

# DE TOL VAN NETTO NUL

## OVER ENERGIETEKORTEN EN MILJARDEN ONBEDEELDEN DOOR EEN STOP VAN FOSSIELE BRANDSTOF IN 2030 OF EERDER

(The toll of net zero. On energy scarcity and billions of destitutes after a stop of fossil fuel before 2030).

Arnold J. Bomans, 23 feb 2021

### SAMENVATTING

Het volgende is een grove schatting. In 2030 is er voor iedereen bijna 2 keer zoveel hernieuwbare energie (uitgezonderd biomassa) als de hoeveelheid energie die een Mozambiquaan gemiddeld in 2004 gebruikte, gesteld dat die energie gelijkelijk verdeeld wordt. Volgens IIASA gebruikten de armste regio's echter 2½ keer zoveel; als die hoeveelheid per persoon wordt uitgedeeld en als de groei van zonne- en wind energie empirisch wordt vastgesteld, dan krijgen 5½ miljard mensen niets, tenzij een extra inspanning wordt geleverd en nucleaire energie plus biomassa worden toegevoegd. Met die toevoeging maar met een minimum dat niet 2½ maar 5 keer zo hoog ligt (gebaseerd op een schatting door Palmedo et al.) krijgen bijna 5 miljard mensen geen energie. Met schattingen door de industrie zou dit aantal nog altijd 2½ to 3½ miljard zijn. (Aangenomen is dat de wereldbevolking groeit zoals verwacht.) Als voor deze laatste benadering het jaar 2019 wordt genomen, dus zonder allerlei voorspellingen, dan zou het aantal 3½ to 4 miljard mensen zijn. Doorgaan met fossiele brandstof blijft onbesproken. Deze notitie gebruikt de secundaire energie als maatstaf.

### ABSTRACT

The following is a crude estimation. In 2030 the amount of renewable energy (excepting biomass) available to everyone would be almost 2 times the mean used by a Mozambiquan in 2004, provided that energy would be distributed equally. According to IIASA, the poorest regions used 2½ times more; if that amount per person would be allocated and if the growth of renewable energy is measured empirically, then 5½ billion people would get no energy, unless there are additional investments and nuclear energy as well as biomass are included. If included, and if the mean energy usage is not 2½ but 5 times higher (based on an estimate by Palmedo et al.) then almost 5 billion would get no energy. Using estimates from industry, their number would still be 2½ to 3½ billion. (The world population is assumed to rise as expected.) If for this last approach, the year 2019 is taken instead, so without any predictions, then this number would be 3½ to 4 billion people. Continuing fossil fuel use is not discussed. This paper uses secondary energy as a yardstick.

## INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING.....	2
1.1.	ENERGIEBEGRIPPEN.....	3
1.2.	VOORBEELD.....	6
1.3.	NAUWKEURIGHEID.....	6
1.4.	METHODOLOGIE.....	7
1.4.1.	GEBRUIK VAN SECONDAIRE ENERGIE.....	7
1.4.2.	HET BEGRIP ONBEDEELDEN.....	8
2.	BEREKENING VAN DE ENERGIETEKORTEN .....	9
2.1.	BENODIGDE SECUNDAIRE ENERGIE .....	9
2.2.	BESCHIKBARE NIET-FOSSIELE SECUNDAIRE ENERGIE IN 2019 .....	10
2.3.	BESCHIKBARE NIET-FOSSIELE SECUNDAIRE ENERGIE IN 2030 .....	11
3.	APPENDIX.....	14
3.1.	GEBRUIKTE HOEVEELHEID WATERKRACHT EN BIO-ENERGIE IN MOZAMBIQUE.....	14
3.2.	OMREKENINGSFORMULES .....	15

### 1. INLEIDING

Deze notitie is een grove schatting van de energietekorten en het aantal mensen die geen energie krijgen bij een overgang in 2019 of 2030 op hernieuwbare energie, doorgaans zonder gebruik van biomassa maar met nucleaire energie. (Energie uit voedsel blijft buiten beschouwing.) De bedoeling van deze overgang is om de uitstoot van CO<sub>2</sub> meteen of binnen een decennium te staken. Er is aangenomen dat sommigen een minimum aan energie krijgen en anderen niets. Zo'n verdeling is niet realistisch want een paar miljard mensen zal niet van de ene dag op de andere stoppen met koken op een houtvuur, noch zal een andere paar miljard een luxueuze levensstijl inruilen voor een bepaald minimum. Totaal is er echter te weinig energie om iedereen een bepaald minimum te verschaffen. Als ieder evenveel zou krijgen, dus ver onder het minimum, dan zijn de gevolgen moeilijk vast te stellen. Deze notitie gaat uit van een soort conflictmodel, waarbij sommigen een bepaald minimum hebben en geen energie wordt toebedeeld aan anderen, de zogeheten onbedeelden. Hoe meer geïndustrialiseerd een land is, des te groter de kans dat deze onbedeelden overlijden doordat brandstof, water en voedsel niet meer vervoerd worden, kunstmest en gemechaniseerde landbouw wegvallen, enzovoort. Zeker is dit allerminst, maar het aantal onbedeelden lijkt toch een meer concrete indicatie dan een hoeveelheid energie ver onder het minimum.

De rest van deze inleiding is een uitleg van de gebruikelijke begrippen, de problemen daarmee en een verantwoording van het gebruik van secundaire energie en van het begrip onbedeelden. Het volgende hoofdstuk bevat de eigenlijke berekeningen. Voor omrekeningsformules zie de appendix.

## 1.1. ENERGIEBEGRIPPEN

De geraadpleegde literatuur gebruikt de volgende begrippen.

- *Hernieuwbare energie* is energie uit zon, wind, waterkracht, getijden, warmte van de aardkorst en biomassa, dus wat aangevuld *kan* worden. *Duurzame energie* is energie die ook lang vol te houden is. Sommigen rekenen fossiele brandstoffen hier ook onder.<sup>1</sup>
- De *capaciteitsfactor* is de energie in een jaar als fractie van wat geleverd had kunnen worden volgens het opgegeven vermogen.<sup>2</sup> De capaciteitsfactoren zijn wereldwijd 34,9% van wind, 15,5% van zon,<sup>3 4</sup> 44% van waterkracht<sup>5</sup> en 82,5% van nucleair.<sup>6 7</sup>
- De *primaire energie* is de energie die binnenkomt maar niet allemaal gebruikt wordt.<sup>8</sup> Deze wordt gerekend, en door IEA gemeten, in *tonnes of oil equivalent* (toe) d.w.z. de bruto energie die in een ton olie is opgeslagen, dus inclusief de latente warmte van de waterdamp.<sup>9</sup> Warmte is de primaire energie van fossiele brandstof en biomassa; kinetische energie die van waterkracht en wind; straling die van de zon; en massa die van uranium.
- De *secundaire energie* is de energie welke in de omzettingseenheid (kerncentrale of vuurtje) beschikbaar is voor gebruik of transport. Dit is maar één van de mogelijke definities.<sup>10</sup>
- De verschillende soorten primaire energie worden als volgt vergeleken.
  - Bij *energiewaarneming* (de *physical energy content method*) wordt soms de secundaire (!) energie (de *energy carrier*) gezien als de primaire energie. Het begrip 'primaire energie' wordt dus helaas opnieuw gedefinieerd. Noem het resultaat de *verhandelbare energie* om verwarring te voorkomen. De IEA en OECD herdefiniëren primaire energie als volgt.<sup>11</sup>
    - Biomassa en fossiele brandstof: de verbrandingswarmte, dus onveranderd.
    - Wind, water- en getijdenkracht, zonnecellen: de electriciteit (dus 100% rendement!)
    - Zonnecollectoren<sup>12</sup> en nucleair: de opgewekte warmte indien bekend, anders 100/33 van de electriciteit.
    - Aardenergie: de opgewekte warmte indien bekend, anders 10 keer de electriciteit of 2 keer de afgeleverde warmte.

Nadeel is dat de primaire zonne- en windenergie ten onrechte heel laag lijkt in vergelijking met fossiele brandstoffen;<sup>13</sup> dit geldt ook voor waterkracht en nucleaire energie.<sup>14 15</sup>

- Bij *gelijkwaardige vervanging* (de *partial substitution method*) wordt verondersteld dat de (nucleaire of hernieuwbare) energie is opgewekt door een standaard electriciteitscentrale (*thermal power plant*) met een bepaald rendement, geheten het *equivalente rendement* (bij BP de *thermal equivalent efficiency factor*, hier afgekort TEE). Overigens, het *rendement* is de fractie energie die uit een electriciteitscentrale komt. Deze methode is door IEA juist verlaten, maar sinds 2016 in zwang bij BP. In 2019 hanteerde BP een TEE van 0,404; dat wil zeggen, de hernieuwbare energie was toen 40,4% van een fictieve hoeveelheid fossiele brandstof verbrand in een standaard electriciteitscentrale; voor 2030 is 0,419 voorspeld, in 2004 was deze 0,369 en vóór 2000 is deze op 0,36 gezet.<sup>16</sup> Niet te verwarren met de 33% voor nucleair. Nadeel is dat de TEE doorgaans voor alle soorten energie-opwekking gelijk wordt gesteld; zie verder TPED en equivalente TPED hieronder.

Er zijn nog andere methoden, elk met hun eigen problemen.<sup>17</sup>

- De *totale primaire energie-aanvoer* (TPES) is de primaire energie die netto een land ingaat: de primaire energie plus netto import plus netto nationale voorraden.<sup>18</sup> De internationale voorraad bevindt zich aan boord van schepen (en vliegtuigen) met een internationale bestemming.<sup>19</sup> De TPES heet ook wel bruto binnenlands energieverbruik.<sup>20 21</sup>
- De *totale primaire energievraag* (TPED) is gelijk aan de TPES.<sup>22</sup> De TPED en TPES zijn geen goede maten omdat de hoeveelheid aangevoerde energie weinig zegt over de opgeleverde energie: hout verbranden in open vuur heeft veel minder rendement dan verstoffen in een centrale voor biomassa; evenzo is waterkracht efficiënter dan oliestook.
- De *equivalente TPES* (of TPED) is de primaire energieproductie gedeeld door het equivalente rendement van het jaar waarin de benodigde TPED/cap is gemeten. Hiermee zijn berekeningen met de TPED/cap consistent. Zolang de TPED/cap niet is vastgesteld, geldt een willekeurig jaar. Bijvoorbeeld hanteert BP voor 2019 een TEE van 0,404 zodat een TPES van 404 eenheden electriciteit uit een waterkrachtcentrale in 2019 de equivalente TPES van 1000 heeft.
- De *totale primaire energievraag per persoon per jaar* (TPED/cap, per capita en steeds per jaar) spreekt voor zich; mogelijk is deze uitgedrukt in de equivalente TPED. De TPED/cap wordt doorgaans geschat als de TPED van het jaar gedeeld door het aantal inwoners (noem dit '*top down*'). Inbegrepen zijn dus verliezen bij de energieopwekking, energie voor aanvoer en voor gemeenschappelijk nut ('transparantie'). Uitgesloten is de invoer van goederen uit landen, waar de TPES dus deels ongebruikt blijft. De TPED/cap is een maat voor de energiebehoefte. De verspreiding van bevolking over koude streken heet in aanmerking te zijn genomen ('higher spatial resolution').<sup>23</sup> De TPED/cap is ook als de som van alle benodigdheden (*bottom up*) te schatten<sup>24</sup> dus ongeveer zoals de FEC (zie zometeen).
- De *totale primaire energie voetafdruk* (TPEF) is de TPES inclusief de energie van (netto) ingevoerde goederen.<sup>25</sup>

- De TSES, TSED, TSEF zijn als boven maar dan voor secundaire energie. Dit is voor fossiele brandstof niet goed te bepalen omdat de omzettingssystemen te verspreid en verschillend zijn (auto's, verrijdbare electriciteitsgeneratoren, enzovoort.) Voordeel is dat de grootheid niet afhangt van het verlies in opwekking maar wel alle verliezen 'stroomafwaarts' en gemeenschappelijk gebruik bevat ('transparantie').
- *Uiteindelijke energieverbruik (final energy consumption, FEC)* is energie voor de eindgebruiker, inclusief gedeelde diensten zoals landbouw maar exclusief de verliezen bij de bezorging van de energie zelf.<sup>26</sup> (De naam FED in plaats van FEC zou meer homogeen zijn geweest.) De TFEC is de secundaire energie na aftrek van verspreiding en verwerking door de energiesector.<sup>27</sup> (Onduidelijk blijft of de letter T netto import of netto nationale voorraad uitdrukt.) Deze grootheden blijven hier zoveel mogelijk buiten beschouwing maar maken het plaatje compleet.

Dus  $TFEC < TSED < TPED$ .

Omgekeerd is de secundaire energie als volgt te herleiden uit gegevens van IEA en BP. Hierbij geldt steeds dat vermogen alleen met de capaciteitsfactor moet worden vermenigvuldigd en verder onveranderd blijft; ook als de energie in KWh is opgegeven (bijvoorbeeld bij nucleair) dan valt te vermoeden dat dit reeds de secundaire energie betreft.

- Warmte uit fossiele brandstof: maal 90% of meer.<sup>28</sup> (Doet hier niet ter zake.)
- Electriciteit uit fossiele brandstof: maal de TEE van BP, al verschilt dit per soort fossiele brandstof.<sup>29</sup>
- Bio-energie:
  - Moderne biomassa: maal 30% voor biobrandstof.<sup>30</sup>
  - Traditionele biomassa: neem 10% aan als verder niets bekend is. (Maal 14,7% op basis van gepubliceerde metingen aan elf open vuren.<sup>31</sup> Grover: maal 10% voor koken<sup>32</sup> of 10-20% voor koken en verwarming.<sup>33</sup> Rendement van hout is 8% of zelfs 5% op een drie-stenen-oven.<sup>34</sup>)

Als het soort bio-energie niet is aangegeven, neem dan 20% als *vuistregel*.<sup>35</sup>

- Wind, water- en getijdenkracht, zonnecellen: onveranderde hoeveelheid electriciteit (maar voor BP maal de TEE).
- Zonnecollectoren en nucleair: 0,33 van de opgewekte warmte als maat voor de electriciteit.
- Aardenergie: 0,1 of 0,5 maal de warmte als electriciteit resp. warmte wordt opgewekt. *Benadering* voor 2030 als de soort energie onbekend is: maal 0,448 want dan ruwweg 13% electriciteit en 87% warmte opgewekt in het huidige scenario.<sup>36</sup>

Bij deze laatste twee opties gaat informatie verloren als de bekende warmte was opgegeven (ook zonder de benadering).

## 1.2. VOORBEELD

Bekijk bijvoorbeeld een economie van twee personen. De letter 'T' kan wegblijven. Het tweetal voert een huishouden met een electriciteitsgenerator. Die draait op jaarlijks een vat olie achterin de tuin met verbrandings-waarde PES van 100 eenheden. Dus PED/cap is 50 en daarin zitten gezamenlijk gebruik en allerlei verliezen. Nu gaan ze over op energie van de waterval achterin hun tuin.

- Wordt de PED/cap als maat voor de energiebehoefte genomen (net als in de literatuur) dan willen ze een PED/cap van 50 houden. De leverancier van waterraden vermeldt daarom PES en dus valt de keus dus op een waterrad met PES gelijk aan 100.
  - Stel, dit is de echte PES. Nu is het rendement van olie 40% en van waterkracht 80% uit de kinetische energie. De SES van het vat olie is dus 40 en die van het waterrad 80, dus twee keer zoveel als nodig. Dit is dus geen goede maat. (Kinetische energie wordt zelden gemeten, maar een dergelijke discrepantie geldt ook voor verwarmen door oliestook en door houtstook in de open haard, wat minder efficiënt is.)
  - Stel, dit is de equivalente PES. Dan is de SES gelijk aan 40, zoals gewenst. De fabrikant weet dat de echte PES gelijk aan 50 is (rendement 80% van 50 levert 40) maar plakt er een label op van 100 voor de equivalente PES. Tot zover is dit een goede graadmeter, er wordt gewoon een andere maatsoort gehanteerd. Echter, de overheid legt deze PED/cap van 50 als rantsoen op aan de burens, een echtpaar (een tweede, onafhankelijke economie). Dat echtpaar doet alles op open vuur met een rendement van 10% dus elk van hen krijgt nu SES/cap van slechts 5. De oorzaak van dit tekort is dat de equivalente PES bepaald is met een vaste TEE van 40% voor olie.
  - Stel, dit is de PES volgens IEA en OECD. Aankoop van een waterrad met label PES van 100 zou dan ook SES van 100 leveren, dus veel te veel.
- Wordt de SED/cap de maat voor de energiebehoefte, dan wil elk een SED/cap van 20. Het duo wil dus een waterrad met vermelding van een SES gelijk aan 40. (Het olievat vermeldde ook een SES van 40.) Als de overheid een rantsoen van SED/cap van 20 oplegt, dan zal het naburige echtpaar een SES/cap van eveneens 20 krijgen en een PES/cap van 200, dus PES van 400 hout voor het open vuur.

Ten slotte: wat binnenshuis verloren gaat, dus welke FEC overblijft, doet er hier niet toe.

## 1.3. NAUWKEURIGHEID

Wat in het volgende geldt voor TPED, is ook te beschouwen voor TSED.

1. Berekeningen van de TPED stammen van vóór de invoering van het equivalente warmtekrachtrendement (BP's *thermal equivalent efficiency factor*) maar omdat hernieuwbare energie

maar een kleine percentage bijdraagt aan het totale energie-aanbod, is het ontbreken van een berekening met dit rendement een verwaarloosbare fout.<sup>37</sup>

2. De TPED/cap is overschat voor arme landen (lage Human Development Index, HDI) omdat die goederen naar rijke landen exporteren en dus meer welvaart zouden hebben zonder die export.<sup>38</sup> Toch hangt de HDI net zo van de TPED als van de TPEF af.<sup>39</sup> (In het artikel van Arto et al. is de TPED goed overgenomen.<sup>40 41</sup>) De minimum TPED/cap gemeten als TPED van een arm land per inwoner ('*top down*') is dus ook overschat.
3. Omgekeerd is een '*top down*' TPED/cap voor een rijk land onderschat, maar er is ook een overschatting omdat rijke landen minder spierkracht gebruiken. Meer algemeen is het een gemis dat voedsel als energiebron ontbreekt in de berekeningen.
4. De bepaling van de TPED/cap 'als FEC' (*bottom up*) is per definitie onderschat maar ongevoelig voor het ontbreken van import zoals bij '*top down*'.
5. Hoeveelheden energie zijn overschat want niet afgetrokken zijn energie van bouw, onderhoud en sloop van een installatie, zoals uitgedrukt in de (lastig te bepalen) Energy Return on Investment (EROI).
6. De hoeveelheid hernieuwbare energie is overschat want de opbrengst moet opgeslagen worden om periodes zonder hernieuwbare energie te overbruggen, wat extra energie kost; bijvoorbeeld, opslaan in waterstof kost ongeveer *de helft* van de energie.<sup>42</sup>
7. Bij overgang tussen energie uit een centrale en energie aan huis worden transportkosten van energie verwaarloosd. Echter, de behoeften aan bijvoorbeeld hout kunnen redelijk vertaald worden naar secundaire electriciteit omdat bij het transport van electriciteit maar zo'n 5% energie verloren gaat.<sup>43</sup>

Overige onnauwkeurigheden kunnen ontstaan door onduidelijkheid in de gehanteerde begrippen en uiteraard de gegevens zelf, bijvoorbeeld als energie buiten de boeken blijft.

## **1.4. METHODOLOGIE**

Het voorbeeld gaf al aan dat secundaire energie een betere maat is om verschillende soorten energiebronnen te vergelijken. Het volgende is een onderbouwing daarvan en van het begrippen onbedeelden.

### **1.4.1. GEBRUIK VAN SECONDAIRE ENERGIE**

Deze notitie wijkt af van gebruikelijke analyses omdat de *secundaire* energie wordt gehanteerd. Zoals gezegd, primaire energie is de energie die een centrale of een oven ingaat, bijvoorbeeld de ruwe verbrandingswaarde van de brandstof; secundaire energie is de energie die eruit komt. Rekenen met primaire energie heeft als voordeel dat alle gezamenlijk gebruik en verliezen zijn ingecalculeerd en niet afzonderlijk ingeschat hoeven te worden ('transparantie'). Zodra echter de ene energiecentrale efficiënter is dan de andere, is de primaire energie geen absolute maat meer

voor de samenleving die van deze energie voorzien wordt. Bijvoorbeeld, als een samenleving hout niet meer stookt tussen drie stenen maar in een biomassacentrale, dan is minder hout nodig voor de opwekking van dezelfde hoeveelheid secundaire energie, dat wil zeggen, de energie die de onderkant van de pan bereikt, respectievelijk uit de centrale komt. (Bij vervoer van electriciteit gaat relatief weinig verloren.) Bij de overgang van een oliegestookte centrale naar een waterkrachtcentrale rekenen sommigen *alsof* de energie met olie wordt opgewekt, dus met de equivalente primaire energie. In feite wordt dan de secundaire energie in een andere maatsoort uitgedrukt maar het kost veel hoofdbrekens om steeds de denkbeeldige situatie voor ogen te houden. Een groter probleem is echter dat wanneer de equivalente primaire energie per persoon als norm wordt opgelegd, het maar afhangt van het rendement hoeveel secundaire energie men hiervoor terugkrijgt. (Zie het voorbeeld in de vorige paragraaf.) Daarom is het niet alleen inzichtelijker maar ook realistischer om te rekenen met de secundaire energie, wat nog steeds ‘transparant’ is.

#### 1.4.2. HET BEGRIIP ONBEDEELDEN

Energie is in het vervolg ‘nonmetabool’, dat wil zeggen, zonder de energie uit voedsel. Dus spierkracht krijgt geen aandacht. Gegeven zijn een hoeveelheid beschikbare energie  $E$  per jaar en het gebruik  $M$  per persoon per jaar in het zuinigste of armste land ter wereld. Dit gebruik  $M$  heet het *minimum*. Verder zijn er  $P$  mensen (de letter ‘ $P$ ’ is van ‘populatie’). Bij de *gelijke verdeling* krijgt ieder  $E/P$ . Let wel: als  $E < MP$  dan krijgt ieder minder dan dit minimum, dus het minimum betreft het zuinigste land, niet de kleinste portie. Deze notitie gaat uit van *toekenning van het minimum*, waarbij zoveel mogelijk mensen precies het minimum  $M$  krijgen of nemen. (De energie is dus een ondeelbare grootheid geworden en dit is een triviaal geval van de *round robin procedure*.) Dus  $L := [E/M]$  personen krijgen het minimum, waarbij de haken naar beneden afronden. Verder is er ten hoogste één misdeelde (die wel iets krijgt maar onder het minimum) en de rest bestaat uit de *onbedeelden* die niets krijgen. Hierbij valt te denken aan conflict.

Bijvoorbeeld,  $E=10$ ,  $P=30$  en  $M=2$ . Bij gelijke verdeling krijgen 30 personen  $1/3$ . Bij toekenning van 2 krijgen 5 personen het minimum en de rest niets. Kan iemand met  $1/3$  toe? Het zegt misschien meer dat 25 van de 30 mensen niets krijgen als het minimum voor een aantal wordt gegarandeerd.

Stel,  $M$  is het bestaansminimum en  $E < MP$ . Een gelijke verdeling zal leiden tot de dood van alle  $P$  mensen want  $E/P < M$ . Toekenning van het minimum lukt voor  $L = [E/M]$  die blijven leven terwijl  $P-L$  sterven, wat minder is dan  $P$ . Dus dat verdient de voorkeur.

Dit is nog anders te formuleren. Stel dat ook meer dan  $M$  wordt toegekend. In het voorbeeld: één persoon krijgt 10 en 29 krijgen niets; of één persoon krijgt 2 en 29 krijgen  $8/29$ . De kans op een portie onder het minimum is in beide gevallen  $29/30$ . Bij gelijke verdeling is die kans 1 en bij



toekenning van het minimum is die 5/6, de laagst mogelijk kans. Van alle verdelingen levert toekenning van het minimum dus de *minimum subminimal energy probability* (MSEP).

In de tabellen hieronder wordt steeds  $L=E/M$  getoond, wat voor de grote aantallen niet van  $[E/M]$  te onderscheiden is. Dit is een fractie  $f=L/P$  van het minimum, mogelijk groter dan 1. De hoeveelheid energie per persoon per jaar is hier eenvoudig uit af te leiden als  $Mf$ . Immers,  $Mf=ML/P = ME/MP=E/P$ .

## 2. BEREKENING VAN DE ENERGIETEKORTEN

In de volgende schatting zijn veel cijfers behouden in de tussenresultaten; die drukken dus geen nauwkeurigheid uit.

Nucleaire energie (uranium, thorium, enz.) wordt meegerekend, maar de voor- en nadelen ervan blijven hier buiten beschouwing. Verder is *alle* bio-energie problematisch<sup>44 45 46 47</sup> dus voor dit scenario (stop alle CO<sub>2</sub> uitstoot nu) wordt die niet meegeteld; omdat niet alle bio-energie in één klap is te vervangen, zijn de hoeveelheden ervan wel genoemd voor het totaal-beeld.

### 2.1. BENODIGDE SECUNDAIRE ENERGIE

Hier zijn enkele hoeveelheden secundaire energie per jaar per persoon uit de armste of zuinigste landen; die hoeveelheden heten dus minima.

- TSEF/cap=2,37 GJ voor het welvaartsniveau van Mozambique in 2004, dat toen (voor zover bekend) het armste land ter wereld was, met primaire energie TPED/cap=16,75 GJ.<sup>48</sup> Herberekenen uit gegevens van IEA/OECD levert een vergelijkbare TPED/cap van 18,41 GJ. (Vergelijk: de TPED/cap is 6,28 GJ voor Niger, 9,59 GJ voor Bangladesh en 18,55 GJ voor Mozambique volgens IEA.<sup>49</sup>) Secundair 70,05 PJ afgaande op IEA/OECD waarvan 30,18 PJ biomassa bij 10% rendement.<sup>50</sup> Uit de appendix: aluminiumproductie 26,82 PJ niet meerekenen. Dit levert de voetafdruk TSEF als realistischer schatting van de TSED. Dus 46,15 PJ gedeeld door 19,4 M mensen is 2,37 GJ/cap. De appendix bevestigt deze schattingen of hun orde grootte.
- TSED/cap=3,55 GJ in Afghanistan in 2018 volgens spaarzame gegevens van EIA.<sup>51</sup> (Wikipedia<sup>52</sup> ziet Afghanistan als minst verbruikend met een TPED/cap van 3,78 GJ, waarschijnlijk ten onrechte.)
- FEC/cap=5,68 GJ in de minst verbruikende regio volgens IIASA.<sup>53</sup>
- FEC/cap=12,62 GJ in de minst verbruikende landen volgens Palmedo et al.<sup>54 55</sup>

Vergelijk dit met de FEC/cap van 3½ GJ in een cultuur van jagen, verzamelen of eenvoudige landbouw, 6½ GJ in Rome rond het jaar nul, 10½ GJ voor een keuterboer in West Europa rond

1800 volgen Van Rhijn; hier is 3½ GJ voor voedsel niet meegerekend.<sup>56</sup> Echter, energieverbruik door arbeid (dus van voedsel) is 4,28 tot 9,78 GJ (hier grof geschat) volgens Fortuin en zo'n 4,58 tot 8,41 GJ volgens de National Research Council.<sup>57</sup> Onduidelijk is hoe die hogere schatting deze FEC/cap beïnvloedt.

Nog bij op te tellen:

- FEC/cap of TSED/cap=3,13 GJ om het huis te stoken; door de opwarming van de atmosfeer zal koeling ook steeds meer energie vergen.<sup>58</sup>

Voor de industriële maatschappij zou jaarlijks per persoon gelden:

- 20,9 GJ volgens de VN (onduidelijk of dit FEC, SED of PED is) wat vier keer het mondiaal gemiddelde is.<sup>59</sup>
- FEC/cap=31,5 GJ volgens Goldemberg et al. (1985) of eigenlijk Palmedo et al. (1978) voor het welvaartsniveau van Europa in de jaren 1970 inclusief efficiëntie-verbetering;<sup>60</sup> dan draait dagelijks de wasmachine en staat de kleuren-T.V. vier uur per dag aan.<sup>61</sup> Een voorloper van deze studie kwam tot een FEC/cap van 41,26 tot 56,54 GJ aan 'basisbenodigdheden'. Dit alles volgens een model gebaseerd op Latijns-Amerika en verder gericht op Afrika en Azië (de 'ontwikkelingslanden' in 1983) dus zonder stookkosten in koude streken.<sup>62</sup>

Hanteer 2,37 GJ tot 12,62 GJ met tussenwaarde 5,68 GJ voor verdere schattingen, waarbij de FEC als TSED is genomen.

Voor het idee: secundaire energie 2,37 GJ vertaald naar olie betekent delen door de TEE van bijvoorbeeld 0,4. Dat levert 141,5 kgoe. Eén liter olie weegt 0,8 kg dus dit is 177 liter olie oftewel 3537 km voor een auto die 20 km op 1 liter rijdt. Dat is 35 keer op en neer naar het werk 50 km verderop.

## 2.2. BESCHIKBARE NIET-FOSSIELE SECUNDAIRE ENERGIE IN 2019

Hernieuwbare en nucleaire secundaire energie (TSES) in 2019.

- Hernieuwbaar zonder bio-energie
  - 25,30 EJ (in 2019) volgens BP. (Water 15,20 EJ, wind 5,15 EJ, zon 2,61 EJ, overige 2,35 EJ.) Het totale energieverbruik (indien alleen olie) was 235,90 EJ dus het gebruik moet gedecimeerd worden.<sup>63</sup>
  - 30,57 EJ (in 2020) volgens IEA.<sup>64</sup>
  - 28 EJ (in 2018) volgens DNV<sup>65</sup> (gebaseerd op IEA, ter controle).
- Nucleaire energie
  - 10,07 EJ volgens BP.<sup>66</sup>

- 10,8 EJ volgens IEA.<sup>67</sup>
- 9,9 EJ volgens DNV.<sup>68</sup>
- Bio-energie
  - 10,4 EJ (in 2017) volgens IRENA<sup>69</sup> (gespecialiseerd in hernieuwbare energie).
  - 11,12 EJ (in 2017) volgens WBA<sup>70</sup> (voorzitter van bio-energie).
  - 10,03 EJ (in 2017) volgens IEA.<sup>71</sup>
  - 11,40 EJ (in 2018) volgens DNV.<sup>72</sup>

Het aantal mensen in 2019 is de beschikbare energie gedeeld door de nodige energie, dus het aantal mensen (in G, miljarden) dat de drie schattingen van minimale behoeften krijgt, is als volgt.

	2,37 GJ			5,68 GJ			12,62 GJ		
	BP	IEA	IRENA	BP	IEA	IRENA	BP	IEA	IRENA
Hern. non-bio	10,68	12,90		4,45	5,38		2,00	2,42	
Nucleair	4,25	4,56		1,77	1,90		0,80	0,86	
Bio			4,39			1,83			0,82
Totaal	14,92	17,46		6,23	7,28		2,80	3,28	
Onbedeelden				1,48	0,43		4,91	4,43	

Het aantal mensen dat niets krijgt staat op de onderste regel: in 2019 waren er 7,71 G mensen.<sup>73</sup> Bio-energie vervalt in dit scenario om het probleem niet naar de toekomst te verschuiven, maar die zou ook niet alle onbedeelden voorkomen bij de 12,62 GJ behoefte.

### 2.3. BESCHIKBARE NIET-FOSSIELE SECUNDAIRE ENERGIE IN 2030

Hernieuwbare en nucleaire secundaire energie (TSES) in 2030.

- Wind plus zon
  - 10,82 EJ tot 14,01 EJ indien volgens voorspellingen door de industrie. Om dit af te leiden, passen Hansen et al. het logistiek model toe op de geschiedenis van zonne- en windenergie. Dat levert een sigmoïdale kromme die in 2030 afvlakt tot jaarlijks 8,11 EJ wind en 2,71 EJ zon dan wel tot 10,30 EJ wind en 3,70 EJ zon zoals voorspeld door de industrie.<sup>74</sup> De studie gebruikt *BP's Energy Outlook 2035*<sup>75</sup> en geen geschiedenis door de IEA.
  - 29,97 EJ volgens BP.<sup>76</sup>
  - 21,6 tot 28,8 EJ bij het huidige resp. een duurzaam beleid volgens IEA.<sup>77</sup>
  - 67,54 tot 84,82 EJ al naar gelang de atmosfeer met 2 °C resp. 1,5 °C opwarmt volgens Teske.<sup>78</sup>
  - 33 EJ volgens DNV<sup>79</sup> (gebaseerd op IEA, ter controle).

- Waterkracht:
    - 19,70 EJ volgens BP.<sup>80</sup>
    - 18 tot 21,6 EJ bij het huidige resp. een duurzaam beleid, volgens IEA.<sup>81</sup>
    - 17,28 tot 16,75 EJ voor +2 °C resp. +1,5 °C volgens Teske.<sup>82</sup>
    - 21,6 EJ volgens DNV.<sup>83</sup>
  - Overig hernieuwbaar behalve bio-energie
    - 3,45 EJ aardwarmte voorspeld door IEA in 2012.<sup>84</sup>
    - 10,08 tot 11,96 EJ aardwarmte voor +2 °C resp. +1,5 °C volgens Teske.<sup>85</sup> (Dit was slechts 1,08 EJ in 2015 volgens IEA's *World Energy Outlook 2017*<sup>86</sup> en 0,14 EJ in 2018 volgens IRENA.<sup>87</sup>) Aardwarmte moet skeptisch bekeken worden.<sup>88</sup>
    - 1,53 EJ aardwarmte (d.w.z. overige) volgens DNV.<sup>89</sup>
    - 2,09 EJ aardwarmte volgens TNO.<sup>90</sup>
- De andere genoemde bronnen leveren geen informatie.<sup>91</sup> Schattingen van aardwarmte zijn onzeker.<sup>92</sup>
- Nucleaire energie
    - 5,00 EJ volgens Hansen et al.<sup>93</sup>
    - 12,10 EJ volgens BP.<sup>94</sup>
    - 10,8 EJ in beide scenario's van IEA<sup>95</sup>
    - 12,57 tot 13,09 EJ voor +2 °C resp. +1,5 °C volgens Teske.<sup>96</sup>
    - 11,07 EJ volgens DNV.<sup>97</sup>
  - Bio-energie
    - 2,06 EJ biobrandstof (d.w.z. modern) volgens BP.<sup>98</sup>
    - 11,82 EJ modern (d.w.z. biobrandstof) volgens IRENA.<sup>99</sup>
    - 14,66 tot 16,75 EJ modern plus traditioneel voor +2 °C resp. +1,5 °C volgens Teske.<sup>100</sup>

De schattingen van het geïnstalleerde vermogen van hernieuwbare energie door IEA zijn te pessimistisch.<sup>101</sup> Veel andere, hier niet genoemde studies worden gekenschetst als te optimistisch.<sup>102 103 104 105</sup> Dit geldt mogelijk ook voor bovenstaande bronnen behalve voor de studie van Hansen et al.

In 2030 zijn er naar verwachting 8,551 G mensen.<sup>106</sup> De energieschattingen en de drie varianten van minimale behoeften leiden tot de volgende aantallen mensen die met het minimum leven dan wel niets krijgen. In de hierna volgende tabellen duiden '-' en '+' de bovengenoemde varianten aan en is 'Sigm.' de sigmoïdale kromme van Hansen et al.

Legenda van de noten op de volgende bladzijde:

\* Het minimum 16,75 EJ (voor beide varianten) om de afvlakking vorm te geven.

\$ De aardwarmte volgens DNV (in feite IEA) en TNO (varianten - en +) behalve voor Teske.

# De IRENA-waarden behalve voor BP en Teske.

Met de geschatte energie van 2,37 GJ per inwoner van Mozambique in 2004 zouden de volgende aantallen miljarden mensen dit minimum krijgen.

2,37 GJ	Sigm.-	Sigm.+	BP	IEA-	IEA+	Teske +2°C	Teske +1,5°C
Wind en zon	4,57	5,91	12,65	9,11	12,15	28,50	35,79
Waterkracht *	7,07	7,07	8,31	7,59	9,11	7,29	7,07
Overig hern. non-bio \$	0,65	0,88	0,00	0,65	0,88	4,25	5,05
Nucleair	2,11	2,11	5,11	4,56	4,56	5,30	5,52
Totaal	14,39	15,97	26,06	21,91	26,70	45,35	53,43
Onbedeelden							
Bio #	4,99	4,99	0,87	4,99	4,99	6,19	7,07

Het welvaartsniveau van de armste regio's volgens IIASA leidt wel tot onbedeelden als de groei van zonne- en windenergie empirisch (volgens de sigmoïdale kromme) wordt bekeken:

5,68 GJ	Sigm.-	Sigm.+	BP	IEA-	IEA+	Teske +2°C	Teske +1,5°C
Wind en zon	1,90	2,47	5,28	3,80	5,07	11,89	14,93
Waterkracht *	2,95	2,95	3,47	3,17	3,80	3,04	2,95
Overig hern. non-bio \$	0,27	0,37	0,00	0,27	0,37	1,77	2,11
Nucleair	0,88	0,88	2,13	1,90	1,90	2,21	2,30
Totaal	6,00	6,66	10,88	9,14	11,14	18,92	22,29
Onbedeelden	2,55	1,89					
Bio #	2,08	2,08	0,36	2,08	2,08	2,58	2,95

Met bio-energie zouden twee miljard onbedeelden in 2030 vermeden kunnen worden, waarschijnlijk ten koste van een groter tol in de toekomst.

Voor de schatting van Palmedo et al. van de minst verbruikende landen is het beeld nog somberder:

12,62 GJ	Sigm.-	Sigm.+	BP	IEA-	IEA+	Teske +2°C	Teske +1,5°C
Wind en zon	0,86	1,11	2,37	1,71	2,28	5,35	6,72
Waterkracht *	1,33	1,33	1,56	1,43	1,71	1,37	1,33
Overig hern. non-bio \$	0,12	0,17	0,00	0,12	0,17	0,80	0,95
Nucleair	0,40	0,40	0,96	0,86	0,86	1,00	1,04
Totaal	2,70	3,00	4,89	4,11	5,02	8,52	10,03
Onbedeelden	5,85	5,55	3,66	4,44	3,54	0,04	
Bio #	0,94	0,94	0,16	0,94	0,94	1,16	1,33

De schattingen in het boek geredigeerd door Teske wijken erg af van schattingen door de industrie en moeten dus met argwaan bekeken worden. Met een geboortestop vanaf 2019 zou het aantal mensen in 2030 nauwelijks zijn afgenomen<sup>107</sup> maar die zou in dit geval nog altijd een half miljard onbedeelden voorkomen.

## 3. APPENDIX

### 3.1. GEBRUIKTE HOEVEELHEID WATERKRACHT EN BIO-ENERGIE IN MOZAMBIQUE

Van waterkracht ging 850 MW naar productie van aluminium<sup>108</sup> voor de export, dus 26,82 PJ niet meerekenen voor de voetafdruk TSEF.

Om de opgegeven hoeveelheden bio-energie in Mozambique te controleren zijn hier verdere gegevens.

Primaire (secundaire) energie van 1 kg hout is 18,9 (1,50) MJ<sup>109</sup> of 16,8 (1,68) MJ<sup>110</sup> of 17,13 (2,517) MJ<sup>111</sup> maar die laatste bevinding is uit Guatamala en geldt niet voor een vuur met drie stenen. Houd 1,5 MJ secundair (8%) aan als verder niets bekend is.

Merk op: voor een vaste hoeveelheid primaire energie (verbrandingswaarde van hout) levert een rendement van 5% een secundaire energie, een behoefte, die *lager* is dan die bij 10%, ook al is relatief meer hout nodig.

Rond 2008 was 91% van de huishoudelijke energie afkomstig van hout.<sup>112</sup> Vóór de eeuwwisseling verbruikte een huishouden in Mozambique 5000 kg hout per jaar.<sup>113</sup> De gemiddelde grootte van een huishouden in Mozambique (of alleen Maputo?) in 2004 is 5,89 leden al ligt dit voor uitsluitend houtskool of hout stokende huishoudens aanzienlijk hoger.<sup>114</sup> (In 2019 telde het gemiddelde huishouden in Mozambique 4,4 personen.<sup>115</sup>) Dus jaarlijks minder dan 849 kg (1273,3 MJ secundair bij 18% rendement) hout per persoon. Ter vergelijking: in Ghana gebruikte een persoon jaarlijks gemiddeld 321 kg hout<sup>116</sup> (secundair 481,5 MJ bij 8% rendement) en in Guatamala wordt voor een dagelijks maal jaarlijks secundair 3530 MJ aan hout gebruikt wegens hoger rendement,<sup>117</sup> dus bij vier disgenoten 882,6 MJ per jaar per persoon. In 2004 was er uit hout (inclusief houtskool) naar schatting 302 PJ beschikbaar, afgaande op officiële cijfers.<sup>118</sup> In 2004 leefden er 19,4 M mensen in Mozambique.<sup>119</sup> Omdat houtskool maar een fractie van die 302 PJ uitmaakt, is het rendement 10% te nemen. Dus 1560 MJ per persoon per jaar. Nu is onduidelijk hoeveel buiten de boeken blijft; een directe meting komt op 722 kg houtige massa per persoon per jaar,<sup>120</sup> dus 1083 MJ. Hou toch de 1,560 GJ aan omdat aangenomen mag worden dat hier ook niet-huishoudelijk gebruik in opgenomen is. De schatting van 2,37 GJ van de IEA en OECD wijkt hier niet erg van af dus daar kan vanuitgegaan worden.

## 3.2. OMREKENINGSFORMULES

Voor het omrekenen van energie uit de literatuur komen de volgende formules van pas.

- Een *barrel of oil equivalent* (BOE) per dag is 2,2345495 TJ/y.
- Een *kilogram of oil equivalent* (kgoe) is 41,868 MJ.
- Een *ton of oil equivalent* (toe) is 1000 kgoe dus 41,868 GJ.
- Een *kiloton of oil equivalent* (ktoe) is 41,868 TJ.
- Een *megaton of oil equivalent* (Mtoe) is 41,868 PJ.
- 1 thermodynamische calorie (cal) is 4,184 J.
- 1 voedingscalorie (Cal, grote calorie, kilocalorie, 'kcal' ) is 4,184 kJ
- 1 TW vermogen is 31,5576 EJ/y (bij een capaciteitsfactor 1) want een Juliaans astronomisch jaar telt 365,25 dagen dus 31,557600 Ms. Dus 1 kW is 31,5576 GJ/y.
- Energie per jaar (in Wh) = vermogen (in W) × 365,25 × 24 h × capaciteitsfactor.
- 1 TWh is 0,0036 EJ.
- 1 Btu (*British Thermal Unit*) is 1054,80 J.

Let op dat de decimale komma een decimale punt is in Engelstalige literatuur en dat Engelse namen voor grote hoeveelheden soms verschillen van hun Nederlandse evenknieën.

## LITERATUUR

1 Eurostat (3 sept. 2018) *Statistics Explained*. Lemma *Renewable and sustainable energy*.

<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php>

2 UK (22 dec. 2020) *Energy Trends*, 6.1 (*Renewable electricity generation and capacity*).

<https://www.gov.uk/government/statistics/energy-trends-section-6-renewables>

Bijv. de excel-formule van het tabblad 'annual' 2009:  $3470,93... \text{ MW vermogen levert capaciteit } 7527,07... \text{ GWh dus } f = \frac{7527,07... \text{ GWh}}{(365 * 24h * 3470,93... \text{ MW})} = 24,8\%$ .

3 IEA (2020) *Renewables*. De komende jaren groeit het aantal windturbines buitengaats (off-shore) tot 1/5 van dat aan land (on-shore).

<https://www.iea.org/reports/renewables-2020/wind>

4 IEA (2019) *Offshore wind outlook*. De capaciteit van wind on-shore is 23 à 44 % en die van off-shore is 29 à 52%. Dus met vorige IEA rapport is  $0,8 * 33,5 + 0,2 * 40,5 = 34,9\%$  de windcapaciteit. Zon heeft capaciteit 10-21%. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-annual-capacity-factors-by-technology-2018>

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-annual-capacity-factors-by-technology-2018>

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-annual-capacity-factors-by-technology-2018>

5 Kumar, A. et al. (2011) *Hydropower*. In: Edenhofer, O. et al. (red.) IPCC, *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, table 5.1. Wayback machine:

[https://web.archive.org/web/20120524071136/http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC\\_SRREN\\_Ch05.pdf](https://web.archive.org/web/20120524071136/http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch05.pdf)

6 World Nuclear Association (2020) *World Nuclear Performance Report*.

- <https://www.world-nuclear.org/gallery/world-nuclear-performance-report-gallery/global-average-capacity-factor.aspx>
- 7 IEA WOE 2019 (zie onder) tabellen 'Electricity generation by fuel and scenario, 2018-2040' en 'Installed power generation capacity by source in the Stated Policies Scenario, 2000-2040' leveren te onnauwkeurige capaciteitsfactoren water 0,33, wind 0,33, zon 0,16, nucleair 0,86.
- 8 Kydes, A. (2011) *Primary Energy*. In: Cleveland, C.J. Encyclopedia of Earth. 'Primary energy is the energy embodied in natural resources prior to undergoing any human-made conversions or transformations.' Wayback: [https://web.archive.org/web/20130508100248/http://www.eoearth.org/article/Primary\\_energy](https://web.archive.org/web/20130508100248/http://www.eoearth.org/article/Primary_energy)
- 9 OECD ilibrary, lemma *Primary Energy Supply* [https://www.oecd-ilibrary.org/energy/primary-energy-supply/indicator/english\\_1b33c15a-en](https://www.oecd-ilibrary.org/energy/primary-energy-supply/indicator/english_1b33c15a-en)
- 10 Øvergaard, S. (feb. 2009) *Definition of primary and secondary energy* <https://unstats.un.org/oslogroup/meetings/og-04/docs/oslo-group-meeting-04--presentation-definition-of-primary-and-secondary-energy.ppt>
- 11 IEA/OECD (2006) *Energy Balances of non-OECD countries 2003-2004*, p. I 18, Sectie 3 (*Units and Conversions*), p.I 16.
- 12 Verenigde Naties (2018) *International Recommendations for Energy Statistics*, p.103 <https://unstats.un.org/unsd/energy/ires/IRES-web.pdf>
- 13 Sauar, E. (31 aug. 2017) *IEA underreports contribution solar and wind by a factor of three compared to fossil fuels*. <https://energypost.eu/iea-underreports-contribution-solar-wind-factor-three-compared-fossil-fuels/>  
Zijn analyse lijkt geweigerd voor publicatie door een wetenschappelijk tijdschrift.
- 14 BP *Statistical Review* (zie onder) pp.50-51 voetnoten van tabellen.
- 15 OECD/IEA (2005) *Energy Statistics Manual*, Parijs. Op p.137: de maat voor nucleaire energie en waterkracht is enkel de primaire energieproductie. <https://webstore.iea.org/download/direct/746>
- 16 BP *Statistical Review* (zie onder) p.64 en de accordion 'primary energy' op <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/using-the-review/methodology.html>
- 17 Kraan, O.; Chappin, E.; Kramer, G.J.; Nikolic, I. (Sept. 2019) *The influence of the energy transition on the significance of key energy metrics*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Afl.111, pp.215-223. (Het voorstel om TFEC te hanteren gaat voorbij aan het probleem, hoe gemeenschappelijke of ondersteunende middelen in te schatten.) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119302448#bib18>
- 18 OECD (2016) *Factbook 2015-2016: Economic, Environmental and Social Statistics*, Parijs: OECD Publishing, p.98. Zie <http://dx.doi.org/10.1787/factbook-2015-en> of direct <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/factbook-2015-en.pdf>
- 19 *Energy Balances of non-OECD countries* (zie boven) p. I 10.
- 20 Eurostat (zie boven) lemma *Gross Inland Energy Consumption*.
- 21 Arto et al. (zie onder) noot 1.
- 22 Arto et al. (zie onder) noot 1.



- 23 De Decker (zie onder) paragraaf *Energy Use Per Capita*.
- 24 Arto et al. (zie onder) p.3, noot 4.
- 25 Arto et al. (zie onder) p.4. Tabel B1, p.12 toont TPEF=TPED voor de wereld, zoals te verwachten.
- 26 Eurostat (zie boven) lemma *Final Energy Consumption*.
- 27 Renewable Energy Network 21, REN21 (2020) *Renewables 2020 Global Status Report*, p.192.  
<https://www.ren21.net/gsr-2020/>
- 28 Wikipedia, lemma *Warmte-krachtcentrale*  
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Warmte-krachtcentrale#Rendement>
- 29 Wikipedia, lemma *thermal power station* [https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_power\\_station#Thermal\\_power\\_generation\\_efficiency](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station#Thermal_power_generation_efficiency)
- 30 Biomass Availability and Sustainability Information System, BASIS (2015) *Report on Conversion efficiency of biomass*, p.7 [http://www.basisbioenergy.eu/fileadmin/BASIS/D3.5\\_Report\\_on\\_conversion\\_efficiency\\_of\\_biomass.pdf](http://www.basisbioenergy.eu/fileadmin/BASIS/D3.5_Report_on_conversion_efficiency_of_biomass.pdf)
- 31 McCracken, J.P.; Smith, K.R. (1998) *Emissions and efficiency of improved woodburning cookstoves in highland Guatemala*, Environment International, Afl.24, nr.7, pp.739-747.  
 Tabel 4, p.746: rendement 14,17%.  
[https://www.cleancookingalliance.org/resources\\_files/emission-and-efficiency-of.pdf](https://www.cleancookingalliance.org/resources_files/emission-and-efficiency-of.pdf)
- 32 Goldemberg, J. (30 oct. 2013) United Nations Development Programme. 'Non-commercial energy is commonly used for cooking with dismally low efficiencies around 10%'.  
<http://hdr.undp.org/en/content/energy-and-human-well-being>
- 33 IRENA *Bioenergy* (zie onder) p.18: 10 tot 20% voor open vuur.
- 34 *Wood or charcoal ...* (zie onder)
- 35 IRENA *Bioenergy* (zie onder) Op p.41: in 2017 traditioneel 48/94 en modern 46/94, zeg de helft ieder en neem dat ook aan voor 2050 voor een *business as usual* scenario. Dus voor secundaire energie het gemiddelde van 14,7% en 30% is 20% (één significant cijfer).
- 36 *Integrated assessment...* (zie onder) 13% electriciteit en 87% warmte.
- 37 Arto et al. (zie onder) fig.1.
- 38 Arto et al. (zie onder) p.10, conclusie
- 39 Arto et al. (zie onder) fig.3.
- 40 Arto et al. (zie onder) De TPED is afkomstig van IEA (p.5 kolom 2) en was 560 EJ in 2012 (p.9 kolom 1).
- 41 IEA (2012) *World Energy Outlook 2012*, pp.551-2. De TPED in 2010 was 12730 Mtoe en 13989 Mtoe in 2015. Lineaire interpolatie levert 554 EJ voor 2012.  
[https://webstore.iea.org/download/direct/141?fileName=WEO2012\\_free.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/141?fileName=WEO2012_free.pdf)
- 42 Stellen, M.; Jörissen, L. (2015) *Hydrogen Conversion into Electricity and Thermal Energy by Fuel Cells: Use of H<sub>2</sub>-Systems and Batteries* pp.143-158 in: Moseley, P.T.; Garche, J. (2015) *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*, A'dam etc.: Elsevier.  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/round-trip-efficiency>
- 43 U.S. Energy Information Administration, IEA (2019) *How much electricity is lost in electricity transmission and distribution in the United States?*

- <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=105&t=3>
- 44 Teske (zie onder) 7.1.1.1, p.163. Bosbouw leidt tot *permanente* uitstoot van CO<sub>2</sub>, land voor biomassa gaat verloren voor het vasthouden van CO<sub>2</sub> en voor voedselproductie, enz. Slechts in sommige gevallen is te pleiten voor opwekking uit biologische resten en afvalproducten.
- 45 Garson K. (30 mei 2019) *Dangerous delusions: biomass is not a renewable energy source*.  
<https://www.leonardodicaprio.org/dangerous-delusions-biomass-is-not-a-renewable-energy-source/>
- 46 Germanos, A. (12 feb. 2021) *500+ Scientists Demand Stop to Tree Burning as Climate Solution*  
<https://www.commondreams.org/news/2021/02/12/500-scientists-demand-stop-tree-burning-climate-solution>
- 47 Reijnders, L. (2020) *Is the Production of Biofuels Environmentally Sustainable?* Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials, Afl. 3, pp.545-550.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818110185?via%3Dihub>
- 48 Martínez, D.M.; Ebenhack, B.W. (2008) *Understanding the role of energy consumption in human development through the use of saturation phenomena*, Energy Policy afl.36, pp.1430–1435. Op p.1432: ‘No country has extremely low HDI [human development index] with PCEC [per capita energy consumption] above 800 kgoe and no country has an HDI above .7 with a PCEC below 400 kgoe.’ (Verkeerd geciteerd in Arto et al.) Dus als PCEC>800 kgoe dan HDI > 0,7 en als PCEC<400 kgoe dan HDI< 0,7. Op p.1434: Mozambique heeft (voor zover bekend) de laagste HDI maar de minimale PCEC blijft onvernoemd. De PCEC van 400 kgoe (16,75 GJ) benadert de TPED van 16,7 GJ zoals in Arto et al. genoemd. De PCEC is afgeleid van de TPES in *Energy Balances of non-OECD countries* (zie boven).
- 49 World Bank (2014) *Energy use per capita* (op basis van IEA). Het energieverbruik is in kgoe dus waarschijnlijk primaire energie. Landen met lage waarden gemeten op (bijna) een enkel moment (met als minimum Lesotho 10) zijn weggelaten omdat die onbetrouwbaar lijken. In 2014: Bangladesh 229, Niger 150 en Mozambique 443. Minst ontwikkelde landen in 2014 volgens VN klassificatie: 370.  
<https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE>
- 50 *Energy Balances of non-OECD countries* (zie boven) pp. I 17: alleen de primaire energie (de calorische waarden van hout) en niet de hoeveelheid was opgegeven. Op p. II 144: Mozambique TPES is 8571 ktoe = 358,9 PJ dus TPED/cap = 18,41 GJ.  
 Voor TSES: traditionele biomassa is 7208 ktoe = 301,8 PJ (primair, maal 10% is 30,18 PJ secundair), waterkracht 1003 ktoe = 41,99 PJ (tevens secundair ondanks IEA norm) en 651 fossiel ktoe (maal TEE van 0,369 is 10,06 PJ secundair) minus 291 ktoe netto import van electriciteit (ook secundair en wel 12,18 PJ). Dus 70,05 PJ secundaire energie.
- 51 U.S. Energy Information Administration, EIA (2018) *Afghanistan*: 0,102 tera Btu fossiel en 0,026 tera Btu nucleair, hernieuwbaar of overig. Totaal 0,128 tera Btu en neem 1/3 voor secundair. Dus 135 TJ gedeeld door 38,051 M mensen is 3,55 GJ.  
<https://www.eia.gov/international/overview/country/AFG>
- 52 Wikipedia lemma *List of countries by energy consumption per capita*.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_countries\\_by\\_energy\\_consumption\\_per\\_capita](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_energy_consumption_per_capita)

- 53 Khan, A.M.; Hölzl, A. (1982) *Evolution of future energy demands till 2030 in different world regions*. IIASA rapport RR-82-14. Tabel 11, p.52: FEC = 0,18 kW (regio 5 in 1975).  
<http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/1846/1/RR-82-014.pdf>
- 54 Palmedo, P.F. et al. (maart 1978) *Energy Needs and Resources in Developing Countries*, Brookhaven National Laboratory Report nr. BLN 50784. Geciteerd in *Basic Needs and Much More With One Kilowatt Per Capita* (zie onder) in de grafiek op p.191, die bij 0,4 kW begint.
- 55 Goldemberg, J.; Johansson, T.B.; Reddy, A.K.N.; Williams, R.H. (1985) *Basic Needs and Much More With One Kilowatt Per Capita*, *Ambio*, Afl.14, nr.4/5, pp. 190-200. De 1kW = 31,56 GJ per persoon zou de gemiddelde FEC in de ontwikkelingslanden zijn (p.190) maar dit wordt niet onderbouwd. Het betreft hier FEC volgens Arto et al. (zie boven).  
[https://www.researchgate.net/publication/279580587\\_Basic\\_Needs\\_and\\_Much\\_More\\_With\\_One\\_Kilowatt\\_Per\\_Capita](https://www.researchgate.net/publication/279580587_Basic_Needs_and_Much_More_With_One_Kilowatt_Per_Capita)
- 56 Meek, H. (2017) *Ecologica*. Delft: Eburon. Zie pp.99-100 met verwijzing naar Johan van Rhijn (2010) *Hoe rekbaar is onze planeet?*
- 57 Doijer, J. (1951) *Voedseltabellen en enkele gegevens over de voeding*, Zutphen: Thieme. Tabel 78, pp.171-172 levert tussen 1,4 en 3,2 maal de basale metabolisme (B.M.) per dag. De B.M. is grofweg 2 m<sup>2</sup> maal 1000 grote cal per m<sup>2</sup> (pp.140-142; bron: G.J. Fortuin, *Voeding en Arbeid*, in *Voeding*, jrg.8, p.61; Aub, Du Bois, enz.) Op p.173 van 3 tot 5,5 grote cal per dag (Food and Nutrition Board, National Research Council U.S.A.) Op p.140: nauwkeurigheid wegens voedselschaarste.
- 58 Isaac, M.; Van Vuuren, D.P. (2009) *Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change*. *Energy Policy* 37, pp.507-521. Geciteerd in: <https://www.irena.org/heatingcooling/Key-Statistics>. Jaarlijks 25 EJ. Stel: 8 G mensen.
- 59 De Decker, K. (17 jan. 2018) *How Much Energy Do We Need?* Demand (on-line). Antwoorden: 500 kgoe (het VN Millenium Project, maar deze waarde is niet terug te vinden); 570 kgoe in 2030 (door efficiëntie, Goldemberg et al. in 1985, zie boven); 1,250 kgoe (Swiss Federal Institute of Technology); 1,500 kgoe (Global Commons Institute's Contraction and Convergence).  
<http://www.demand.ac.uk/17/01/2018/how-much-energy-do-we-need/>
- 60 Arto, I.; Capellán-Pérez, I.; Lago, R.; Bueno, G.; Bermejo, R. (Aug. 2016) *The energy requirements of a developed world*, *Energy for Sustainable Development*, jrg.33, pp.1-13, Tabel 1. De 31,5 GJ is van Goldemberg et al. volgens een *bottom up* benadering. Andere auteurs komen tot 45 GJ in 2030 voor een welvarende en 25,5GJ voor een minder welvarende samenleving in 2020. Dit alles inclusief efficiëntieverbetering, zonder welke andere auteurs tot 16,7 GJ voor zeer geringe behoeften komen (en als buitenbeentje 14,4 GJ voor een zeer welvarende samenleving). <https://www.sciencedirect.com/journal/energy-for-sustainable-development/vol/33/suppl/C>
- 61 *Basic Needs ...* (zie boven) p.191-192 bij 1,0 tot 1,2 kW is het gemiddelde welvaartsniveau zoals in industriële landen volgens Palmedo, P.F. et al. (zie boven). Tabel 2 illustreert het niveau.
- 62 Krugmann, H.; Goldemberg, J. (1983) *The Energy Cost of Satisfying Basic Human Needs*, *Technological Forecasting and Social Change*, Afl.24, pp.45-60.

63 British Petroleum, BP (2020) *Statistical Review of World Energy*

<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>

Op p.7: onder 'renewable' valt biobrandstof maar niet (electriciteit uit) waterkracht noch traditionele biomassa: zie <https://ourworldindata.org/renewable-energy> waar de grafiek 'renewable energy world' verwijst naar BP's *Statistical Review of Global Energy*. Het volgende betreft 2019. Opgewekt is waterkracht 4222,2 TWh=15,200 EJ (p.61); wind 1429,6 TWh=5,1466 EJ; zon 724,1 TWh=2,6068 EJ en overige 'renewable' electriciteit 651,8 TWh =2,346 EJ, waar biobrandstof ontbreekt (zie de analyse hieronder); totaal 'renewable' 2805,5 TWh = 10,100 EJ (p.55) en 25,300 EJ met waterkracht erbij.

Deze hoeveelheden zijn gebaseerd op 'gross generation' en 'gross output' volgens voetnoten bij de tabellen; niet vermogen maar energie wordt genoemd, dus hier hoeft de capaciteitsfactor (zie definities) niet op toegepast te worden. Dan nu de TPES.

Delen door de *thermal equivalent efficiency factor* 0,404 (zie definities) levert verbruik: water 37,62 EJ (p.51: 37,64 EJ; p.9: 37,66 EJ); wind 12,739 EJ; zon 6,452 EJ; overige 5,807 EJ; totaal 'renewable' 25,00 EJ (p.9: 28,98 EJ). Biobrandstof is 1776 kBOE/d (p.57) = 3,969 EJ.

Blijkbaar ontbreekt deze reeds in overige 'renewable'. Hernieuwbaar zonder biobrandstof is dus 62,62 EJ. Het totale verbruik (TPED) is 583,90 EJ (p.8) dus voor TSED met alleen fossiele brandstof maal 0,404.

64 International Energy Agency, IEA (nov. 2019) *World Energy Outlook 2019*

<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019> Grafiek 'Installed power generation capacity by source in the Stated Policies Scenario, 2000-2040'. IEA lijkt de wereldwijde TPED niet meer te publiceren. Beschikbaar: 700 wind, 700 zon, 1400 water, 200 overig (incl. biomethaan) GW vermogen Met de capaciteitsfactoren uit de definities (en 'overige' weggelaten, want mogelijk voornamelijk biomassa) is dit 30,57 EJ.

65 Det Norske Veritas, DNV (2020) *Energy Transition Outlook 2020*. Tabel 2.1, p.67 op basis van IEA gegevens.: wind 5, zon 4, water 16, aarde 3 EJ in 2018.

<https://www.dnvgl.sg/article/energy-transition-outlook-2020-download-190758>

66 BP *Statistical Review* (zie boven) p.50: 24,92 EJ maal de TEE van 0,404.

67 IEA WEO 2019 (zie boven) grafiek 'Electricity generation by fuel and scenario, 2018-2040' (door op de sectie *Electricity* te klikken) levert 3 PWh=10,8 EJ nucleair in 2018 en 2020.

<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/electricity#abstract>

68 DNV 2020 (zie boven) tabel 2.1, p.67: 30 EJ nucleair in 2018. DNV baseert zich op IEA en noemt geen TWh dus maal 0,33 volgens de IEA telling.

69 International Renewable Energy Agency, IRENA (aug. 2020) *Bioenergy*, Recycle, nr.5. Op p.41: 52 EJ primaire bio-energie in 2017, 70 tot 125 EJ in 2050 volgens het huidige en een meer ambitieus scenario. Volgens de vuistregel (zie definities) 20% van 52 EJ.

Overigens, fig.5, p.29 (binnengebruik): de 30+5 EJ gebruik van (traditionele+moderne) bio-energie in 2017 is 0+10 EJ in 2030. Op p.6: traditionele bioenergie moet uitgefaseerd worden. Via <https://irena.org/bioenergy> naar [https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/CC\\_05\\_Recycle\\_bioenergy\\_2020.pdf](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/CC_05_Recycle_bioenergy_2020.pdf)

- 70 World Bioenergy Association, WBA (3 dec. 2019) *Global Bioenergy Statistics 2019*. Op de webpagina 'In 2017, 55.6 EJ of biomass was utilized for energy purposes' maar dit is niet terug te vinden in de tabellen, die ook slechts 'supply' noemen. Met de vuistregel (zie definities) 20% hiervan als TSES.  
<https://worldbioenergy.org/news/508/47/Bioenergy-continues-to-play-a-prominent-role-in-global-energy-mix>
- 71 Teske, S. (red.) (2019) *Achieving the Paris Climate Agreement Goals: Global and Regional 100% Renewable Energy Scenarios with Non-energy GHG Pathways for +1.5°C and +2°C*, Springer International Publishing. Het IEA vindt 51,5 EJ biomassa voor 2017, zie tabel 7.1, p.163. Hanteer weer de vuistregel van 20% uit de definities.  
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-05843-2.pdf>
- 72 DNV 2020 (zie boven) tabel 2.1, p.67: 57 EJ bio-energie in 2018.
- 73 V.N. bijv. <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019-Wallchart.pdf>
- 74 Hansen, J.P.; Narbel, P.A.; Aksnes, D.L. (April 2017) *Limits to growth in the renewable energy sector*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, jrg.70, pp.769-774. In de conclusie nemen de auteurs de bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval als schatting van 1,6 TW rond 2030 voor zon en wind gecombineerd. Dit is te optimistisch. Beter is om de mediaan van de klokkurve te nemen, dus de verwachting, dan volgt 0,736 TW wind en 0,554 TW zon uit tabel 1. Met voorspellingen van de 'stakeholders' erbij, tellen ze genoemde afzonderlijke genoemde bovengrenzen van zon en wind op en komen op 1,8 TW. De verwachting levert 0,9355 TW wind en 0,758 TW zon. Dan nog is hier geen conclusie uit te trekken omdat waterkracht en biomassa ontbreken. (In Europa is waterkracht al afgevlakt tot 62,5 GW, d.w.z. 0,868 EJ maar de studie bevat geen resultaat voor de hele wereld.) Het vermogen wordt naar secundaire energie omgerekend met de capaciteitsfactoren.
- 75 BP (2015) *Energy Outlook 2035*. Grafiek 'Consumption by fuel': in 2015 en 2020 zijn waterkracht en nucleair beide grofweg  $\frac{3}{4}$  Gtoe (zo'n 30 EJ) en nucleair komt overeen met een nauwkeuriger schatting van BP dus geen deling door 0,404. Wind plus zon zijn te klein om te meten maar blijken in 2020 volgens BP's *Statistical Review*  $\frac{3}{8}$  Gtoe zijn. De kopie <https://www.instituteforenergyresearch.org/fossil-fuels/coal/bp-energy-outlook-to-2035/> bevat alleen grafieken, net als het origineel uit de wayback machine:  
[https://web.archive.org/web/20150322010349/http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/energy-outlook-2015/Energy\\_Outlook\\_2035\\_booklet.pdf](https://web.archive.org/web/20150322010349/http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/energy-outlook-2015/Energy_Outlook_2035_booklet.pdf)
- 76 British Petroleum, BP (14 sep. 2020) *Energy Outlook*. In 2030 met het *rapid scenario* waterkracht 47,02 EJ, zon 30,03 EJ, wind 41,49 EJ, nucleair 29,88 EJ, biogas 10,31 EJ. Maal de TEE van 0,419 om deling door deze TEE ongedaan te maken. Zie [bp-energy-outlook-2020-summary-tables.xlsx](https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html) uit <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>
- 77 IEA WEO 2019 (zie boven) *Electricity*, fig. 'Electricity generation by fuel and scenario, 2018-2040'. Wind 3 of 4 PWh, zon ook 3 of 4 PWh bij het huidige resp. een duurzaam beleid in 2030.

- 78 Teske (zie boven) fig.5, p.xxvii (zie 8.1.10, p.188): 2030 nagemeten met <https://www.rapidtables.com/web/tools/pixel-ruler.html> levert voor 2°C à 1,5°C als aantal pixels: hernieuwbaar 345 à 405, nucleair 24 à 25, water 33 à 32, wind 48 à 62, bio 140 à 160, zon 81 à 100, aarde 43 à 51 en 100 EJ is 191. De enige overige informatie lijkt tabel 8.1 op p.180 te zijn..
- 79 DNV 2020 (zie boven) Tabel 2.1, p.67: wind 16, zon 17, water 22, biomassa 62, aardwarmte 5, nucleair 36 EJ in 2030. Bron voor wind is IEA (p.108) en voor zonnecellen is IRENA (p.104, zie p.119 voor zonnecellen).
- 80 BP *Energy Outlook* (zie boven).
- 81 IEA WEO 2019 (zie boven) *Electricity*, fig. 'Electricity generation by fuel and scenario, 2018-2040'. Waterkracht levert 5 of 6 PWh bij het huidige resp. een duurzaam beleid in 2030, beginnend bij 4 PWh in 2018.
- 82 Teske (zie boven) fig.5, p.xxvii. Op p.113: waterkracht wordt niet verder uitgebreid vanwege allerlei risico's.
- 83 DNV (zie boven) fig.3.17, p.113: 6 PWh in 2030 (bron: IEA).
- 84 IEA WEO 2012 (zie boven) p.216: 118 en 217 Mtoe (current policy) in 2020 resp. 2035 dus na lineaire interpolatie 184 Mtoe= 7,70 EJ maal 0,448 (benadering, zie definities)
- 85 Teske (zie boven) fig.5, p.xxvii. Waarden 22,51 tot 26,70 EJ maal 0,448 (benadering, zie definities). De stijging van aardwarmte wordt niet toegelicht.
- 86 Teske (zie boven) tabel 7.1, p.163: 2,4 EJ maal 0,448 (benadering, zie definities).
- 87 IRENA *Geothermal Energy, Electricity Generation Trends*: 88408 GWh=0,318 EJ in 2018, maal 0,448 (benadering, zie definities). <https://www.irena.org/geothermal>
- 88 Friedemann, A.J. (27 juni 2020) *Can Geothermal power make up for declining fossil fuels?* Met name de afstand tussen bron en afnemer maakt aardwarmte nauwelijks rendabel. <http://energyskeptic.com/2020/geothermal/>
- 89 DNV (zie boven) p.119: aardwarmte 3,4 EJ in 2018 en 'economic factors will limit its expansion to only marginal growth of 0.8% between now and 2050'. Lineaire interpolatie levert 3,41 EJ, maal 0,448 (benadering, zie definities).
- 90 Van der Zwaan, B.; Dalla Longa, F. (2019) *Integrated assessment projections for global geothermal energy use*, *Geothermics*, Afl. 82, pp. 203-211. fig.1, p.206: 162 TWh electriciteit; fig.2, p.207: 1133 TWh warmte bij huidig beleid in 2030. Bron IEA, dus maal 0,448 (benadering, zie definities). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037565051930094X>
- 91 BP's *Energy Outlook* noemt geen overig hernieuwbaar. IEA's WEO 2012 noemt verder alleen tamelijk verwaarloosbare getijdenkracht en IEA's WEO 2019 gewaagt enkel van vermogen, maar onbekend welke capaciteitsfactoren dan zijn toe te passen
- 92 Anderson A.; Rezaie, B. (2019) *Geothermal technology: Trends and potential role in a sustainable future*, *Applied Energy*, Afl.248, pp.18-34. Op p.28: '[...] it is difficult to analyze geothermal technology as a whole [...] Most data is reported anonymously, which results in large uncertainty.'
- 93 Hansen et al. (zie boven) tabel 1: 360 GW. Toepassen van de capaciteitsfactor 0,825.

- 94 BP *Energy Outlook* (zie boven) 29,88 EJ maal de TEE van 0,419 om de electriciteit te reconstrueren (en niet de warmte, naar hier is aangenomen).
- 95 IEA *Electricity* (zie boven) en die 10,8 EJ is electriciteit, dus niet quasi-primair volgens IEA.
- 96 Teske (zie boven) fig.5, p.xxvii. Gezien de ordegrrootte een vertaling van electriciteit.
- 97 DNV (zie boven) fig.3.18, p.115: 3,25 PWh in 2030. Gezien de grootte: electriciteit.
- 98 BP *Energy Outlook* (zie boven) 10,31 EJ. Niet maal de TEE van 0,419 omdat dit reeds primaire energie is. Met de vuistregel (zie definities) 20% hiervan nemen.
- 99 IRENA *Bioenergy* (zie boven). In 2050 volgens het huidige scenario na lineaire interpolatie 59,09 EJ in 2030 dus 20% is 11,82 EJ secundaire bio energie (vuistregel, zie definities).
- 100 Teske (zie boven) fig.5, p.xxvii: 73,30 tot 83,77 EJ maal 20% (vuistregel, zie definities).
- 101 Wikipedia (3 feb. 2020) lemma 'International Energy Agency'.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Energy\\_Agency#Criticism](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Energy_Agency#Criticism)
- 102 Moriarty, P.; Honnery D. (jan. 2012) *What is the global potential for renewable energy?* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, jrg.16, nr.1, pp.244-252.
- 103 Moriarty, P.; Honnery, D. (juni 2016) *Can renewable energy power the future?* *Energy policy*, jrg.93, pp.3-7.
- 104 Trainer, T. (mei 2012) *A critique of Jacobson and Delucchis proposals for a world renewable energy supply*, *Energy Policy*, jrg.44, pp.476-481 (antwoord op pp.482-484).
- 105 Smil, V. (2019) *What we need to know about the pace of decarbonization*. *Substantia* Jrg.3 nr.2 Suppl. 1, pp. 13-28 <http://vaclavsmil.com/wp-content/uploads/2020/01/Substantia.pdf>
- 106 Teske (zie boven) tabel 5.2, p.102.
- 107 Een standaard actuariële berekening (ongepubliceerd).
- 108 *Energy situation ...* (zie boven) p.2144: Waterkracht brengt 2352 MW op, waarvan netto 365 MW geëxporteerd, terwijl aluminiumproductie (voor de export) 850 MW vereist (neem aan: van deze waterkracht; Wikipedia: het bedrijf, Mozal, opereert sinds 2000).
- 109 Keita, J.D. (1985?) *Wood or charcoal - which is better?* FAO. Verbrandingswaarden in Kcal van 1 kg: primair (secundair) groen hout 3500 (280); droog hout 4500 - 4770 (360-381); houtskool 7500 (420). Rendement van hout is 8% als de pan op drie-stenen staat, in Africa zelfs 5%. (De 12,76% is een laboratoriumwaarde.) Rendement van houtskool is 28%. Houtskool maken en vervoer kosten ook energie.  
<http://www.fao.org/3/s4550e/s4550e09.htm>
- 110 Das, K.; Pradhan, G.; Hiloidhari, M.; Baruah, D.C.; Nonhebel, S. (2017) *Household Time Requirements for Producing Cooking Fuels in Rural Areas in Developing Nations*. 25th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden.  
 Tabel III, p.181: hout bevat 16,8 MJ/kg en gewone oven heeft rendement van 10%.  
[https://www.researchgate.net/publication/318745645\\_Household\\_Time\\_Requirements\\_for\\_Producing\\_Cooking\\_Fuels\\_in\\_Rural\\_Areas\\_in\\_Developing\\_Nations](https://www.researchgate.net/publication/318745645_Household_Time_Requirements_for_Producing_Cooking_Fuels_in_Rural_Areas_in_Developing_Nations)
- 111 *Emissions and efficiency ...* (zie boven) Tabel 4, p.746: secundair 4,567 MJ per 1,814 kg hout.
- 112 Bensch, G.; Peters, J; Schraml, L. (2008?) *Energy Usage and Socio-economic Conditions in Mozambique*, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, band 56. Op p.15: huishoudelijke energie is voor 91% afkomstig van hout.

- [http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-materialien/M\\_56\\_Baseline-Mozambique.pdf](http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-materialien/M_56_Baseline-Mozambique.pdf)
- 113 Mangué, P.D. (2000) *Review of the existing studies related to fuelwood and/or charcoal in Mozambique*. Europese Commissie / FAO. 2.2: in agrarische gebieden wordt uitsluitend hout gestookt, namelijk jaarlijks 5000 kg per huishouden. Dit is minder in Maputo, een stad van bijna 1M inwoners. 2.4: jaarlijks 0,665 of 1,2 m<sup>3</sup> hout per persoon, al naar gelang de studie. Hier wordt 1 tot 1,7 m<sup>3</sup> geschat zonder onderbouwing. (Het volume is ongeschikte maat.) <http://www.fao.org/3/X6796E00.htm>
- 114 Brouwer, R.; Falcão, M.P. (2004) *Wood fuel consumption in Maputo, Mozambique*, Biomass and Bioenergy, afl.27, pp.233–245. Op p.238: per huishouden dagelijks 2,99 kg houtskool en 5,8 kg hout. Maar vergelijk tabel 5. Een huishouden telt gemiddeld 5,89 leden, maar huishoudens die uitsluitend hout stoken tellen 7,51 leden en huishoudens die slechts houtskool stoken tellen 6,18 leden gemiddeld.
- 115 ArcGIS hub (2019) *Mozambique Average Household Size* (bron: Michael Bauer Research) <https://hub.arcgis.com/datasets/28dc47d0e37a4bea9592f808de511861>
- 116 *Household Time Requirements* (zie boven). Op p.179: in Ghana maandelijks 92,8 kg hout per huishouden (dat een gemiddelde grootte van 3.5 personen heeft.) Tabel II, p.181: 0,88 kg per dag per persoon in Ghana; hout verzamelen kost er gemiddeld 4.6 uur. Op p.182: kooktijd blijft buiten beschouwing.
- 117 *Emissions and efficiency...* (zie boven) Tabel 3, p.745: 3,84 kg hout op open vuur gedurende 2 uur en 2 min om bonen en tortilla's te bereiden. Dus dagelijks 9,67 MJ secundair.
- 118 Cuvilas, C.A.; Jirjis, R.; Lucas, C. (sept. 2010) *Energy situation in Mozambique: A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, Afl. 14, nr.7, pp.2139-2146. Op p.2141: productie (primaire) van 14,8 Mg hout incl. houtskool. Efficiëntie van houtstook is 10% of minder. Op p.2142: in de officiële cijfers blijft illegale houtverwerking buiten beeld, dus negeer figuur 4. In Tabel 3 is houtskool slechts een fractie van de energieproductie. De energie uit biomassa was 307 PJ in 2005 en 313 PJ in 2006. Lineaire extrapolatie: 302 PJ in 2004.
- 119 *Energy Balances of non-OECD countries* (zie boven) Op p. II 324: 19,4 M mensen.
- 120 GRNB (2008) *Avaliação dos níveis de consumo da energia de biomassa nas províncias de Tete, Namputa, Zambézia, Sofala, Gaza e Maputo*. Op p.23, tabel 10 en p.26, tabel 12: 722 kilo houtige biomassa per jaar per persoon. Dit is gedaan door direkt te meten. Op p.19: 120 kilo per persoon per jaar, maar p.18 veel blijft buiten de officiële boeken (houtskool zelfs zo'n 90% terwijl dat in de steden de belangrijkste energiebron is) [https://energypedia.info/wiki/File:PT-AVALIA%C3%87%C3%83O\\_DOS\\_N%C3%8DVEIS\\_DE\\_CONSUMO\\_DA\\_ENERGIA\\_DE\\_BIOMASSA\\_NAS\\_PROVINCIAS\\_DE\\_TETE,\\_NAMPULA,\\_ZAMB%C3%89ZIA,\\_SOFALA,\\_GAZA\\_E\\_MAPUTO-Almeida\\_A.\\_Siteo\\_.;et.al..pdf](https://energypedia.info/wiki/File:PT-AVALIA%C3%87%C3%83O_DOS_N%C3%8DVEIS_DE_CONSUMO_DA_ENERGIA_DE_BIOMASSA_NAS_PROVINCIAS_DE_TETE,_NAMPULA,_ZAMB%C3%89ZIA,_SOFALA,_GAZA_E_MAPUTO-Almeida_A._Siteo_.;et.al..pdf)

Laatste bladzijde.