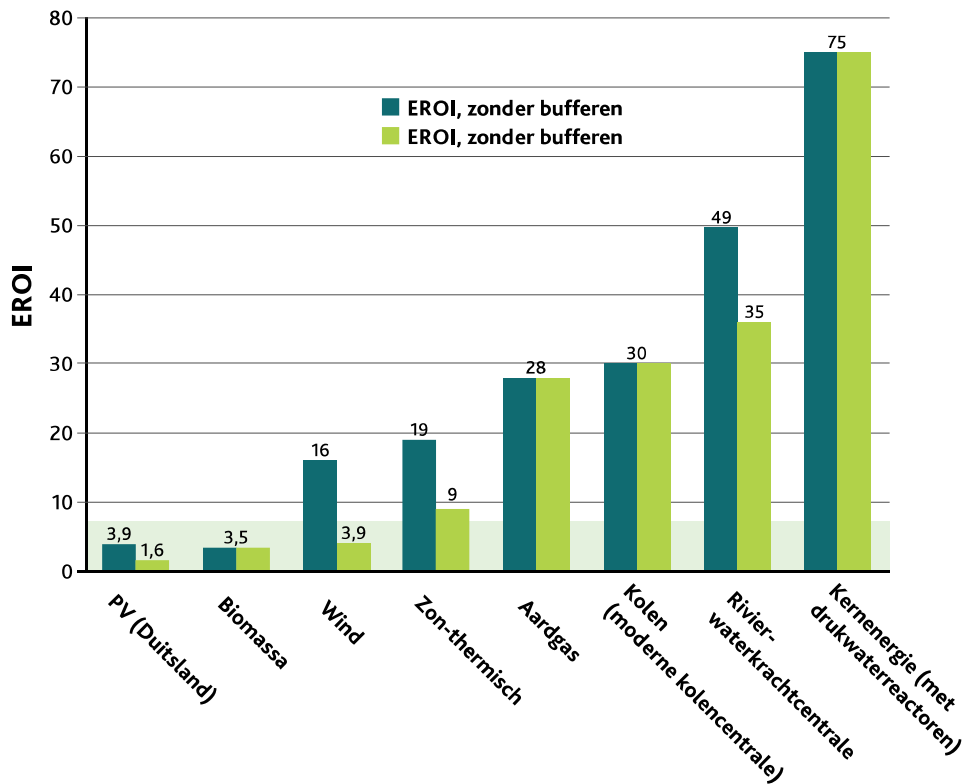
Bij duurzame elektriciteit speelt nog een tweede opslagprobleem. Het aanbod van wind en zonnestraling is tijdsafhankelijk. Overdag schijnt de zon en 's nachts niet en zomers meer dan 's winters. Hetzelfde geldt voor wind en regen. 's Winters wat meer en 's zomers wat minder. Hoewel de duurzame exergiestromen enigszins complementair zijn, is het gezamenlijke aanbod haast nooit in evenwicht met de consumptieve vraag naar elektriciteit. Voor de afstemming van vraag en aanbod in een emissievrije samenleving, zonder thermisch back up-vermogen, moeten meer zonnecellen, windturbines en waterkracht centrales worden geëxploiteerd dan strikt noodzakelijk is voor dekking van de elektriciteitsvraag. Extra productievermogen en opslagcapaciteit is benodigd. In tijden van voorspoed met een overaanbod aan duurzame exergie moet de overproductie aan elektriciteit worden opgeslagen om pas weer te worden aangewend in tijden van nood met een onderaanbod aan duurzame exergie. Hoewel droogteperioden een steeds grotere invloed krijgen op de elektriciteitsproductie door waterkrachtcentrales, geldt het extra opslagprobleem in mindere mate dan voor zonnecellen en windturbines.

In plaats van het direct opslaan en distribueren van elektriciteit uit zon en wind in accu's bestaat de mogelijkheid om waterstof als opslag- en distributiemedium toe te passen. Om groene waterstof te exploiteren in een 'all electric society' moet worden voorzien in twee aanvullende verliesgevendende conversiestappen. De geproduceerde

elektriciteit moet eerst door elektrolyse van grote hoeveelheden demiwater worden omgezet in moleculaire waterstof. Het zo geproduceerde waterstof kan dan in cryogene tankwagens, treinen en schepen en/of hogedruk waterstofleidingen naar de eindverbruikers worden gedistribueerd. Bij de eindverbruikers wordt dan in een tweede conversiestap de waterstof door brandstofcellen weer terug in lage spanning gelijkstroom omgezet. Het conversierendement van elektrolyse bedraagt circa 50% à 60% en van brandstofcellen circa 50%. De inzet van groene waterstof in plaats van elektriciteit resulteert enerzijds in een halvering van het geproduceerde arbeidspotentieel en anderzijds in een verdubbeling van de elektrische vermogensvraag. Dit betekent dat voor dezelfde elektriciteitsconsumptie in een groene waterstof samenleving 3 à 4 keer meer zonnecellen en windturbines benodigd zijn dan in een samenleving zonder groene waterstof [4 en 6]. Indien de waterstof in de procesindustrie direct wordt aangewend, zijn 1,5 keer meer windturbines en zonnecellen benodigd. Nog meer windturbines en zonnecellen zijn benodigd voor een waterstof distributie in de vorm van ammoniak.

De geproduceerde elektriciteit en/of groene waterstof wordt vervolgens gedistribueerd naar consumenten. Net als voor de productie, zijn voor de distributie arbeidsinvesteringen benodigd. Arbeid voor het bouwen van de distributienetten, exploitatie- en ontmantelingsarbeid op het eind van de technische levensduur.

Het quotiënt van het geproduceerde arbeidspotentiaal en de geïnvesteerde arbeid in de bouw, exploitatie en ontmanteling wordt in de Engelstalige literatuur de 'Energy return of energy invested factor, EROEI, of kortweg EROI (Energy return on invested factor) genoemd en in Duitstalige landen als de 'Energieernte Faktor'. In Nederland kunnen we dit quotiënt de arbeidsoogst – factor noemen [2, 3, 5 en 7]. EROEI of EROI is een overall arbeidsefficiëntie maat van conversie-installaties. Hoe groter de EROI, hoe efficiënter de vermogensproductie. Figuur 2 geeft arbeidsoogstfactoren weer van diverse conversie-installaties, zoals zonnecellen, windturbines en waterkrachtcentrales met en zonder thermisch back



Figuur 2: Arbeidsoogst – factoren conversie – installaties [3].

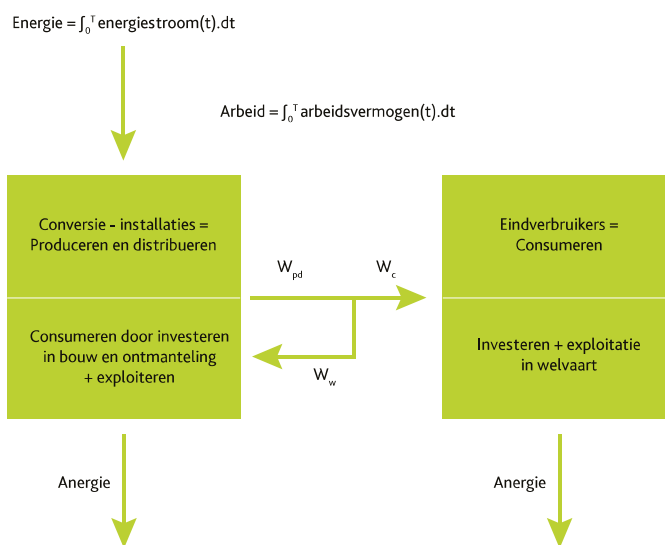
up-vermogen. Dus zonder en met oververmogen en extra opslagcapaciteit. Uit figuur 2 blijkt dat de arbeidsoogstfactor van zonnecellen het laagst en van kerncentrales het hoogst is.

Consumptieve welvaart

Nomadische jagers/verzamelaars sprokkelen brandhout, jagen op wilde dieren en verzamelen wortels, noten en vruchten. Als het, op de wat kortere termijn, niet lukt om voldoende biomassa te verzamelen waardoor onvoldoende biologisch arbeidsvermogen kan worden geproduceerd om te overleven, moeten de korte termijn energievoorraden, zoals lichaamsvetten, worden aangesproken. Als de arbeidsoogst factor van de jager/verzamelaar, langere tijd lager dan 1 is, raken de korte termijn energievoorraden uitgeput, met de hongerdood tot gevolg. Een jaargemiddelde arbeidsoogst – factor van 1 van een individuele jager/verzamelaar is voldoende om te overleven. In een arbeidsscenario met een gemiddelde arbeidsoogstfactor van 1 is er echter geen arbeidsvermogen meer voorhanden voor het grootbrengen en opleiden van nakomelingen. Voor het in stand houden van nomadische

groepen is een arbeidsoogstfactor groter dan 1 benodigd. Zo niet, dan sterft de groep op de wat langere termijn uit. Voor extra culturele activiteiten, zoals grotschilderingen, moet de arbeidsoogstfactor nog groter zijn dan voor het overleven van de groep. Grotere arbeidsoogstfactoren zijn dus synoniem voor meer welvaart van grotere groepen.

De arbeid van moderne samenlevingen bestaat uit twee componenten; arbeidsinvesteringen in gebouwen, televisies, radio's, computers,



Figuur 3: Energiestromen en potentiële arbeidsvermogens voor een samenleving.

koffiezetapparaten, fietspaden, fietsen, wegen, auto's, rails, treinen, havens, schepen, vliegvelden, vliegtuigen enzovoorts, en na de technische levensduur voor het ontmantelen en zo mogelijk recyclen. De tweede component betreft operationeel arbeidsvermogen tijdens de technische levensduur om een en ander te laten functioneren. Voor handhaving van het welvaartsniveau van een stationaire, niet groeiende samenleving moet het geproduceerde en gedistribueerde arbeidsvermogen, w_{pd} minimaal gelijk zijn aan het gevraagde arbeidsvermogen waarbij het gevraagde arbeidsvermogen gelijk is aan de som van de arbeidsinvesteringen in conversie – installaties en distributienetten, w_w en de vermogensvraag van eindverbruikers, w_c . Een en ander volgens:

$$w_{pd} = w_w + w_c$$

Na deling door w_w resulteert:

$$\frac{w_c}{w_w} = \frac{w_{pd}}{w_w} - 1$$

Het quotiënt $EROI = \frac{w_{pd}}{w_w}$ is de reeds gedefinieerde arbeidsoogst – factor. Het quotiënt $\frac{w_c}{w_w}$ definieert de welvaartsfactor van een samenleving. Volgens deze definitie bedraagt de welvaartsfactor van jager/verzamelaarsgroepen die op de rand van uitsterven leven 0. Volgens literatuur 2 en 5 bedraagt de welvaartsfactor van moderne samenlevingen circa 14.

Voor een, niet stationaire en groeiende samenleving geldt:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{w_c}{w_w} \right) \leq \frac{d}{dt} \left(\frac{w_{pd}}{w_w} \right)$$

Dat wil zeggen de welvaartsgroei wordt gelimiteerd tot de maximale toename van arbeidsoogstfactoren door innovaties. Zoals weergegeven in figuur 4 is een van de grootste groeiers de ICT-sector. De vraag of efficiëntieverbeteringen en/of materiaal extensiveringen van de duurzame conversie- en distributie installaties door innovaties de prognosticeerde groei van de arbeidsvraag kunnen bijbenen moet op grond van technische overwegingen als niet reëel worden bestempeld.

Nederland na 2050

Waterkracht speelt in Nederland geen rol van betekenis. Met alleen zonnecellen en windturbines en zonder thermisch back-up-vermogen zal Nederland in 2050 een welvaartsfactor ergens tussen minimaal 0,6 (alleen zonnecellen) en maximaal 2,9 (alleen windturbines op de Noordzee) hebben. Dat is een welvaartsniveau vergelijkbaar met dat van nomadische jager/verzamelaars groepen die op de rand van uitsterven leven.

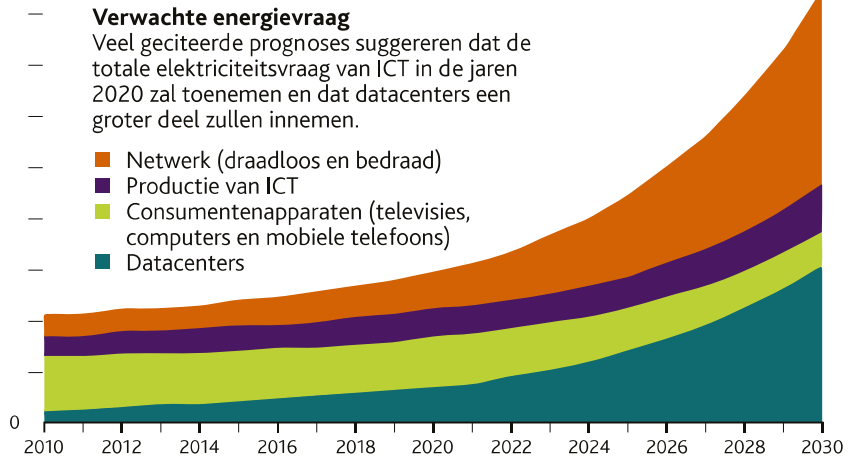
In zo'n toekomstige 'all electric society' daalt de welvaart niet alleen door een te geringe machinale arbeid, maar ook door het stilleggen van zonnecellen en windturbines die, na de technische levensduur, moeten worden vervangen. Na het uit bedrijf nemen wordt er niet meer voldoende potentieel arbeidsvermogen geproduceerd voor het ontmantelen, het partieel recyclen en het produceren en installeren van nieuwe vervangende conversie – installaties. Vanaf de eerste beoogde vervanging zal het potentiële arbeidsvermogens steeds verder reduceren tot uiteindelijk nul.

Een CO₂-emissievrij Nederland wordt ook opgezaagd met een groot milieuprobleem. Het cement in de funderingsconstructies is niet recyclebaar, evenals de hoogwaardige kunststof rotorbladen van de windturbines. Het werkelijke milieuprobleem wordt echter veroorzaakt door de verouderde niet recyclebare photovoltaische zonnecellen en de bijbehorende accu's.

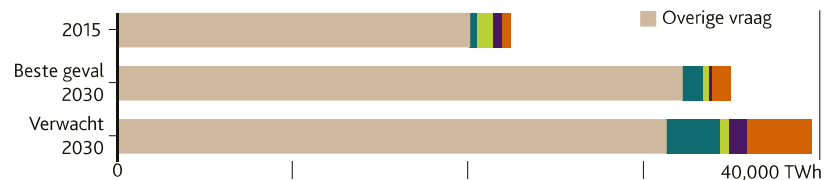
Vanwege de zeer hoge materiaalintensiteit en de zeer geringe recyclebaarheid zullen de wereldwijde grondstoffenvoorraden voor de productie van nieuwe zonnecellen en windturbines uitgeput raken en niet meer voorradig zijn. Op termijn zal men niet meer kunnen beschikken over voldoende essentiële grondstoffen.

Vanwege de geringe EROI van conversie-installaties van wind en zon streeft de overheid naar een combinatie met kernenergie. De elektriciteitsproductie van kerncentrales is moeilijk regelbaar. Deze staan aan of uit. De elektriciteitsproductie uit zon en wind is variabel en dat betekent dat de elektriciteitsproductie van back-upcentrales regelbaar moet zijn. Een energiemix bestaande uit kernenergie, wind en zon zal altijd in het voordeel van kernenergie uitpakken, omdat kerncentrales niet zomaar 's morgens bij zonsopkomst kunnen worden teruggeregeld of worden opgeregeld als windturbines worden stilgelegd omdat het trekseizoen van vogels is aangebroken. Het gevolg hiervan is dat - bij een groot aandeel kernenergie - zon en wind uit de markt worden gedrukt.

9,000 terawatt uur (TWh)



Wereldwijde elektriciteitsvraag



Het internetverkeer groeit exponentieel naar een verbruik van meer dan een zettabyte in 2017 (ZB=1x10²¹ bytes)

1987
2 TB

1997
60 PB

2007
50 EB

2017
1.1 ZB

TB, terabyte (10¹² bytes); PB, petabyte (10¹⁵ bytes); EB, exabyte (10¹⁸ bytes)

Figuur 4: De groei van het elektriciteit verbruik van de informatie en communicatiesector.

Naast eventuele kerncentrales worden ook contracten nagestreefd voor de inkoop van groene waterstof en elektriciteit elders. Dat werpt de vraag op waarom we in Nederland dan nog elektriciteit van inefficiënte zonnecellen en windturbines nodig hebben?

maakbaar is. Helaas vormen zon en wind geen duurzame oplossing voor Nederland. Vanwege de zeer lage EROI's zullen, op grond van natuurkundige overwegingen, marginale innovaties hier niets aan kunnen veranderen.

Door alleen te kijken naar de duurzame exergiestromen van zon en wind en geen acht te slaan op de noodzakelijke arbeid is, onder druk van activistische milieuorganisaties en ondersteund door onnavolgbare rechterlijke uitspraken, het geloof geboren dat een emissievrije welvaartsvaste Nederlandse samenleving technisch

A.H.H. (Harry) Schmitz



Referenties

- 74-th Session of the OECD steel committee. Paris 1 – 2 July 2013.
- Müller F., 'Unbequeme Wahrheiten bei der Energiebilanzierung' Ruhrkultour Witten (D) 2014.
- Huke A., 'Energieerntefaktor', Institut für Festkörper – Kernphysik Berlin (D) 2017.
- Bossel U., 'Does a hydrogen economy make sense?' 2006.
- Lambert J. en andere, 'EROI and the quality of life', Energy policy, New York 2013.
- Schmitz A.H.H., 'Waterstofeconomie dankzij Noordzee – en Saharaastroom?', TVVL Magazine 2019.
- Schmitz A.H.H., 'Natuurkundige grenzen aan duurzaamheid', VV+ 2020.