

# Meer dan elektriciteit en waterstof

Onze energievoorziening in 2050

Metske Steensma



Eburon  
Utrecht 2021

ISBN 978-94-6301-371-0

Academische Uitgeverij Eburon, Utrecht  
[www.eburon.nl](http://www.eburon.nl)

Omslagontwerp: Textcetera, Den Haag  
Afbeelding omslag: Ron Norp  
Grafisch ontwerp: Studio Iris, Leende

© 2021 M. Steensma. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de rechthebbende.

# INHOUD

---

INLEIDING	
<b>ENORME INSPANNINGEN OP KOMST</b>	<b>9</b>
HOOFDSTUK 1	
<b>NEDERLAND IN HET JAAR 2050, ZONDER FOSSIELE BRANDSTOFFEN</b>	<b>15</b>
1. Het klimaatakkoord van Parijs (2015)	15
2. Zonne-energie, ons belangrijkste verdedigingsmiddel	22
Conclusies	24
HOOFDSTUK 2	
<b>SCHATTINGEN VOOR EFFECTIVITEIT VAN TECHNIEKEN</b>	<b>25</b>
HOOFDSTUK 3	
<b>DE TOEKOMST TEGEMOET MET SYNTHETISCHE BRANDSTOFFEN</b>	<b>33</b>
1. Onze verslaving aan fossiele brandstoffen	33
2. Rechtstreekse inzet van waterstof als brandstof	34
3. Waterstof voor de aanmaak van gasvormige brandstoffen	36
4. Waterstof voor de aanmaak van vloeibare brandstoffen	40
5. Explosieve kracht van sterk gecomprimeerde waterstof	44
6. Grootschalige opslag van waterstof als gas	45
7. Grootschalige opslag van waterstof als vloeistof (LH2)	46
8. Chemische, tijdelijke opslag van waterstof	46
9. Haalbaarheid aspecten	46
Conclusies	49

## HOOFDSTUK 4

### **BRANDSTOFFEN VOOR DE TRANSPORTSECTOR** **51**

1. Soorten transportmiddelen 51
2. Algemene problemen bij elektrisch rijden 51
3. Brandstofkosten 'duurzame brandstof' vergeleken met elektrisch 54
4. Zwaardere voertuigen: elektrificatie heeft grenzen 56
5. Technische consequenties als overgang op elektriciteit verplicht wordt 58
6. Waterstof of vloeibare brandstof? 59
7. Toekomstig energieverbruik in de transportsector 60

## HOOFDSTUK 5

### **ELEKTRICITEIT, DE PRIMAIRE ENERGIE;**

#### **OPWEKKING EN OPSLAG** **63**

1. Grootschalige opwekking van elektriciteit, in de toekomst 63
2. Omgaan met uitval en opslag van elektriciteit 65

## HOOFDSTUK 6

### **ZONNECOLLECTOREN: GEMISTE KANSEN** **75**

1. Zonnecollectoren: systeembeschrijving en ruimtebeslag 75
  2. Kostenvergelijking tussen zonnecollectoren en kerncentrales 82
  3. Het voordeel van lagere belasting van het elektrisch net 84
  4. Andere warmteopslagmogelijkheden 85
- Conclusies 90

## HOOFDSTUK 7

### **KERNENERGIE** **91**

- De Duitse 'Energiewende'/'Atomausstieg' 93
- Kernfusie van twee lichte elementen tot een zwaarder element 93
- Conclusies 95

## HOOFDSTUK 8

### GEOTHERMIE

**97**

De Aarde bevat toch zo veel warmte?!	97
Gebruik van diep grondwater voor verwarming van een kassencomplex	99
Gebruik van diep grondwater voor wijkverwarming, de 'Paris Basin' aanpak	100

## HOOFDSTUK 9

### EEN VOORUITZICHT VOOR HET JAAR 2050

**103**

De wereld is groter dan Nederland	103
Situatie in Hassi R'mel, Midden/Noord Algerije, 15 juli 2050	103
Situatie in Nederland en omliggende landen	106
Waarom richtte men het oog op de Sahara-landen?	110

## NAWOORD

**111**

## APPENDIX

**119**

A.0 Eenheden	119
A.1 Productie van biobrandstof	121
A.2 Moleculaire zeef (zeoliet) om warmte op te slaan en weer af te geven	124
A.3 Waterstofopslag onder hoge druk in een zoutholte	125
A.4 Huidige waarde voor energievangst in $W/m^2$ van een zonnepaneel	127
A.5 Het effect van afnemende saldering	128
A.6 Verliezen bij de aanmaak van synthetische brandstoffen	131
A.7 Indicatieve berekening aan het elektrificeren van zware voertuigen	134
A.8 Vliegtuigen	137
A.9 Energieverbruik van de transportsector, jaar 2050 vergeleken met 2021	139

**GERAADPLEEGDE LITERATUUR** **141**

**DANKWOORD** **151**

## INLEIDING

# ENORME INSPANNINGEN OP KOMST

---

Volgens de afspraken in het Klimaatakkoord van Parijs (2015) is Nederland verplicht om in het jaar 2050 de CO<sub>2</sub> (kooldioxide)-uitstoot in balans te hebben met de natuurlijke verwijderingssnelheid van CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer, waardoor de temperatuur op Aarde niet meer dan 2 °C stijgt, maar nog liever niet meer dan 1,5 °C.

De EU en 195 landen hebben dit akkoord getekend, en het komt neer op vrijwel volledige uitbanning van fossiele brandstoffen.

Dit vergt een grote omschakeling, want we zijn daar nog zeer afhankelijk van. Er moeten enorme inspanningen worden verricht voor het verkrijgen van een duurzame energievoorziening in de toekomst. Hiervan hebben vele mensen getalsmatig geen goed beeld.

Het is belangrijk dat de noodzakelijk inspanningen duidelijk worden gemaakt in begrijpelijke taal. Wat zijn eigenlijk ‘enorme getallen’?

Hier moeten we enige voorbeelden van geven om een beeld te krijgen.

Op 27 december 2020 raasde de storm Bella over ons land. Al een paar dagen zag men haar aankomen: een enorm windveld vulde het grootste deel van de Noordelijke Atlantische Oceaan, en schoof naar het oosten. Het getal 10 miljard ton TNT (een goed gedocumenteerd explosief) als de energie in een grote Atlantische depressie kwam terug in mijn herinnering.

Dit komt overeen met een energie van meer dan 10.000 x miljard kWh, en Nederland zou hiermee minstens tien jaar het energieverbruik kunnen dekken. Soms leveren orkanen /cyclonen /tyfoons nog

meer energie. Als het in de natuur over energie gaat hebben we het over grote getallen!

Dit geldt ook voor wat komen gaat op energiegebied. Ons energieverbruik in Nederland, bijvoorbeeld, is equivalent aan het verbranden van de lading ruwe olie in één supertanker (200.000 ton) per dag!

Een misschien meer aansprekende omrekening is: iedere vijf minuten wordt ergens in Nederland een vuur gestart zo groot als de Scheveningse ‘Nieuwjaarsbrand’, die leidde tot een vuurtornado op 1 januari 2019. En dat dag in, dag uit.

Grote getallen vinden we ook als we te nemen maatregelen in de naaste toekomst bekijken. In september 2018 stond in de krant [*Trouw*] over de 49% reductie in CO<sub>2</sub> in het jaar 2030 het volgende:

“Willen we deze doelstelling halen dan moet *iedere dag* 250 000 kWh worden verduurzaamd, 12 jaar lang”.

Jammer dat de krant dit niet vertaalde naar meer begrijpelijke termen, bijvoorbeeld

- We zouden dan *iedere dag* twee superwindturbines moeten plaatsen van 10.000 kW capaciteit, met een gemiddelde capaciteit van 5000 kW, en dat 12 jaar lang!
- Of we zouden 1,5 miljard zonnepanelen moeten plaatsen in 12 jaar tijd, ofwel *iedere dag* bijna 350.000 stuks

De auteur heeft zich een kwantitatief beeld gevormd over de verplichtingen die volgen uit het Parijsakkoord. Het is een brainstorm, gebaseerd op feiten, ondersteund door berekeningen, over wat we gereed zouden moeten hebben rondom het jaar 2050, maar in mindere mate over hoe we dat zouden moeten organiseren.

Bij het evalueren van de energiesituatie in 2050 komen enorme getallen tevoorschijn. De energiebehoefte van Nederland, de laatste jaren ruim 800 miljard kWh per jaar volgens de CBS-gegevens, kan worden gedekt door windparken met een totale oppervlakte



van meer dan 23.800 km<sup>2</sup> in de Noordzee, dit is bijna de helft van de Nederlandse economische zone van de Noordzee. De noodzakelijke oppervlakte wordt nog groter, omdat we brandstoffen nodig hebben, het kan niet allemaal elektrisch. Waarschijnlijk wordt het voordeliger om elektriciteit en duurzame brandstoffen op de wereldmarkt te kopen, over enige decennia. De landen met veel zonschijn hebben natuurlijk niet stilgezeten!

Met alleen zonnepanelen zouden we een gebied van meer dan 6100 km<sup>2</sup> moeten volbouwen, een gebied zo groot als de provincies Gelderland en Utrecht bij elkaar. Dit is een enorme oppervlakte, we komen dus nooit uit met zonneparken op het land! Met windturbines al helemaal niet, door hun veel lagere opbrengst per m<sup>2</sup>.

Ook op het ondernemersvlak dreigen problemen, als men alles elektrisch wil doen.

Vrachtauto's zouden ca. 24 ton zwaarder worden door hun accupakket, meer dan de helft van hun maximale gewicht van 40 ton. Er blijft dan nauwelijks vervoerscapaciteit over. De expeditiebedrijven moeten een flink aantal 400 kW-aansluitingen hebben voor hun wagenpark.

Binnenvaartschepen worden ca. 88 ton zwaarder, en de laadinstallatie moet 1500 kW kunnen leveren, als men alleen 's nachts kan bijladen.

Als tractoren elektrisch worden aangedreven dan moet iedere landbouwer een laadpaal hebben van 100 tot 600 kW, afhankelijk van het gewicht van de tractor en de beschikbare laadtijd. Bovendien gaat iedereen op ongeveer hetzelfde moment aan de laadpaal! Kan het elektriciteitsnet dit aan?

En agrarische loonbedrijven hebben nog veel meer laadinstallaties van een nog zwaarder kaliber nodig, omdat hun nog zwaardere landbouwmachines soms dag in, dag uit draaien.

Bovenstaande schattingen geven aan dat we beslist duurzame brandstoffen moeten gaan ontwikkelen. Want waarschijnlijk zullen landbouwer, expediteur en binnenvaartschipper nooit over kunnen

gaan op elektriciteit. Er moet geld verdiend worden met zware transportmiddelen, en niet met accupakketten worden rondgezeuld.

Ook vliegen (althans met passagiers of vracht) *kan niet* elektrisch, men *moet* overgaan op een duurzame vloeibare brandstof. Dit wordt in appendix A.8 toegelicht.

Containerschepen op zee hebben thans een voorraad stookolie nodig van ca. 13000 ton. Elektrische aandrijving is ondoenlijk want er kan niet worden bijgeladen op volle zee. Men *moet* overgaan op een andere duurzame brandstof. Dit geldt waarschijnlijk ook voor vissersschepen die dagenlang op zee verkeren

Om elektriciteitsuitval in geheel Nederland gedurende vijf dagen op te vangen moet er veel gedaan worden: tientallen zoutholtes moeten zijn gevuld met hogedruk waterstof. Een alternatief is het gebruik van bulk tanks met duurzame vloeibare brandstof, verspreid over het land, in de buurt van centrales. Deze moeten we dan wel ‘in ere houden’ als fossiele brandstoffen niet meer kunnen of mogen.

Het is zeer onduidelijk hoe de energietransitie precies zal lopen, want de overheid heeft de regie voor de energietransitie min of meer uit handen gegeven, er is geen deltaplan. De energiebedrijven zijn verkocht, en een dertigtal regio's moeten het maar uitzoeken. Niet lang geleden [*Trouw*, 22-3-2021] kwam er een concept op tafel om meer burgerfora samen te stellen, met een representatieve samenstelling, ter ondersteuning van de overheid. Maar een regio of burgerforum kan geen windturbinepark regelen op de Noordzee, of een waterstoffabriek organiseren. Een regio of burgerforum kan ook geen contacten opzetten met een Sahara-land als Algerije voor een groot zonnepark aldaar, of alternatieve brandstoffen laten aanmaken, hier of elders. Noch kan een regio of burgerforum de ontwikkeling ervan bespoedigen, of opslagen regelen om uitval van elektriciteit te bufferen, of een stuwmeer voor elektriciteitsopslag in Noorwegen regelen.

De regio's hebben een vrijwel onuitvoerbaar opdracht gekregen. En komen enthousiast en bijna voorspelbaar uit op veel extra zonne-

panelen op huizen, gebouwen, taluds of vlak land, en windturbines aan de rand van de regio's.

De conclusie is duidelijk: de overheid moet de volledige regie krijgen over het energiebeleid.

## HOOFDSTUK 1

# NEDERLAND IN HET JAAR 2050, ZONDER FOSSIELE BRANDSTOFFEN

---

### 1. Het klimaatakkoord van Parijs (2015)

Het klimaatakkoord van Parijs is het kader voor de wereld als geheel. In het jaar 2050 moet de CO<sub>2</sub>-productie in balans zijn met de natuurlijke verwijderingssnelheid van CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer, waardoor de temperatuur op Aarde niet meer dan 2 °C stijgt, maar liever nog niet meer dan 1,5 °C. Getalsmatig betekent dit een ‘zo goed als volledige’ ofwel 95% eliminatie van CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Eigenlijk is de doelstelling een zodanige eliminatie van ‘broeikasgassen zoals CO<sub>2</sub>’ dat de bovenstaande temperatuurstijgingen niet worden overschreden. In de praktijk zal het niet zoveel uitmaken als we CO<sub>2</sub> lezen in plaats van broeikasgassen. Het klimaatakkoord van Parijs werd door de Europese Unie en 195 landen getekend.

President Trump (vs) trok zich terug uit het akkoord, maar de nieuwe president Biden onderstreepte kortgeleden (januari 2021) het enorme belang van klimaatbeheersing en bracht de vs weer in beeld.

Nederland ontwikkelde een klimaatbeleid voor de kortere termijn tot 2030. Dit moet zorgen dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2030 met 49% verminderd moet zijn in vergelijking met 1990. Dit wordt mogelijk nog gewijzigd in een reductie van 55%, als de overige EU-landen meedoen. De te nemen maatregelen hiervoor zijn vastgelegd voor vijf sectoren in de zogenoemde klimaattafels, die een bepaalde hoeveelheid CO<sub>2</sub> moeten verminderen.

- Huizen en gebouwen	3,4	Mton CO <sub>2</sub> minder
- Vervoer/Mobiliteit	7,3	Mton CO <sub>2</sub> minder
- Industrie	14,3	Mton CO <sub>2</sub> minder
- Elektriciteitsproductie	20,2	Mton CO <sub>2</sub> minder
- Landbouw	3,5	Mton CO <sub>2</sub> minder

Voorgestelde ideeën, meteen na de invoering van de klimaattafels (medio 2018), zijn:

- huizen en gebouwen: isolatie, warmtepompen, aansluiten op warmtenetten;
- industrie: CO<sub>2</sub> opslaan, aardgas van elders, elektrificeren, overstappen op waterstof;
- elektriciteitsproductie: wind- en zonneparken;
- landbouw o.a. warmte-koudeopslag voor kassen;
- vervoer/mobiliteit: elektrisch rijden, synthetische kerosine, ‘anders reizen met de ov-jaarkaart’.

In december 2018 werden de uiteindelijke ideeën gepresenteerd. Deze zouden worden doorgerekend door het Centraal Planbureau, waarna besluiten zouden moeten volgen. Tevens zou een publieke discussie volgen over wie de rekening moet betalen. De milieugroepen zijn echter niet akkoord gegaan.

Voor de gewone burger geeft het kabinet het advies om te investeren in duurzamer rijden en isolatie van de woning op een moment dat het hem of haar past.

Geen woord over minder vliegen, minder vlees gebruiken, minder spullen kopen, snelheidsbeperkingen, wel/niet gebruik van terrasverwarming, wel/niet open winkeldeuren in de winter, samen rijden naar het werk, hergebruik van goederen, circulaire landbouw, et cetera.

Het is namelijk zo dat de verwarming van onze huizen slechts 13% van het energiegebruik in Nederland is. Ons koop- en vervoersgedrag bepaalt in veel grotere mate het verbruik aan energie dan ons wonen.

In juli 2021 werden de plannen van de Europese Unie (EU) bekend gemaakt, beschreven in de 'Green Deal' door F. Timmermans, vice-voorzitter van de EU. Een veelomvattend programma om uiteindelijk te voldoen aan de akkoorden van Parijs. Er is een duidelijke tijdlijn voor de toename van duurzaam opgewekte energie. Er is nadruk op elektrificatie van de auto's, gesteund door de aanleg van vier miljoen laadpalen in Europa. De CO<sub>2</sub> uitstoot wordt ingeperkt via emissiehandel en belasting op fossiele brandstoffen. Scheepvaart, luchtvaart en ook producten uit landen, die goedkoop exporteren door fossiele brandstoffen te blijven gebruiken, worden belast.

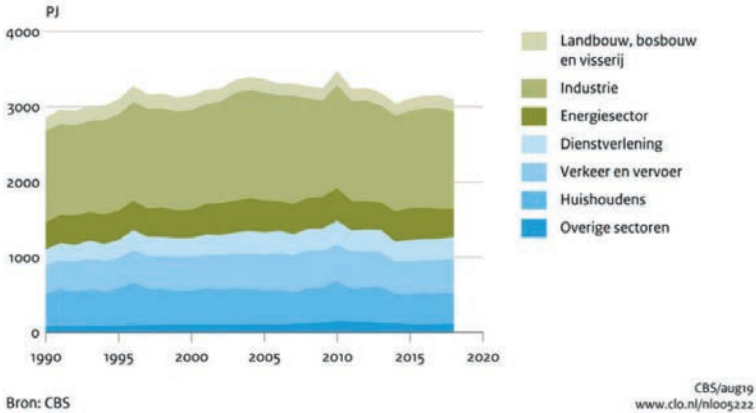
Het document lijkt uit te gaan van een onbeperkte beschikbaarheid van elektriciteit, en er is geen aanknopingspunt hoe of hoeveel bespaard moet worden. En ook niet hoe energie moet worden opgeslagen voor noodgevallen, en of elektrificatie wel altijd de beste oplossing is.

In de inleiding stelden we dat het Nederlandse energieverbruik equivalent is aan één supertanker met aardolie per dag. Zo'n vergelijking is niet zo vreemd, want er is een sterk verband tussen energieverbruik en hoeveelheid aardolie die we verbruiken. Dit geldt niet voor enkele berglanden zoals Zwitserland en Noorwegen, die grotendeels op waterkracht kunnen draaien. En voor sommige landen die op geothermische energie draaien, zoals IJsland.

Als we het wereldenergieverbruik opzoeken vinden we vaak twee getallen: een energiehoeveelheid in exa-Joules (exa = miljoen × miljoen × miljoen, ofwel 10<sup>18</sup>) en in miljoenen tonnen aardolie als equivalent.

De Joule (symbool J) is de basiseenheid voor energie. Een handige eenheid die daarvan is afgeleid is de kWh, kilowattuur, gelijk aan 3,6 miljoen J. Deze kennen we uit het dagelijkse leven, zo verbruikt een elektrisch kacheltje met 1 kW vermogen dat een uur aanstaat 1 kWh aan energie. Een lamp van 10 W die 100 uur aanstaat verbruikt ook 1 kWh. Ter vergelijking: een gewoon huishouden verbruikt 3500 kWh elektrische energie per jaar. Bij grotere energieën is de GWh (de giga-

## Energieverbruik naar sector



**Grafiek 1.1:** Het energieverbruik naar sector. (Bron: CBS.) De eenheid is hier PetaJoule (=  $10^{15}$  J) ofwel miljard x miljoen J) per jaar, alle soorten brandstof.

wattuur, miljoen keer zo groot als de kWh) of de TWh (terawattuur, miljard keer zo groot als de kWh) handiger. Bij zeer grote energieën is het weer handig om terug te gaan naar de basiseenheid Joule, bijvoorbeeld 1 PJ (PetaJoule) =  $10^{15}$  Joule.

Maar je kunt van alles tegenkomen, zoals bijvoorbeeld de BTU (British Thermal Unit), deze vind je vaak op airconditioners, maar geen leverancier rekent dit voor je om, of kan dit niet. Hiervoor moet je zelf omrekeningsfactoren zien te vinden.

Een uitgebreidere lijst van eenheden en symbolen staat in appendix A.0.

De energiebalans in Nederland, uitgegeven door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), geven we hierboven weer.

Van de sector industrie nemen chemische industrie en raffinaderijen een groot deel van het verbruik voor hun rekening! Verder is vermeldenswaard dat onze vervoerscapaciteit (auto's, vrachtauto's,

schepen, bussen, vliegtuigen, etc.) thans nog voor 98% is gebaseerd op aardolieproducten.

Er zijn in Nederland wel doelstellingen voor CO<sub>2</sub>-reductie, maar niet voor het energieverbruik. Stel dat we 95% reductie van het energieverbruik zouden realiseren, maar voor de laatste 5% gewoon zouden verdergaan met fossiele brandstoffen dan zouden we ook voldoen aan het akkoord van Parijs! Maar dit gebeurt waarschijnlijk niet. Bijna alle bronnen die we hierop naslaan, vermelden een lichte stijging van het energieverbruik in de wereld, met misschien een ‘deuk’ ten gevolge van COVID-19. En economische groei betekent meestal meer energieverbruik.

Een maatregel om het energieverbruik te verminderen is de belasting op de uitgestoten hoeveelheid CO<sub>2</sub>. Dit stimuleert bijvoorbeeld bij de chemische industrie en staalproductie tot aanpassingen aan het proces.

De Duitse overheid is met het programma *Energiewende/Atomausstieg* wel duidelijk: er moet vermindering komen van de energieconsumptie in een bepaald tempo, zie de volgende tabel.

**Tabel 1.1:** Enkele kwantitatieve doelstellingen uit het Energieconcept 2020 van de Bondsregering Duitsland

	2020	2030	2040	2050
Broeikasgasreductie, ten opzichte van 1990	Minimaal -40%	Min. -55%		Min. -80-95%
Aandeel hernieuwbare energie	18%	30%		60%
Primair energieverbruik t.o.v. 2008	-20%		-50%	
Energieverbruik gebouwen t.o.v. 2008				- 80%
Aantal elektrische auto's	1 miljoen	6 miljoen		
Energieverbruik transport t.o.v. 2005	-10%		-40%	