

ENERGIE EN ENERGIEGEBRUIK IN NEDERLAND UITEENGEZET

Herman Damveld, Groningen, (bijgewerkt tot 31 mei 2021)

Voorwoord

Bijna dagelijks verschijnen er berichten over de aardgaswinning met de aardbevingen in de provincie Groningen, de klimaatverandering en de energievoorziening in het algemeen. Tegelijkertijd rekenen we erop dat we altijd over liefst goedkope energie kunnen beschikken. Het is ons opgevallen dat bijna nooit aan de orde komt wat energie is, hoeveel energie Nederlanders gebruiken en wat de gevolgen daarvan zijn voor mens en milieu. Daar willen we in dit artikel aandacht aan geven.

Er valt heel wat te rekenen aan energie. Door de cijfers op een rij te zetten wordt zichtbaar wat er allemaal moet gebeuren om een duurzaam energiesysteem te bereiken.

Hoofdstuk 1 geeft inzicht in wat energie is en wat we ermee kunnen doen.

In *Hoofdstuk 2* komt het energieverbruik in Nederland vanaf 1950 tot nu aan de orde, met de nadruk op het heden.

In *Hoofdstuk 3* bespreken we het toekomstige energieverbruik en de gevolgen voor het milieu. Hierbij hebben we zoveel mogelijk recente gegevens gebruikt, maar soms zijn de meest recente gegevens ouder dan drie jaar.

INHOUDSOPGAVE

HOOFDSTUK 1

INZICHT IN ENERGIE

1.1 Wat is energie?

1.2 Wat kunnen we met energie doen?

1.3 Waarvoor wordt energie gebruikt?

1.4 Energiegebruik internet

1.5 Energiebronnen voor het huishouden

1.6 Het massale energieverbruik: een uitleg

1.7 Zon als belangrijkste energiebron

1.8 Fundamentele natuurwetenschap verwaarloosd bij klimaatverandering.

HOOFDSTUK 2

ENERGIE IN NEDERLAND 1950 tot 2019

2.1 Elektriciteit als onderdeel energieverbruik

2.2 Zon en wind goed voor 1,8% energieverbruik

2.3 Nederlands gasgebruik en besparing

2.4 Warmtepomp als stap naar een energieneutraal huis

2.5 Elektriciteit in Nederland

2.6 Sterk gestegen energieverbruik

2.7 Kernenergie in Nederland

HOOFDSTUK 3

ENERGIE IN DE TOEKOMST MET GROTE GEVOLGEN VOOR HET MILIEU

3.1 Nodig: 27 keer zoveel zon en wind

3.2 Ruimtebeslag per energiebron

3.3 Watergebruik elektriciteitsopwekking

3.4 Opslag energie noodzakelijk

3.5 Uitstoot broeikasgassen van de verschillende energiebronnen

3.6 Milieugevolgen productie en consumptie: de verborgen impact

HOOFDSTUK 1

INZICHT IN ENERGIE

1.1 Wat is energie?¹

Eten en drinken leveren de energie die het lichaam nodig heeft om te kunnen functioneren. Zonder energie kan het lichaam niets. We lopen, denken, doen van alles, en zonder aanvoer van voedsel gaat dat niet. Als we niet genoeg eten, is er niet genoeg energie om door te gaan met bewegen, lopen en wat al niet. Ook als we slapen, is energie nodig om het hart te laten kloppen en de temperatuur van het lichaam op peil te houden.

Op veel producten in de winkel staat hoeveel energie erin zit: dan gaat het om calorieën, de energie die in voeding zit. Dat was vroeger de gebruikelijke eenheid voor energie. Eén calorie (afgekort cal) is de hoeveelheid energie die nodig is om één gram zuiver water (dat is één kubieke centimeter water) één graad Celsius te verwarmen.² Maar in 1978 werd een internationaal systeem van eenheden wettelijk ingevoerd en werd de calorie vervangen door de joule (spreek uit als zjoel; afgekort J). De calorie kunnen we uitdrukken in joule: 1 calorie is 4,1868 joule.³ Op die manier krijgen we verschillende eenheden voor energie. Het kan dan snel ingewikkeld worden met allerlei omrekeningsfactoren. Dat het ingewikkeld kan zijn, is een erfenis uit het verleden. We zullen hier ons best doen om het zo simpel mogelijk te houden.

Overigens, de calorie mag dan vervangen zijn door de joule, in de voeding wordt hij nog steeds gebruikt. Op de verpakking staat dan 'kcal' (dat is een kilocalorie, 1.000 calorieën) en 'kJ' (dat is 1.000 joule). Gezonde mannen hebben gemiddeld 2.500 kcal per dag nodig, vrouwen 2.000 kcal.⁴ Een mens heeft omgerekend in joule ongeveer 10.000 kJ per dag nodig.

Energie is overal. Het is datgene wat alles warm houdt en doet bewegen. Voor het menselijk bestaan is energie onmisbaar. De mens is de enige levende soort op de werldebol die een energiebron nodig heeft om eten klaar te maken en warm te blijven. Een belangrijke energiebron in Nederland is aardgas, terwijl ook een leven zonder elektriciteit bijna ondenkbaar is. De energierekening van Nederlandse huishoudens gaat over kubieke meter gas en kilowatturen. Kilowattuur korten we af als kWh.

Maar wat is nu precies energie? De definitie van energie is vrij eenvoudig: energie is de mogelijkheid om arbeid te leveren. Maar wat is dan arbeid? Arbeid is, eenvoudig gezegd, een verandering in de omgeving. Wanneer een bal stilligt verricht hij in principe geen arbeid. De bal heeft dus geen energie. Wanneer we de bal aan het rollen brengen, geven we de bal energie mee in de vorm van bewegingsenergie. Energie is een natuurkundige grootte om de geschiktheid aan te geven om arbeid te verrichten of warmte af te geven.

Bij energie is ook de term 'vermogen' belangrijk. Bij vermogen denkt men vaak aan iemand die veel geld of bezittingen heeft. Met dat vermogen kan die persoon van alles doen.

Vermogen staat voor iets wat mogelijk is. Zo is het ook met het begrip vermogen bij energie. Vermogen is een maat voor de hoeveelheid arbeid die per tijdseenheid kan worden geleverd. De eenheid van vermogen is de watt (afgekort W), de energie per tijdseenheid, bijvoorbeeld per uur. Die term komt ook voor in het gangbare begrip kilowattuur. Kilo betekent duizend, een kilogram is immers duizend gram. En zo is een kilowattuur ook duizend wattuur. Mega (M) staat voor 1 miljoen: 1 MWh is 1 miljoen wattuur en dus 1.000 kWh.

Een voorbeeld uit het wielrennen. Een topsprinter als Marcel Kittel levert in de eindsprint van een paar honderd meter zo'n 2.000 watt; een klimmer als Steven Kruijswijk trapt gedurende een lange periode 370 watt.⁵ Kruijswijk levert in 3 uur bergop duizend wattuur, 1 kWh.

Uit de literatuur halen we de volgende gegevens:

1 kWh is 3.600.000 joule, dat is 3,6 miljoen joule.

Aardgas uit Groningen heeft een energie-inhoud van 35,17 miljoen joule per kubieke meter.⁶

De energie die vrijkomt bij het stoken van gas heet ook wel verbrandingswaarde.

Een voorbeeld. Op de doos van een LED lamp staat 12 watt. Dat is het vermogen van de lamp, wat de lamp kan leveren als hij niet brandt of nog in de doos zit. Het vermogen laat zien wat er (maximaal) mogelijk is en is een eigenschap van de lamp. Energie staat zowel voor wat deze LED lamp in een bepaalde tijd levert als voor wat de LED lamp aan energie gebruikt.

Een voorbeeld. Een LED lamp met een vermogen van 12 watt gebruikt in 100 uur 12 watt maal 100 uur, dat is 1.200 wattuur elektrische energie ofwel 1,2 kilowattuur elektriciteit.

Deze energie wordt omgezet in 44% licht en 56% warmte. Bij een gloeilamp wordt slechts 5% van de energie omgezet in licht en 95% in warmte. Energie levert altijd iets op:

elektriciteit, beweging, licht, warmte, geluid, radiogolven, een chemische reactie, etc.

In de winkel betaalt men voor het vermogen (bijvoorbeeld het vermogen van een stofzuiger).

Thuis betaalt men voor de energie (de energie die door de stofzuiger wordt gebruikt).

Nog een voorbeeld. Een uur hard werken op de racefiets kost ca. 0,8 miljoen cal (3,3 miljoen joule) en brengt je 30 km verder. Een auto doet dat in 20 minuten, maar het kost 2 liter

benzine of 72 miljoen joule. De fietsende mens is dus 20 keer energiezuiniger dan de auto.

Energiebegrippen in het kort

1 calorie (afgekort cal) is de hoeveelheid energie die nodig is om 1 gram water 1 graad Celsius te verwarmen.

1 kcal is 1.000 calorieën.

De meest gebruikte eenheid van energie is joule (afgekort J).

1 calorie is 4,1868 joule.

1 kJ is 1.000 joule.

Watt is een maat voor het vermogen, de energie per tijdseenheid, bijvoorbeeld per uur (afgekort W).

1.000 watt is 1 kilowatt en 1 miljoen watt is 1.000 kilowatt.

1 kilowatt gedurende 1 uur is 1 kilowattuur (afgekort kWh).

Mega (M) staat voor 1 miljoen: 1 MWh is 1 miljoen wattuur en dus 1.000 kWh.

Giga (G) staat voor 1 miljard; giga is 1.000 miljoen.

1 joule is 1 watt per 1 seconde.

1 kWh is 1.000 watt maal 3.600 is 3,6 miljoen Joule (een uur telt 3600 seconden).

1 kubieke meter aardgas uit Groningen heeft een energie-inhoud van 35,17 miljoen joule.

Nederland gebruikte in 2018 3.092 petajoule (PJ);⁷ 1 PJ is 1.000.000.000.000.000 joule, een 1 met 15 nullen.

Energie = Elektriciteit (ca. 20%) + warmte (gebouwen en industrie: ca. 40%) + transportbrandstof (ca. 40%).

*1.2 Wat kunnen we met energie doen?*⁸

Met 1 kilowattuur elektriciteit kunnen we veel dingen doen. Hier enkele voorbeelden die afzonderlijk 1 kWh vergen:

1.200 keer elektrisch scheren

100 broden snijden

15 keer haar föhnen

4 avonden tv kijken

1 avond tv kijken naar een tv met een plasmascherm
4 avonden licht van een gloeilamp van 60 watt
20 avonden licht van een spaarlamp van 11 watt
15 cd's luisteren
20 maaltijden opwarmen in de magnetron
250 gaatjes boren
10 uur internetten
367.000 kilo 1 meter opheffen
367 zakken van 50 kilo 20 meter optillen.

Met 1 kubieke meter gas uit Groningen kunnen we...

1 uur het huis verwarmen op een koude dag
50 keer handen wassen met warm water
6 keer afwassen
3 keer douchen
5 keer douchen met een spaardouche
1 keer in bad
6 maaltijden koken

1.3 Waarvoor wordt energie gebruikt?⁹

Een Nederlands huishouden verbruikt gemiddeld zo'n 1.470 m³ gas en 3.034 kWh elektriciteit per jaar.¹⁰ De gemiddelde energierekening was 1.800 euro in 2020. Ongeveer 1.300 euro ging op aan gas en 500 euro aan stroom. Daarnaast werd 1700 euro uitgegeven aan benzine. Van het totaal van 3500 euro ging circa 54% naar de overheid, 19% voor het netwerk/distributie en 27% voor de energie zelf.¹¹ Gemiddeld gaat 80% van het gas naar verwarming en 20% naar warm water (vooral douchen en een beetje koken).¹²

De energierekening (warmte en licht) van een gemiddeld Nederlands huishouden ging in 2019 omhoog. Met de nieuwe tarieven van januari 2019 kwam de gemiddelde jaarlijkse energierekening uit op 2.074 euro, 324 euro meer dan in 2018 bij hetzelfde verbruik. In 2018 bedroegen de netwerkkosten 344 euro en de leveringskosten, inclusief de kosten voor de productie van gas en elektriciteit, 764 euro. De energiebelasting was 606 euro en de BTW bedroeg 360 euro. In 2019 steeg de energiebelasting met 172 euro en de leveringskosten met 175 euro, terwijl de transportkosten met 3 euro daalden.¹³ In 2020 zou volgens het CBS de gemiddelde jaarlijkse energierekening voor huishoudens uitkomen op 1.574 euro. Dit is 170 euro minder dan in januari 2019, bij hetzelfde verbruik. Het grootste verschil in de energierekening tussen januari 2020 en het jaar daarvoor zit hem in de heffingskorting, die voor ieder huishouden 216 euro meer zou zijn dan in 2019.¹⁴

Het gasgebruik van een gemiddeld huishouden is ongeveer als volgt verdeeld over verwarming, warm water en koken:

Gasgebruik in kubieke meter (m ³)	
Verwarming	1.170 m ³
Warm water	260 m ³
Koken	40 m ³
Totaal	1.470 m ³

Het gaat hier om een gemiddelde. De hoeveelheid gas die nodig is voor verwarming hangt af van veel factoren. Bijvoorbeeld de grootte van de woning en of het gaat om een rijtjeshuis of een vrijstaande woning, zoals Milieu Centraal uitlegt in een publicatie waar we naar verwijzen voor nadere informatie.¹⁵ Ook is de kwaliteit van de isolatie van belang; dat blijkt

uit onderstaande tabel 1.1. Het gasgebruik per vierkante meter woonoppervlak van een goed geïsoleerde woning kan de helft zijn van dat van een slecht geïsoleerd huis.

Tabel 1.1
Gasgebruik (m³) per vierkante meter (m²)

Mate van isolatie	Energielabel	Gasverbruik m ³ /m ² woonoppervlak	Temperatuur verwarming	Soort verwarming
Slecht	D – E - F	16 of meer	90 °	CV, warmtenet hoge temperatuur
Matig	B – C	12 – 15	70 - 90 °	CV, warmtenet hoge temperatuur
Goed	A	8 – 10	60 °	Hybride warmtepomp, warmtenet midden temperatuur

Bron: E-mail Sible Schöne, tot voor kort directeur van HIER.NU aan Herman Damveld op 16 april 2019.

Het elektriciteitsgebruik van apparaten loopt nogal uiteen en niet alle apparaten van dezelfde soort gebruiken evenveel stroom. Een elektrische boiler van 80-100 liter verbruikt de meeste stroom: gemiddeld 1.900 kWh per jaar. Een tropisch aquarium gebruikt op jaarbasis zo'n 1.400 kWh en een waterbed circa 780-1.600 kWh. Wasdrogers en vaatwassers zijn met elk ruim 200 kWh eveneens grote huishoudelijke stroomgebruikers. Een gemiddelde desktop computer met lcd-scherm verbruikt ongeveer 230 kWh per jaar. Een lcd-tv van 46 inch verbruikt ongeveer 240 kWh per jaar. De computer en de tv zijn daarmee de grootste verbruikers in de categorie audio- en videoapparatuur. Het gemiddelde stroomverbruik van grote huishoudelijke apparaten staat in tabel 1.2. Een verdeling van het elektriciteitsgebruik is weergegeven in figuur 1.1.

Ook is er het zogeheten sluipverlies. Dat is het elektriciteitsgebruik van apparaten die niet uitgezet kunnen worden, zoals de cv-ketel of de koelkast of omdat anders instellingen verdwijnen of klokken stilstaan. Dit kan 10% van het elektriciteitsgebruik uitmaken.

Tabel 1.2
Gemiddeld stroomverbruik van grote huishoudelijke apparaten

Apparaat	kWh per jaar
Verlichting	390
TV (lcd, 46 inch)	238
Condens wasdroger	232
ICT	217
Koel-vriescombinatie	210
Vaatwasser	206
Wasmachine	170
CV-pomp	128

Bron: <https://www.hier.nu/themas/huishoudelijke-apparaten/deze-apparaten-veroorzaken-twee-derde-van-je-stroomrekening>.

Figuur 1.1

Bron: <https://energietrends.info/wp-content/uploads/2016/09/EnergieTrends2016.pdf>.

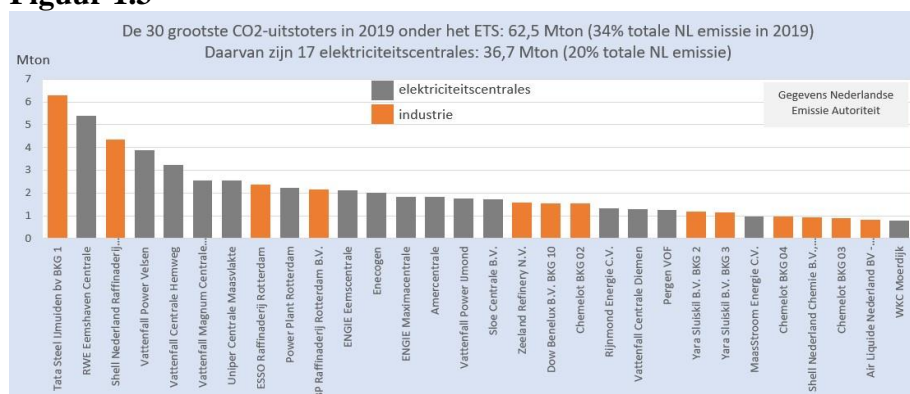
De Nederlandse huishoudens zorgen voor 7,7% van de CO₂-uitstoot. Opvallend is de bijdrage van douchen, die 6 keer zoveel is als van koken (figuur 1.2).

Figuur 1.2

Bron: https://twitter.com/BM_Visser, 29 augustus 2019.

Wat betreft de industrie staat in figuur 1.3 een overzicht van de top-30 wat betreft de uitstoot van CO₂.

Figuur 1.3



Bron: https://twitter.com/BM_Visser, 22 februari 2021.

1.4 Energiegebruik internet

In 2016 verbruikte ICT 8% van de totale hoeveelheid elektriciteit in Nederland, ofwel 9,4 miljard kWh. Hiervan werd 6,9 miljard kWh gebruikt binnen huishoudens en bedrijven. Zo'n 2,5 miljard kWh werd gebruikt door de ICT-sector zelf. Binnen de ICT-sector gebruikten datacenters het grootste deel (1,4 miljard kWh), gevolgd door de telecombedrijven (1 miljard kWh).¹⁶ Dit is gestegen naar 2,7 miljard kilowattuur in 2019.¹⁷ De groei komt met name doordat datacenters groter worden. De datacenters in Nederland ten behoeve van internet hebben een vermogen nodig van 1.350 Megawatt, dat is 2,5 keer het vermogen van de kerncentrale Borssele.¹⁸

Het elektriciteitsgebruik stijgt aanzienlijk door de invoering van 5G. Sommige providers verwachten een verdubbeling ten opzicht van de invoering van 4G. Volgens de Zweedse provider Ericsson is dat echter niet duurzaam en het kost ook te veel. Daarom gaf dit bedrijf in 2020 aan hoe het elektriciteitsgebruik door 5G zou kunnen verminderen.¹⁹ Uit figuur 1.4 blijkt echter dat het gebruik hoog zal blijven.

Figuur 1.4 Elektriciteitsgebruik mobiele netwerken

Bron: <https://www.ericsson.com/495d5c/assets/local/about-ericsson/sustainability-and-corporate-responsibility/documents/2020/breaking-the-energy-curve-report.pdf>, 11 maart 2020.

1.5 Energiebronnen voor het huishouden

Huishoudens en kantoren (kleinverbruikers) hebben zowel een aansluiting voor elektriciteit als voor aardgas. 98% van de Nederlanders is aangesloten op het gasnet. Vergeleken met de gasvraag van andere Europese landen is dit naast Luxemburg het hoogst per hoofd van de bevolking.

Huishoudens gebruiken energie voor onder meer licht, koken en verwarming. Er zijn verschillende energiebronnen die daarvoor worden ingezet, zoals in figuur 1.5 staat. Direct verbruik van aardgas vervult de behoefte van de warmtevraag zoals voor de centrale verwarming en warm water. Ook biomassa wordt direct gebruikt, bijvoorbeeld in de vorm van hout in de open haard. Indirect aardgasverbruik komt vanuit een behoefte aan elektriciteit, waarvan een gedeelte weer door aardgas wordt opgewekt. Ruim 80% van het energiegebruik

door huishoudens komt uit direct en indirect aardgasgebruik. Indirect worden in huishoudens ook steenkool, kernenergie en hernieuwbare energie gebruikt in de vorm van elektriciteit.^{20 21} Het gebruik van brandstof voor de auto valt niet onder deze definitie van huishoudelijk energiegebruik. Daarbij moeten we tevens bedenken dat de gegevens uit deze figuur een gemiddelde zijn. Huishoudens die hebben gekozen voor groene stroom gebruiken geen kolen of kernenergie.

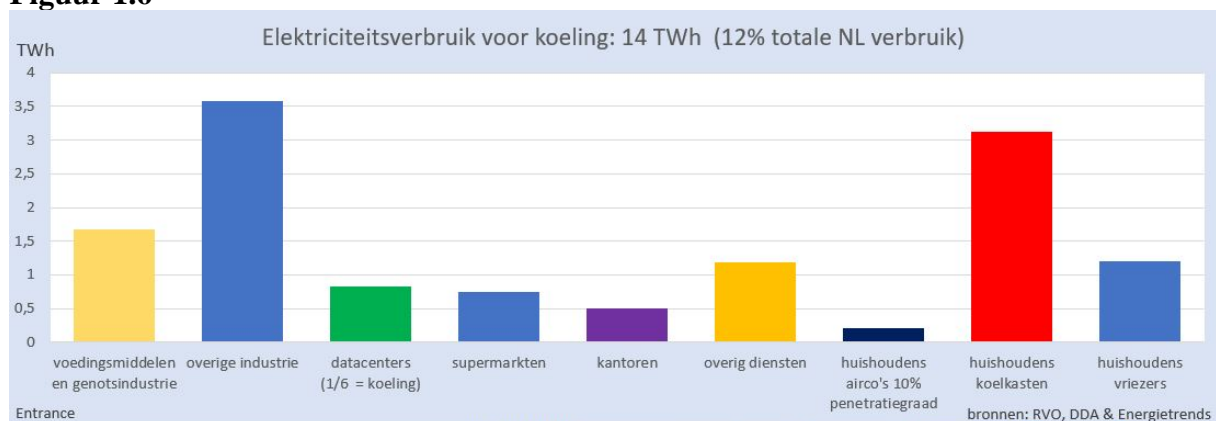
Koeling vergt 12% van het totale elektriciteitsgebruik, zie figuur 1.6.

Figuur 1.5

Bron: <http://aardgas-in-nederland.nl/nederland-aardgasland/aardgas-in-de-nederlandse-energievoorziening/>

Zoals hierboven aangegeven verbruikt een Nederlands huishouden gemiddeld 1.470 m³ gas en 3.034 kWh elektriciteit per jaar. We kunnen dat omrekenen in het gebruik in joule: 52 miljard joule voor aardgas en 11 miljard joule voor elektriciteit. De conclusie is dat een gemiddeld huishouden 4,7 zoveel joule gebruikt voor aardgas (met name verwarming en warm water) als voor elektriciteit.

Figuur 1.6



https://twitter.com/BM_Visser, 6 augustus 2020.

1.6 Het omvangrijke energiegebruik: een uitleg²²

Zoals hierboven aangegeven zijn bij het energiegebruik twee eenheden belangrijk: de kilowattuur en de joule. Vaak komen we de term petajoule (PJ) tegen, dat is 1.000.000.000.000.000 joule. Nederland gebruikte vorig jaar 3.150 PJ, dat is per dag 8,8 PJ.²³
24

Wat kunnen we doen met 1 PJ? In de vorm van elektriciteit beschikken we dan over 278.000.000 kWh. Dat is voldoende om een woonwijk met 5.000 inwoners zonder zonnepanelen 50 jaar van elektriciteit te voorzien. We kunnen onze PJ ook gebruiken om 30.000 nieuwbouwhuizen een jaar lang met gas te verwarmen, inclusief douchen en koken. En voor 1 PJ kan een vol vliegtuig 200 weekendjes naar Beijing. De luchtvaart in Nederland verbruikt jaarlijks 150 PJ, dat is een halve PJ per dag. We zouden trouwens met 1 PJ samen met driehonderd vrienden ook in 100 dieseltjes 100 maal rond de aarde kunnen rijden.

Schiphol heeft ieder jaar 4 miljoen ton kerosine nodig. Om die synthetisch te maken is bijna 50 keer het vermogen van de kerncentrale Borssele nodig. Een retour New York met een vliegtuig op synthetische kerosine vraagt bij benadering 500.000 kWh.²⁵

Dan de productie van 1 PJ. Een kolencentrale met een vermogen van 1.000 MW doet daar twee weken over. In een halve dag komt bij de gaswinning uit Groningen anno 2018 1 PJ uit de grond. We kunnen ook voor Russisch gas kiezen. Daarvoor moet de Nord Stream gasleiding dan vier uur worden gehuurd. En mochten we onze PJ liever in olie hebben: een beetje olietanker kan 10 PJ vervoeren.

Stel, we willen 1 PJ duurzaam. Een mogelijkheid is om het 125 MW windpark in Drenthe een jaar te huren. Daarmee kan dan 1 PJ geogost worden. De windparken op zee zijn groter en daar waait het harder. Een 700 MW Borssele windpark produceert straks gemiddeld 1 PJ per maand. Echter, om in een jaar 1 PJ met zon te oogsten hebben we een park van 500 hectare met zonnepanelen nodig. Dat is veel. Maar in het Markermeer is ruimte voor honderd van die parken. Het 10.000 MW windpark op de Doggersbank van TenneT en Gasunie produceert straks gemiddeld 1 PJ waterstof per 3 dagen.

Dan de gasopslagen. Met onze strategische gasvoorraad kunnen we in Nederland drie maanden vooruit. Op den duur rijdt men in elektrische auto's met 100 kWh accu's en 1.000 km actieradius. Deze accu's bevatten als ze vol zijn samen ruim 2 PJ aan energie. Nederland verbruikte in 2019 3.085 PJ. Met fossiele bronnen is dat goed te organiseren. Met hernieuwbare energie wordt het lastiger. We moeten daarom ons energieverbruik fors verminderen. Vooral nog komt daar niet veel van terecht. Energie besparen is misschien wat minder leuk dan wind, zon en waterstof, maar zeker zo noodzakelijk.

1.7 Zon als belangrijkste energiebron

De zon is de belangrijkste bron van alle energie. De zon stuurt zijn stralen alle richtingen uit. Een heel klein beetje daarvan komt op de aarde terecht. Toch is dat kleine beetje heel belangrijk. De zon geeft warmte af. Als hij door de ramen schijnt, wordt het warmer in huis. Met zonnepanelen wordt de zonne-energie omgezet in elektriciteit. Door de zon wordt de lucht warmer. Verwarmde lucht komt in beweging en stijgt op. De lucht beweegt: door de zon waait de wind.

Zonne-energie maakt het leven op aarde mogelijk. Als een plant groeit, wordt er zonne-energie (licht) in opgenomen. De plant pakt een stukje van de zonnestraling en slaat dat op via allerlei ingewikkelde processen (fotosynthese). Mensen en dieren gebruiken planten als voedsel: door het voedsel in hun lichaam te verbranden kunnen ze leven en werken. Zonder zonlicht was er geen leven op aarde.

Er zijn in de wereldgeschiedenis lange perioden geweest dat werelddelen overdekt waren met wouden. Later stierven de bossen af en werden ze bedekt door aardlagen. Na een bijna

onmetelijk lange tijd werden de lagen afgestorven hout omgezet in steenkool. Op dezelfde manier ontstonden in de loop van miljoenen jaren aardolie en aardgas uit afgestorven, zogeheten fossiele resten van diertjes op de oceaانبodem. Daarom worden olie, aardgas en kolen ook wel fossiele brandstoffen genoemd. Het Nederlandse aardgas is ongeveer honderd miljoen jaar geleden ontstaan.²⁶ Dit gas is eigenlijk in het verleden opgeslagen zonne-energie. De fossiele brandstoffen waren heel lang geleden dus wouden en dieren die zonne-energie in zich opgeslagen hadden. Benzine wordt gemaakt uit olie. Een auto rijdt eigenlijk op miljoenen jaren oude zonne-energie.

De elektriciteit in Nederland komt voor ruim 90% uit aardgas- en kolencentrales. De elektriciteit die we in huis krijgen, is dus ook vooral afkomstig uit opgeslagen zonne-energie. In de centrales worden aardgas en kolen verbrand. De warmte die hierbij vrijkomt, verhit water tot stoom. De stoom laat een rad draaien, de turbine, die weer een dynamo aandrijft: dat geeft elektriciteit (vergelijk het met de dynamo van een fiets waarmee we fietslampjes laten branden).

In de loop van de geschiedenis werd steeds meer energie gebruikt en ook steeds andere vormen van energie. Heel vroeger gebruikten mensen alleen spierkracht als ergens kracht voor nodig was en stookte men hout om het warm te krijgen of om te koken. De uitvinding van de stoommachine bracht een hele ommekeer. De mens kreeg daarmee de beschikking over een kracht die veel groter was dan zijn eigen spierkracht. En zo begon de industriële revolutie. Eerst werden hout en turf gebruikt om de stoommachines te laten draaien, maar al gauw bleek er niet genoeg hout te zijn om aan de vraag van al die machines te voldoen. Andere energiebronnen werden gezocht: steenkool en aardolie in diepere lagen van de aarde werden aangeboord. Nog later kwamen er elektriciteitscentrales. Zo ging de samenleving steeds meer fossiele energie gebruiken.

Wereldwijd gebruiken we nu in één jaar de fossiele energie die zich in één miljoen jaar heeft gevormd. In een rap tempo maken we de fossiele energie op. Er komt een einde aan het gebruik van fossiele energie, de in het verre verleden opgeslagen zonne-energie. Dan moeten we weer overgaan op het gebruik van de zonne-energie die elke dag op de aarde neerkomt. Gelukkig kan de zon genoeg energie leveren voor iedereen.

Kooldioxide (CO₂) komt vrij bij de verbranding van aardgas, kolen en olie. De afgelopen 20 jaar wordt steeds duidelijker voelbaar en zichtbaar dat het klimaat verandert. Dat komt door de toename van de uitstoot van broeikasgassen zoals CO₂. Dit zijn gassen die de straling van de zon en de aarde opnemen. Deze gassen vormen als het ware een deken om de aarde: ze zorgen voor warmte-isolatie, het broeikaseffect.^{27 28 29 30 31 32} Om te voorkomen dat die deken nog dikker wordt wil de regering CO₂ opslaan. In 2018 werd in Nederland 161 miljard kilogram CO₂ uitgestoten, deelde het Centraal Bureau voor de Statistiek op 9 mei 2019 mee.^{33 34}

De overheid heeft bepaald wat wel en wat niet onder de definitie van CO₂-uitstoot valt. Een aanzienlijk deel van de jaarlijkse CO₂-uitstoot wordt, in overeenstemming met deze overheidsdefinitie, niet meegerekend: "Pakweg 40 procent tellen we niet mee in onze nationale statistiek: zoals het vliegverkeer, de internationale scheepvaart en de CO₂-uitstoot die we (netto) via onze importen in andere landen veroorzaken."³⁵ In 2018 was dat overigens 44%.³⁶

Het fossiele tijdperk is eindig. CO₂-opslag is geen duurzame oplossing voor het energievraagstuk.³⁷ Het is niet meer dan een lapmiddel waarmee de regering eigenlijk erkent dat de samenleving te veel CO₂ uitstoot. Alleen energiebesparing in combinatie met duurzame energie uit zon en wind helpt ons verder. Immers, we krijgen in Nederland van de zon gemiddeld per jaar 35 keer zoveel energie als we nodig hebben voor verwarming, industrie, auto's en de opwekking van elektriciteit.³⁸ We hebben niet zozeer een energieprobleem als wel een energie-omzettingsprobleem en een ruimteprobleem voor de plaatsing van al die zonnepanelen. Een voorbeeld: voor 100% duurzame elektriciteit uit zon en wind is in Duitsland 2,5% van het grondoppervlak nodig, blijkt uit een rapport van het Öko-Institut en

Prognos dat op 16 oktober 2018 verschenen is.³⁹ Het Joint Research Center van de Europese Unie heeft op 9 oktober 2019 een rapport uitgebracht over energie en het benodigde landgebruik. Zowel zonne- als windenergie kunnen drie keer zoveel elektriciteit opwekken als de EU in 2016 gebruikte. Zonne-energie gebruikt dan 1,4% van het landoppervlak en windenergie op land 16%.⁴⁰

1.8 Fundamentele natuurwetenschap verwaarloosd bij klimaatverandering

Inleiding

De klimaatverandering kunnen we bekijken vanuit de fundamentele natuurwetenschap, ook al gebeurt dat bijna nooit. De wetten van de energie-omzetting vormen de basis van de natuurwetenschap. Daarbij zijn de Twee Hoofdwetten van groot belang. Hier bespreken we vooral de Tweede Hoofdwet, die gaat over de ordening van materie en energie. De term die daarbij gebruikt wordt is entropie. Hoe groter de wanorde, hoe groter de entropie en de verstoring in het systeem aarde, zoals bijvoorbeeld de klimaatverandering door het gebruik van de verschillende energiebronnen.^{41 42}

1.8.1 Hoofdwetten van de thermodynamica

Thermodynamica is de wetenschap van energie-omzettingen en ligt aan de basis van alle natuurwetenschappen. De thermodynamica kent Twee Hoofdwetten.

De Eerste Hoofdwet is de wet van behoud van energie. Dat houdt in dat energie alleen omgezet kan worden van de ene vorm in de andere, maar dat energie niet uit het niets kan ontstaan en ook niet in het niets kan verdwijnen.

De Tweede Hoofdwet is minder bekend, maar speelt niettemin een cruciale rol in alle natuurverschijnselen in het waarneembare universum. In essentie luidt de Tweede Hoofdwet: “Bij elke energie-omzetting in het (waarneembare) universum neemt de entropie van het universum toe.” Maar wat betekent dit precies? Juist omdat het hier om een niet algemeen bekende wet gaat, is het van belang dat uiteen te zetten.

1.8.2 Tweede Hoofdwet van de thermodynamica, waar het over gaat

Verschijnselen als de opwarming van de aarde door menselijk toedoen blijken samen te hangen met gevolgen van de Tweede Hoofdwet. Voor een goed begrip worden hierna eerst enkele begrippen toegelicht: systeem, entropie en spontaan proces.

Systeem

Onder een systeem verstaan we dat deel van het universum dat onderwerp is van een onderzoek of discussie. De rest van het universum wordt de omgeving van het beschouwde systeem genoemd. In de klimaatdiscussie is het zinvol om de biosfeer van de aarde als systeem te kiezen. De biosfeer is de schil om de aarde, waarin het leven zich kan handhaven. De biosfeer is een eindig systeem zonder noemenswaardige uitwisseling van materie met de rest van het heelal. Wel is er energie-uitwisseling met de omgeving van de biosfeer, het heelal, bijvoorbeeld doordat de zon schijnt.

Entropie

De Tweede Hoofdwet stoelt op het fundamentele begrip entropie. Entropie is de maat van verstrooiing van materie, van energie en van gerichte stroming.

Deze formulering is afgeleid van de formule van Boltzmann, een natuurkundige die deze formule rond het jaar 1900 heeft ontdekt. Minder orde in een systeem geeft meer verstrooiing op moleculair niveau en dan heeft het systeem een hogere entropie. Zo heeft een gram

waterdamp een hogere entropie dan een gram vloeibaar water, gemeten bij dezelfde temperatuur en druk. In de praktijk kunnen we alleen veranderingen in de entropie waarnemen, niet de entropie zelf. Een entropietoename van een systeem kan zich manifesteren als achteruitgang van de kwaliteit ervan. Afname van entropie betekent meer orde en een hogere kwaliteit.

Spontaan proces

Een spontaan proces is niet precies voorspelbaar. Dit heet ook wel een stochastisch verschijnsel: het verloop ervan wordt door het toeval bepaald. Materie bestaat uit deeltjes en die deeltjes van het betreffende systeem komen uiteindelijk in de meest waarschijnlijke toestand. De entropie van het systeem is dan maximaal onder de gegeven omstandigheden. De volgende uitspraak is een metafoor voor een spontaan proces en de daarmee gepaard gaande toename van de entropie van een systeem: “Iedereen kan een kop thee in zee legen, maar duizend wijze mannen kunnen de thee er niet meer uithalen.”

1.8.3 Entropie verlagen, hoe doe je dat?

Het is mogelijk de entropie van een systeem te verlagen en daarmee de kwaliteit en de bruikbaarheid van het systeem te verhogen. Daarvoor is het noodzakelijk om in een gestuurd proces hoogwaardige energie te investeren. Dit sturende beginsel zorgt ervoor dat de energie op één bepaalde manier gebruikt wordt en dat het proces niet alle kanten op kan gaan, niet stochastisch verloopt. In het dagelijks leven noemen we dit sturende principe de menselijke inspanning.

Een voorbeeld is de productie van 1 kilo ijzer uit ijzererts. In het gesteente heeft 1 kg ijzer een hoge entropie, een hoge verstrooiing: de ijzeratomen zijn verspreid aanwezig in het gesteente. Het zuivere metaal bestaat alleen uit ijzeratomen die ook nog eens geordend zijn. Daarom heeft 1 kilo ijzer als metaal een lagere entropie dan 1 kilo ijzer in het erts. De productie van ijzer uit erts betekent een entropieverlaging. Dit kan alleen dankzij de inzet van hoogwaardige energie en menselijke inspanning om het proces te sturen.

1.8.4 De groene planten in de biosfeer wijzen ons de weg

Met behulp van zonlicht, water, CO₂ uit de lucht en stoffen die opgelost zijn in water kunnen groene planten hoogwaardige en geordende materialen vormen. De entropie van de biosfeer neemt hierdoor af. Er ontstaat meer ordening en dus minder verstrooiing. Dit proces heet fotosynthese, het lijkt misschien een spontaan proces maar dat is het niet. Een korte uitleg. In groene planten is een ordenend principe werkzaam dat is vastgelegd in het DNA van de planten. De opgenomen zonne-energie wordt benut voor de vorming van hoogwaardige materialen. Dat gebeurt in processen die gestuurd worden door specifieke chemische verbindingen. Die sturende verbindingen zijn op hun beurt gevormd onder invloed van het DNA.

Met behulp van zonlicht is het mogelijk om hoogwaardige materialen met lage entropie te produceren uit stoffen en mengsels met een hoge mate van verstrooiing. Uit stoffen als water en CO₂, die een hoge entropie hebben, ontstaan dan stoffen met een lage entropie.

1.8.5 Energieproductie

Wat wij in het dagelijks leven energieproductie noemen, is in feite de omzetting van de potentiële energie van een energiebron tot nuttig bruikbare energie, bijvoorbeeld elektriciteit. Wat betreft de wereldwijde energievoorziening heeft de Tweede Hoofdwet belangrijke gevolgen, die we hier zullen bespreken.

Fossiele brandstoffen, olie, gas en kolen

Door de productie van nuttig bruikbare energie uit fossiele energiebronnen (olie, gas en kolen) neemt de entropie van de biosfeer toe. De entropietoename verschilt per fossiele brandstof. Voor aardgas is die het laagst. Olie produceert niet alleen meer CO₂ per energie-eenheid dan gas, maar geeft extra verstoring door lekkages, affakkelen, transport en raffinage. Kolen geeft de hoogste entropietoename van de fossiele brandstoffen, zowel door de meeste CO₂ per energie-eenheid alsook door luchtvervuiling via roet en fijnstof. Daar komen de entropie-effecten zoals verstoring en vervuiling van landschappen en grondwater ten gevolge van mijnbouw nog eens bij.

Uranium, de energiebron voor kerncentrales

Kernenergie geeft meer entropie per eenheid nuttig bruikbare energie dan fossiele brandstoffen. Voor een belangrijk deel heeft dat te maken met de productie van kunstmatige radioactiviteit tijdens de splijting van uraniumkernen in de reactor. Die kunstmatige radioactiviteit is een miljard maal sterker dan de natuurlijke radioactiviteit van het uranium. Per jaar produceert één kerncentrale een hoeveelheid kunstmatige radioactiviteit die ruim 1.000 maal zo groot is als de hoeveelheid die vrijkomt bij de explosie van een atoombom van 15 kiloton (de Hiroshima-bom). De entropie-effecten van deze hoeveelheid kunnen enorm zijn. Tijdens de kernrampen van Tsjernobyl en Fukushima samen kwamen ongeveer 1.000 atoombom-equivalenten aan kunstmatige radioactiviteit vrij.

1.8.6 Zon als enige duurzame energiebron

De zon is de enige duurzame energiebron: de entropietoename ten gevolge van de energie-omzettingen op de zon, die in feite een grote fusiereactor is, blijft vrijwel geheel buiten de biosfeer. Op de zon is dus wel een toename van de entropie, maar die gebeurt buiten het systeem aarde.

Vanuit het perspectief van de aarde zijn zowel de kwaliteit van de energie als de capaciteit van de bron constant voor onbepaalde tijd.

Via zonnepanelen kan elektriciteit worden opgewekt. Ook zijn er zonne-energiecentrales die via spiegels de zonnestrallen concentreren, zodat er hoge temperaturen ontstaan. Met die hoge temperaturen wordt stoom onder hoge druk gemaakt. Die drijft met behulp van een turbine een generator aan die elektriciteit produceert. Die technologie heet Concentrating Solar Power (CSP). Wind is een indirecte vorm van zonne-energie.

Al deze systemen leveren elektriciteit. Via elektrolyse van water kan de energie opgeslagen worden in de vorm van waterstof. Reststromen (afval) van landbouw en bosbouw kunnen ook gebruikt worden voor energiedoeleinden. Het telen van biomassa speciaal als energiebron blijkt energetisch zeer onvoordelig.

Bij de bouw van systemen om zonne-energie te oogsten ontstaat entropie, evenals bij productie, transport en opslag van waterstof. Echter, de entropieverlaging - dus verbetering van de biosfeer en de menselijke leefomgeving - door het benutten van deze energie is veel groter dan de entropieverhoging ten gevolge van de bouw en het onderhoud. Het netto entropie-effect van de toepassing van zonne-energie is een entropieverlaging, dus een kwaliteitsverbetering, beschouwd over de levensduur van de systemen.

HOOFDSTUK 2 ENERGIE IN NEDERLAND 1950 tot 2018

2.1 Elektriciteit als onderdeel energiegebruik

We gebruiken energie in allerlei vormen. Aardgas verwarmt ons huis. Een auto rijdt op benzine of diesel die beide van olie gemaakt zijn. Onze huishoudelijke apparaten hebben elektriciteit nodig. Elektriciteit wordt gemaakt uit verschillende bronnen (figuur 2.1). Uit gegevens van onder meer het CBS volgt dat elektriciteit 25-34% is van het totale energiegebruik. Die uitkomst hangt af van de gebruikte rekenmethode.^{43 44 45 46 47}

Het primaire energiegebruik is het gebruik zonder omzettingsverliezen. Het rendement van de beste Nederlandse elektriciteitscentrales is zo'n 60%: van de 100% primaire energie wordt 60% omgezet in elektriciteit en 40% via het koelwater geloosd.⁴⁸

Figuur 2.1

Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/12/elektriciteitsproductie-naar-recordhoogte>, 17 maart 2020.

Toelichting: de kerncentrale Borssele leverde in 2019 zo'n 3,7 miljard kWh en was daarmee goed voor 3% van de elektriciteitsproductie.

2.2 Zon en wind goed voor 1,8% energiegebruik

In 2016 was 5,9% van het energieverbruik afkomstig uit hernieuwbare bronnen en in 2020 was dit gestegen naar 11% (figuur 2.4).^{49 50} De productie van zonne-energie (elektriciteit en warmte) groeide in 2017 naar 9 petajoule (PJ). De opgestelde capaciteit van zonnepanelen voor zonnestroom steeg in 2017 met 852 megawatt (MW) naar totaal bijna 3.000 MW; het ging om 3,1 miljoen panelen. Er lagen eind 2017 zo'n 12 miljoen zonnepanelen op de Nederlandse daken. Deze zorgden voor 0,3% van de totale energieproductie.^{51 52 53 54 55 56} In 2018 kwamen daar nog eens 4,6 miljoen zonnepanelen bij, overeenkomend met 1.330 MW. Het gemiddelde vermogen van één zonnepaneel is 288 Wattpiek (Wp) en levert per jaar 259,2 kWh.⁵⁷ Het totale aantal zonnepanelen per 1 januari 2019 was 16,6 miljoen en per 1 januari 2020 is dat toegenomen naar 23,6 miljoen (zie ook figuur 2.2 en 2.3).⁵⁸ De zonnepanelen leverden in 2018 12,7 PJ, dat is 0,4% van het totale Nederlandse energiegebruik van 3.100 PJ in 2018.^{59 60} In 2019 leverden de zonnepanelen 20 PJ, dat is 0,6% van het totale energiegebruik van 3.080 PJ.⁶¹

De meeste hernieuwbare elektriciteit, namelijk 49,5%, kwam in 2019 uit windenergie, gevolgd door 25% uit biomassa en 24% uit zonne-energie. De bijdrage van andere bronnen als bodemenergie en warmte uit de buitenlucht en waterkracht (0,5%) was zeer beperkt, liet het CBS op 4 maart 2020 weten.⁶² Op 31 mei 2021 deelde het CBS mee dat in 2020 van de totaal geproduceerde hernieuwbare elektriciteit het grootste deel werd opgewekt met biomassa (54%) gevolgd door windmolens (23%), zonnepanelen (14%) en overig (waterkracht, aardwarmte, buitenluchtenergie en bodemenergie; samen 9%).⁶³

Figuur 2.2

Jaarlijks geplaatst vermogen zonnepanelen in Nederland

Bron: <https://www.solarsolutions.nl/trendrapport/>, 20 januari 2021.

Figuur 2.3

Totaal vermogen zonnepanelen in Nederland

Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/08/productie-groene-stroom-met-40-procent-gestegen>, 24 februari 2021.

De energie uit wind nam in 2018 toe tot 36 PJ.⁶⁴ Vooral door het plaatsen van 600 MW aan windmolens op zee in de tweede helft van 2016 kon de productie flink toenemen; die windmolens draaiden in 2017 een vol jaar mee. In 2017 werden nauwelijks nieuwe windmolens bij geplaatst en bleef de totale windcapaciteit op 4.200 MW. Er waren op 1 januari 2019 in totaal 2.315 windmolens in bedrijf, waarvan 289 op de Noordzee met een vermogen van 4.310 MW; op 13 mei 2020 ging het om 2.347 windmolens met een vermogen van 4.672 MW (zie tabel 2.1).⁶⁵

Windenergie zorgde in 2019 voor 39 PJ, dat is 1,2% van het totale Nederlandse energiegebruik van 3.080 PJ in 2019.⁶⁶ Daarmee leverden zon en wind samen 1,8% van het totale Nederlandse energiegebruik. In 2017 was het nog 1,4%.

In het jaarrapport over 2020 van Wind Europe staat dat Nederland 1979 MW aan windmolens bijplaatste in 2020. Hiervan werd 486 MW op land geplaatst, zodat het totaal op 4.174 MW kwam, en 1.493 MW op zee, waardoor het totaal wind op zee toenam naar 2.611 MW.

Het totaal vermogen windenergie in Nederland kwam daardoor eind 2020 op 6.800 MW.

Windenergie zorgde daarmee voor 12% van de Nederlandse elektriciteitsbehoefte. In 2020 kwamen er 172 windmolens op zee bij met een gemiddeld vermogen van 8,8 MW.⁶⁷

Tabel 2.1
Windenergie in Nederland per mei 2020

	Totaal	Op zee	Op land
Aantal windmolens	2.347	289	2.058
Opgesteld vermogen (MW)	4.672	957	3.715
Gemiddeld vermogen (MW)	2,0	3,3	1,8

Bron: WindStats.nl

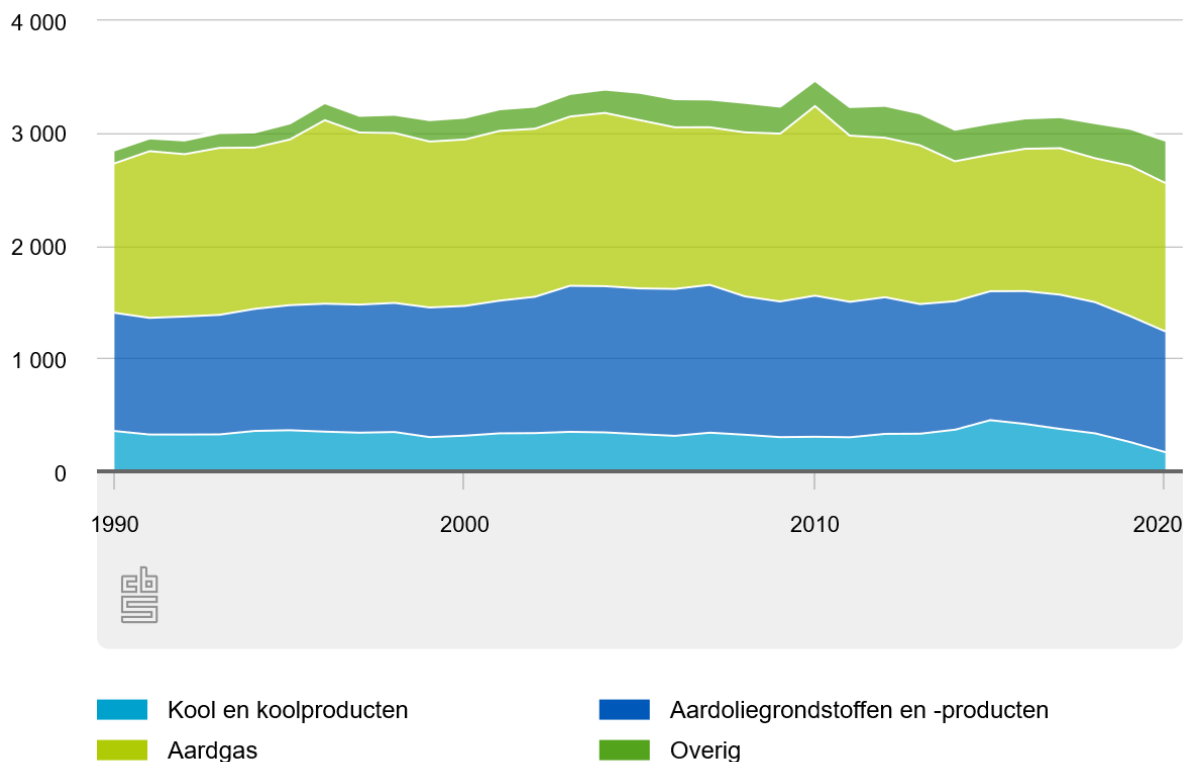
Volgens een andere berekeningswijze leverde in 2019 wind op land 1,3%, wind op zee 0,6% en zonnepanelen 0,9% van het totale energiegebruik.⁶⁸ Samen is dat 2,8%. Of het nu 1,8% of 2,8% is, duidelijk is dat zon en wind nu maar een klein deel van het energiegebruik verzorgen. Het Planbureau voor de Leefomgeving schreef op 6 september 2018 dat de kosten van zonnestroom tussen 2008 en 2013 met een factor 3 omlaag zijn gegaan en in de 5 jaar daarna nog gestaag met 25% zijn gedaald. De kosten voor elektriciteit uit wind op zee zijn alleen al tussen 2016 en 2017 met een kwart omlaag gegaan.⁶⁹

In 2018 kwam door het verbranden van biomassa 16 miljoen ton CO₂ in de lucht, maar die telt in overeenstemming met de regels van de IPCC niet mee als CO₂-uitstoot, stelde Martien Visser, lector Energietransitie Hanzehogeschool Groningen, op 25 september 2019.⁷⁰

Figuur 2.4
Aandeel hernieuwbare energie in bruto energie-eindverbruik

Bron: https://twitter.com/BM_Visser, 25 januari 2021.

Figuur 2.5
Energiegebruik Nederland 1990-2020 in petajoule



Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/14/energieverbruik-met-3-procent-gedaald-in-2020>, 7 april 2021.
 Noot: van het totale energiegebruik van 2.930 PJ is kernenergie 40 PJ en hernieuwbaar 193,6 PJ.

2.3 Nederlands gasgebruik en besparing⁷¹

Het aardgasgebruik in Nederland van 1995 tot 2014 staat in figuur 2.7. Het gasverbruik schommelt jaarlijks een beetje. Het maakt bijvoorbeeld uit of we een strenge of milde winter hebben. Maar volgens de Gasunie zitten we in Nederland al jaren rond de 40 miljard m³.⁷² Gasunie Transport Services (GTS) heeft op 17 januari 2018 in een technische briefing voor leden van de Tweede Kamer de Nederlandse vraag naar gas van Groninger kwaliteit, het laagcalorisch gas, uiteengezet: in een koud jaar gaat het om 27 miljard m³ en in een warm jaar om 21 miljard m³; gemiddeld is dat 24 miljard m³.⁷³ De rest van het Nederlandse gasgebruik, zo'n 16 miljard m³, is hoogcalorisch gas.

In 2017 was de vraag naar laagcalorisch gas iets lager dan gemiddeld, namelijk 23 miljard m³ verdeeld over 11 miljard m³ voor huishoudens, met name voor verwarming; 4,5-5 miljard m³ voor verwarming van kantoren, instellingen en winkels; 5,5-7 miljard m³ voor bedrijven.⁷⁴ Nederland gebruikte in 2019 zo'n 17 miljard m³ hoogcalorisch gas uit kleine velden in Nederland en uit Noorwegen en Rusland; daarnaast werd ook vloeibaar aardgas uit de USA en het Midden-Oosten aangevoerd.⁷⁵ Dit gas ging naar elektriciteitscentrales en de industrie. De elektriciteitsproductie met aardgas steeg van bijna 58 miljard kWh in 2018 naar 71 miljard kWh in 2019.⁷⁶ Daarvoor was meer gas nodig dan gemiddeld. Zie figuur 2.6.

Het is overigens niet zo dat alle gascentrales hoogcalorisch gas gebruiken. In 2018 stookten vijf gascentrales met een totaal vermogen van 1.768 MW laagcalorisch gas en ze zorgden voor bijna 10% van de elektriciteitsvoorziening.⁷⁷ Op onze vraag hoeveel gas ze gebruikten, hebben we tot nu toe geen antwoord gekregen.

Figuur 2.6
Gasstromen naar en van Nederland

Bron: <https://www.gasunie.nl/dit-doet-gasunie/blog-247-energie/waar-komt-ons-aardgas-eigenlijk-vandaan>, 30 april 2020.

Volgens Milieudefensie kan veel gas bespaard worden in huizen, kantoren en kassen.^{78 79} Figuur 2.8 geeft aan welke mogelijkheden er zijn om minder gas te gebruiken in huishoudens. Nederland telt 7,86 miljoen huishoudens.⁸⁰ Stel dat in 2050 - over 30 jaar - alle huishoudens van het gas af zijn. We kunnen dan uitrekenen dat vanaf nu 5.000 huishoudens per week of 1.000 huishoudens per dag van het gas af moeten.

Figuur 2.7

Bron: <http://aardgas-in-nederland.nl/nederland-aardgasland/aardgas-in-de-nederlandse-energievoorziening/>

Figuur 2.8

Energie besparen in huishoudens

Bron: <https://www.paddepoelenergiek.nl/projecten/besparing/>, mei 2016.

2.4 Warmtepomp als stap naar een energieneutraal huis^{81 82}

Energieneutrale woningen staan in de belangstelling. Daarbij gaat het om zonnepanelen die de elektriciteit opwekken voor de warmtepomp en alle andere elektrische apparaten. Aansluiting op het elektriciteitsnet blijft echter nodig, omdat de elektriciteit vaak wordt gebruikt als het donker is. Wel wordt over het hele jaar genomen net zoveel elektriciteit opgewekt als men gebruikt. Een elektriciteitscentrale op bijvoorbeeld aardgas blijft noodzakelijk zolang de overtollig opgewekte elektriciteit in de zomer niet wordt opgeslagen voor gebruik in de winter.

Een warmtepomp is als het ware een omgekeerde koelkast. Een warmtepomp haalt warmte uit de buitenlucht. Via een zogeheten warmtewisselaar wordt die warmte afgegeven aan water en verhoogd tot zo'n 35 graden. Als het buiten koud is, vraagt dit meer elektriciteit dan als het bijvoorbeeld 16 graden is.

Een cv-ketel levert water van zo'n 70 graden. Bij een warmtepomp gaat het om zo'n 35 graden. Daarvoor zijn de nu meestal gebruikte radiatoren ongeschikt, die moeten eruit. Er zijn dan twee mogelijkheden: vloerverwarming of lage-temperatuur-radiatoren.

Voor warm water om te douchen is een elektrische boiler nodig die water van 60 graden levert. In Nederland koken de meeste mensen op aardgas, maar het gas gaat verdwijnen en het alternatief is een inductiekookplaat op elektriciteit.

Zonnepanelen op het dak wekken alle elektriciteit op voor zowel de warmtepomp, de verlichting als alle overige elektrische apparaten. Bij een omgebouwd voormalig postkantoor in het Groningse Ten Post komen 46 zonnepanelen op het dak die jaarlijks 11.000 kWh leveren. Bij 40 zogeheten 0-op-de-meter-woningen in de stad Groningen wekken zonnepanelen 7.000 kWh per huis op: 4.300 kWh voor de warmtepomp en 2.700 kWh voor huishoudelijk verbruik zoals de koelkast en de tv.

1 tot 3 miljoen bestaande woningen in Nederland kunnen met warmte-koude-netten aardgasvrij gemaakt worden zonder het elektriciteitsnet extra te belasten en zonder externe warmtebron. Dat stelde een consortium van bedrijven en onderzoekers onder leiding van de TU Delft in december 2020 in het eindrapport 'ZONNET: Lage temperatuur feed-in ZonneWarmteNet.'⁸³ De warmte wordt in dit concept geleverd door 4 à 6 zogeheten PVT-panelen per woning, dit zijn panelen die zowel elektriciteit als warmte opwekken. Overtollige zomerwarmte wordt in een warmte-koude-opslag opgeslagen, zodat 's winters individuele warmtepompen zeer efficiënt kunnen werken om verwarming en tapwater te verzorgen. Het gaat hier alleen om de warmtevraag van huishoudens. De elektriciteitsvraag (grofweg een vijfde van de energievraag) moet alsnog van elders komen als er geen ruimte meer op het dak is voor zonnepanelen.

2.5 Elektriciteit in Nederland

De Nederlandse elektriciteitscentrales hadden begin 2018 een opgesteld productievermogen van 21.600 Megawatt (MW). Daarvan is 4.600 MW kolencentrales, 15.300 MW gascentrales, 700 MW afvalverbranding, 500 MW biomassa en bijna 500 MW de kerncentrale Borssele. Ook was er 4.700 MW windenergie en 3.000 MW zonne-energie in bedrijf. Daarnaast is 3.200 MW gascentrales geconserveerd, dus op dat moment niet in bedrijf. Het totaal komt op 32.400 MW (zie tabel 2.2).^{84 85 86}

Tabel 2.2
Elektriciteitsproductie Nederland

Opgesteld vermogen (MW)	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kernenergie	500	500	500	500	500	500
Kolen	7.300	5.700	5.700	4.600	4.600	4.000
Gas (operationeel)	15.900	15.500	15.800	16.100	16.100	16.000
Gas (geconserveerd)	4.400	4.600	3.700	2.900	2.800	2.600
Afvalverbranding	700	700	700	700	800	800
Biomassa/biogas	400	500	500	500	500	600
Wind op land	2.600	3.100	3.200	3.200	3.700	4.500
Wind op zee	200	400	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterkracht	0	0	0	0	0	0
Zon-PV	1.000	1.500	2.000	2.900	4.300	6.900
Totaal	33.100	32.400	33.200	32.400	34.300	36.800

Bronnen:

https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Technical_Publications/Dutch/Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2017_web.pdf, p 49 met getal voor zon 2018 400 MW hoger.

<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/09/vooral-meer-groene-stroom-uit-zon>, 1 maart 2019.

https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Technical_Publications/Dutch/20200117_Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2019.pdf, december 2019.

<https://www.tennet.eu/nl/nieuws/nieuws/interconnectie-samenwerking-en-flexibilisering-cruciaal-voor-europese-leveringszekerheid-elektriciteit/>, 10 februari 2021.

Een jaar kent 8.760 uren. De wind waait een deel van die uren en soms ook maar een beetje. Een windmolen draait soms op vol vermogen, dan weer op een deel daarvan. De productie per jaar wordt omgerekend naar het aantal uren dat de windmolen op vol vermogen zou draaien. De term daarvoor is ‘vollast-uur’. We gaan ervan uit dat windturbines op land een gemiddelde bedrijfstijd van 1.750 vollast-uren per jaar realiseren en op zee gemiddeld 3.500, terwijl bij zonnepanelen een gemiddelde bedrijfstijd van 800 vollast-uren per jaar wordt verondersteld.⁸⁷ Vooral door hogere windmolens zal de gemiddelde bedrijfstijd langzaam stijgen naar 2.100 uren voor wind op land en 4.000 uren voor wind op zee (zie figuur 2.9). Voor zonnepanelen was de benutting in 2018 goed door het zonnige weer en de toename van het aantal zonneweiden waar de panelen optimaal zijn opgesteld (zie figuur 2.10). Kolen- en gascentrales kunnen in beginsel 7.000 tot 7.500 uur per jaar draaien.⁸⁸ Of de centrales veel uren maken hing de afgelopen jaren vooral af van de prijs van gas of van kolen. Zo kunnen we met gegevens van het CBS en TenneT uitrekenen dat kolencentrales in 2015 gemiddeld 5.300 uur hebben gedraaid en gascentrales 2.900 uur; in 2019 ging het om 3.780 respectievelijk 4.400 uur (zie tabel 2.3).^{89 90 91}

Tabel 2.3
Bedrijfsuren elektriciteitsopwekking, gerealiseerd in 2015 en 2019

Jaar	2015	2019
Kolen	5.300	3.780
Aardgas	2.900	4.400
Wind op land	1.750	2.000
Wind op zee	3.500	3.400
Zonnepanelen	8.00	1.230

Zoals we kunnen zien in tabel 2.3, steeg in 2019 het aantal uren dat gascentrales draaiden. Dat heeft te maken met de daling van de aardgasprijzen. Dat blijkt uit de vergelijking van een aantal rapporten (zie tabel 2.4). Het gaat om de beursprijs in Europa, de zogeheten TTF-prijs. Zoals we elders hebben uitgelegd, heeft Gasunie Transport Services (GTS) in 2003 de Title Transfer Facility (TTF) opgericht om de handel in gas op één marktplaats te bevorderen.⁹²

Tabel 2.4
Gasprijs in cent per kubieke meter van 2010 tot en met 19 december 2020⁹³

Jaar	Beursprijs gas
2010	16,1
2011	22,9
2012	24,0
2013	26,0
2014	21,3
2015	20,8
2016	15,3
2017	16,6
2018	21,6
2019, 31 december	12,4
2020, 10 maart	8,7
2020, 21 april	6,4
2020, 5 juni	4,7
2020, 19 december	15,6
2021, 23 mei	25,2

Figuur 2.9

Bron: https://twitter.com/BM_Visser, 27 november 2018

Figuur 2.10

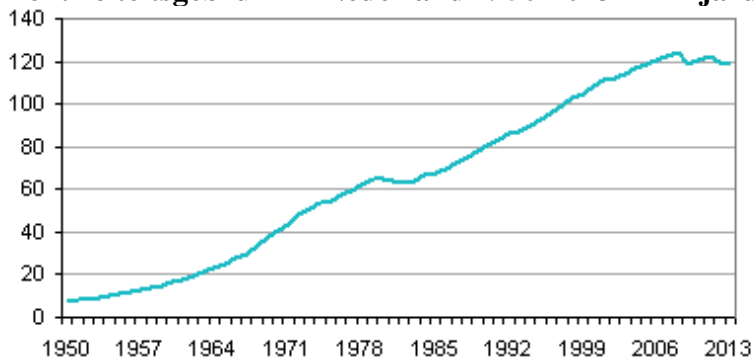
Bron: https://twitter.com/BM_Visser, 24 november 2018.

2.6 Sterk gestegen energiegebruik

Het elektriciteitsgebruik is nu 16 keer hoger dan in 1950 (figuur 2.11).⁹⁴ In 2013 was het elektriciteitsgebruik 119 miljard kWh en dat is sindsdien vrij stabiel rond de 120 miljard kWh (of 120 Terawattuur, TWh).^{95 96} In 2010 leverden zonnepanelen 8,1 miljard kWh, windmolens 13,9 miljard kWh en biomassa 9,1 miljard kWh, totaal 40 miljard kWh.⁹⁷ Het gebruik per sector staat in figuur 2.12.

Figuur 2.11

Elektriciteitsgebruik in Nederland 1950-2013 in miljard kWh



Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2015/07/elektriciteitsverbruik-16-keer-hoger-dan-in-1950>, 9 februari 2015.

Figuur 2.12

Bron: https://twitter.com/BM_Visser/status/1258297258002599936/photo/1, 7 mei 2020.

Het totale energiegebruik is 5,2 keer hoger dan in 1950 (tabel 2.5).⁹⁸ Het energiegebruik vanaf 1970 staat in figuur 2.13. Het energiegebruik van Nederland in 1980, 2017, 2018 en 2019 in percentages per energiebron staat in tabel 2.6.

Tabel 2.5

Energiegebruik Nederland 1950-2018 in petajoule (PJ)^{99 100 101 102 103 104 105 106}

Jaar	Energiegebruik	Bron
1950	582	statline.cbs.nl/Statweb/
1960	920	statline.cbs.nl/Statweb/
1970	2.016	statline.cbs.nl/Statweb/
1980	2.723	statline.cbs.nl/Statweb/
1990	2.843	statline.cbs.nl/Statweb/
2015	3.144	regering 2016
2017	3.150	CBS
2018	3.100	CBS
2019	3.085	CBS
2020	2.930	CBS

Tabel 2.6

Energiegebruik Nederland 1980 en 2017, 2018, 2019 en 2020; percentages per bron^{107 108 109 110 111 112}

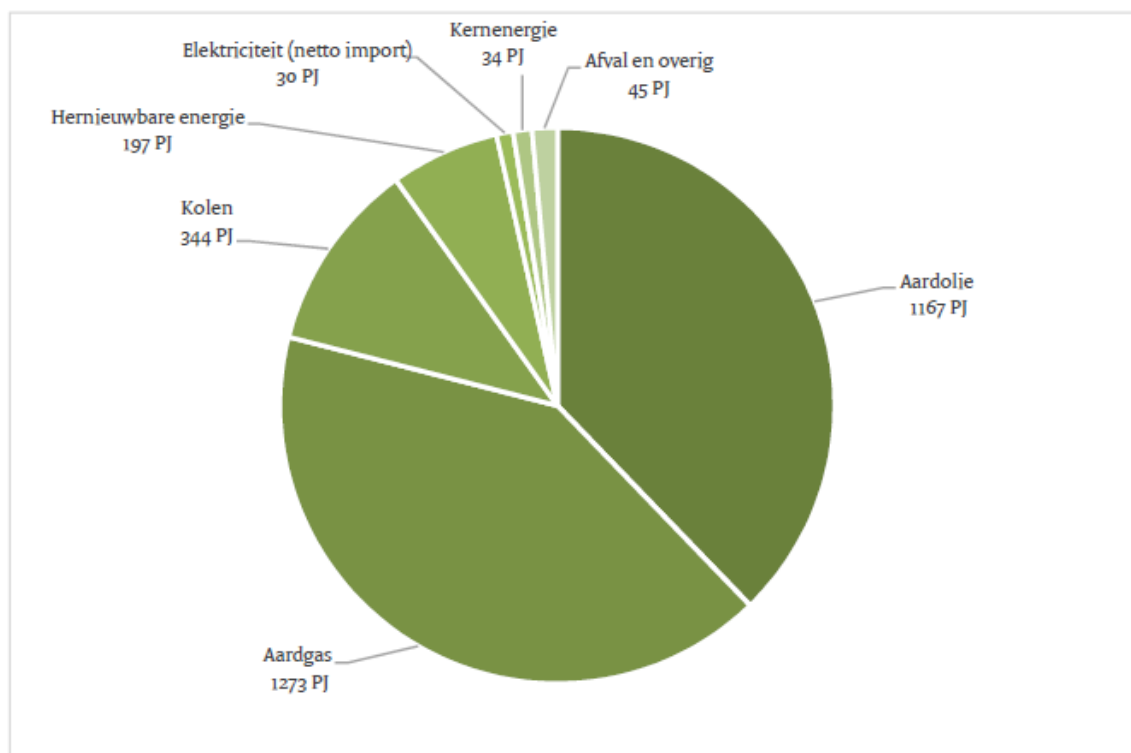
jaar	1980	2017	2018	2019	2020
aardgas	46,4	41	42	45	45
olie	46,5	38	38	36	36,5
kolen	5,7	12	11	8,6	6,5
kernenergie	1,4	1	1	1	1,1
zon en wind	0	1,4	1,6	1,8	4
biomassa	0	4,0	4	5,5	5,4
overige	0	2,6	2,4	2,1	1,5

Noot: overige betekent energie uit afval, waterkracht, bodemwarmte en invoer elektriciteit.

Figuur 2.13
Energiegebruik Nederland 1970-2019 in petajoule

Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/20/minder-steenkool-en-meer-aardgas-verbruikt-in-2019>, 11 mei 2020.

Figuur 2.14
Primair energiegebruik Nederland in 2018



Bron: <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/rapporten/2019/12/31/voortgangsrapportage-energie-uit-hernieuwbare-bronnen-in-nederland-2017-2018>, gepubliceerd op 29 januari 2020.

Het primaire energiegebruik van Nederland in 2018 was 3.089 PJ (zie figuur 2.14); de dagelijkse energiebehoefte per Nederlander staat in figuur 2.15.

Figuur 2.15



Bron: https://twitter.com/BM_Visser, 7 februari 2020.

Ter toelichting het volgende. Gas uit Groningen is 42% van het primaire energiegebruik, dat is 800 PJ. Stel dat de gaswinning uit het Groningen-veld met een kwart daalt naar 30% en dat in plaats daarvan gas uit Rusland wordt aangevoerd. Dat komt overeen met een kwart van 800 PJ dat is 200 PJ. Om dat gas hiernaartoe te krijgen zijn pompen nodig die 30 PJ aan elektriciteit vragen.¹¹³ Ter vergelijking: zon en wind leverden 50 PJ in 2019.

2.7 Kernenergie in Nederland

De kerncentrale Dodewaard in de provincie Gelderland met een elektrisch vermogen van 54 Megawatt (MW) kwam in maart 1969 in bedrijf.¹¹⁴ De kerncentrale Borssele (bijna 500 MW) volgde in oktober 1973.^{115 116} Deze kerncentrales mochten in bedrijf komen zonder dat er een eindoplossing was voor het radioactieve afval.

Destijds waren er omvangrijke bouwplannen. Op 30 maart 1972 verscheen de Nota inzake het kernenergiebeleid van de toenmalige minister van Economische Zaken, Langman.¹¹⁷ Volgens dit regeringsbeleid zou in het jaar 2000 een groot aantal kerncentrales in bedrijf zijn met een vermogen van in totaal 35.000 MW. In 1974 verscheen de Energienota van de minister van Economische Zaken, Lubbers. Hij vond dat er 8.000 MW kernvermogen moest komen, maar vanwege de maatschappelijke weerstand schroefde hij dat terug tot 3.000 MW; de kerncentrales zouden rond 1985 in bedrijf moeten komen. Dit noemde Lubbers de gematigde uitbouw van kernenergie, passend bij het streven om “de noodzakelijke politieke vertrouwensbasis te vergroten.”^{118 119}

De bouwplannen zijn niet gerealiseerd. De kerncentrale Dodewaard ging in 1997 dicht.¹²⁰ In maart 2013 besloot de vorige regering (VVD/PvdA) dat de kerncentrale Borssele tot en met 2033 in bedrijf mocht blijven.¹²¹ Minister Wiebes van EZK schreef op 25 januari 2019 in antwoord op Kamervragen: “dat marktpartijen die aan alle randvoorwaarden voldoen, zoals nucleaire veiligheid en voldoende financiële reservering voor ontmanteling en verwerking van afval, in aanmerking kunnen komen voor een vergunning voor de bouw van een kerncentrale (...). Van die mogelijkheid is in de afgelopen decennia echter geen gebruik gemaakt. De huidige marktomstandigheden in relatie tot het investeringsklimaat zijn hiervoor de voornaamste reden.”¹²²

De kerncentrale Borssele zorgt voor 1% van het Nederlandse energiegebruik (zie tabel 2.6).

HOOFDSTUK 3

ENERGIE IN DE TOEKOMST MET GROTE GEVOLGEN VOOR HET MILIEU

3.1 Nodig: 20 keer zoveel zon en wind

Urgenda is een landelijke organisatie die Nederland sneller duurzaam wil maken en die op 9 oktober 2018 de Klimaatzaak tegen de staat heeft gewonnen. Het ging om een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen van 25% in 2020 ten opzichte van 1990.^{123 124} Om te laten zien dat dit kan heeft Urgenda al in 2015 een energieplan gemaakt. Door anders te wonen, te eten, te produceren en door ons anders te verplaatsen van A naar B halen we een energiebesparing van 50%. Het energiegebruik dat dan nog overblijft is 1.560 petajoule (PJ).^{125 126 127}

Deze omvang van het energiegebruik is ons uitgangspunt voor de volgende berekening om te illustreren voor welke omvangrijke taak we staan. Stel dat het energiegebruik in 2050 gelijk blijft aan de omvang die Urgenda noemt. Dat is de helft van het huidige energiegebruik van 2.930 PJ (tabel 3.1 en figuur 3.1).¹²⁸ Stel verder dat in 2050 wind- en zonne-energie elk de helft van de energievraag leveren. Dat is elk de helft van 1.560 PJ oftewel allebei 780 PJ. Zonne- en windenergie zorgden in 2020 voor 80 PJ, waarvan zon 30 PJ en wind 50 PJ.¹²⁹ Een rekensom leert ons dat Nederland dan om bijna 20 keer zoveel duurzame stroom moet opwekken als in 2020. In ons rekenvoorbeeld gaat het om 26 keer zoveel elektriciteit uit zonne-energie en 16 keer zoveel uit windenergie.

De Nederlandse Vereniging Duurzame Energie (NVDE) heeft op 19 april 2018 aangegeven dat in 2050 zo'n 9.500 windmolens op zee en 2.750 op land kunnen staan, die 1.400 PJ opwekken. Daarbij gaat de NVDE uit van een gemiddeld vermogen van 4 MW per windmolen op land en 8 MW op zee.¹³⁰ Of er voldoende draagvlak is voor al deze windmolens valt te bezien, gegeven de grote weerstand tegen grote windmolens.¹³¹ In theorie kan windenergie zorgen voor 780 PJ of meer. Of dat in de praktijk ook zo is, zal de toekomst ons leren.

Tabel 3.1

Energiegebruik Nederland 1950-2030 in petajoule (PJ)^{132 133 134 135 136 137}

Jaar	Energiegebruik	Bron
1950	582	statline.cbs.nl/Statweb/
1960	920	statline.cbs.nl/Statweb/
1970	2.016	statline.cbs.nl/Statweb/
1980	2.723	statline.cbs.nl/Statweb/
1990	2.843	statline.cbs.nl/Statweb/
2015	3.144	regering 2016
2017	3.150	CBS
2020	2.930	CBS
2030	1.560	Urgenda
2030	2.829	NEV 2017

Uit het rapport “Zon op bedrijfsdaken” dat op 30 september 2019 verschenen is, blijkt dat 93,5% van de geschikte bedrijfsdaken in Nederland met een oppervlakte van meer dan 1000 vierkante meter nog geen zonnepanelen heeft. Als de helft van deze daken wordt bedekt met zonnepanelen, kan hiermee 25 miljard kWh worden opgewekt. Hiervoor zijn 80 miljoen zonnepanelen nodig, een modern zonnepaneel levert immers 300 kWh per jaar.

Op de Nederlandse daken is ruimte voor 270 miljoen zonnepanelen, dat is 11,4 keer zoveel als de 23,6 miljoen die er nu liggen. Die 270 miljoen panelen kunnen 252 PJ leveren.¹³⁸

Daarnaast moeten dan nog 3,6 keer zoveel zonnepanelen elders geplaatst worden om het streefgetal van 780 PJ, dat is 55 keer zoveel elektriciteit als eind 2019, te kunnen halen. Dat is bijna 1 miljard zonnepanelen. 780 PJ komt overeen met 216 miljard kWh.

Op 11 december 2020 verscheen een studie, waarin uitgerekend is dat “het ruimtelijk potentieel voor zonnestroom in Nederland veel groter is dan tot op heden werd aangenomen. Dat is een belangrijke conclusie van een nieuwe potentieelstudie van TKI Urban Energy en Generation.Energy. Het wellicht verrassende antwoord is dat er zelfs meer dan genoeg ruimte is als je de huidige zonnestroomambities van Nederland wilt realiseren,” stelde Robin Quax, programmamanager hernieuwbare elektriciteit bij TKI Urban Energy.¹³⁹

In het rapport van TKI Urban Energy staat een tabel (zie tabel 3.2) over het ruimtegebruik bij de productie van 200 TWh per jaar, ofwel 200 miljard kWh. Daaruit volgt dat er ruimte genoeg is om die elektriciteitsproductie te realiseren. Omdat niet alle potentieel benut wordt, is de 216 miljard kWh uit het hierboven genoemde rekenvoorbeeld realistisch.

Tabel 3.2

Ruimtegebruik door zonnepanelen

Bron: <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i23114/tki-urban-energy-presenteert-nieuwe-studie-over-potentieel-zonnestroom-er-is-ruimte-over?> 11 december 2020.

Figuur 3.1

Primaire energiegebruik 2005-2035

Bron: <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/jaarplannen/2018/11/06/concept-integraal-nationaal-energie-en-klimaatplan-2021-2030>, 21 november 2018.

In het op 28 juni 2019 verschenen Klimaatakkoord staat: “Concreet wordt hierbij gestreefd naar het opschalen van de elektriciteitsproductie uit hernieuwbare bronnen tot 84 TWh (84 miljard kWh, H.D.)” Dan zal 70% procent van de Nederlandse elektriciteitsproductie vanaf 2030 uit hernieuwbare bronnen komen, uitgaande van het huidige gebruik van 120 miljard kWh. De bijdrage van de verschillende bronnen zowel in kWh als omgerekend in petajoule, staat in tabel 3.3.

Tabel 3.3
Duurzame elektriciteit in 2030 volgens Klimaatakkoord in miljard kWh en petajoule

Elektriciteit	Miljard kWh	petajoule
Wind op zee	49	176
Wind op land	12	43
Zonneparken	5	18
Zon op daken	7	25
Biomassa	11	40
Totaal	84	302

Bron: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/06/28/klimaatakkoord>, 28 juni 2019.

In vergelijking met 2018 moet in 2030 windenergie 5,6 keer zoveel en zonne-energie 2,3 keer zoveel elektriciteit leveren. Zon en wind samen leveren dan 262 petajoule, dat komt overeen met 8,5% van het huidige totale energiegebruik.

Uit rapporten van de overheid en andere organisaties komt het volgende beeld op van de energievoorziening tot 2030 in percentages per bron (tabel 3.4). Het aantal warmtepompen zal sterk toenemen (tabel 3.5).

Tabel 3.4
Energiegebruik Nederland 1980 en 2017, 2018, 2019, 2020 en 2030; percentages per bron^{140 141 142 143 144 145 146}

jaar	1980	2017	2018	2019	2020	2030
aardgas	46,4	41	42	45	45	37
olie	46,5	38	38	36	36,5	40
kolen	5,7	12	11	8,6	6,5	4
kernenergie	1,4	1	1	1	1,1	1
zon en wind	0	1,4	1,6	1,8	4	12
biomassa	0	4,0	4	5,5	5,4	5
overige	0	2,6	2,4	2,1	1,5	1

Noot: overige betekent energie uit afval, waterkracht, bodemwarmte en invoer elektriciteit.

Tabel 3.5

Bron:

https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Technical_Publications/Dutch/Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2018.pdf, 19 december 2018.

In deze paragraaf ging het tot nu toe over het energiegebruik. Maar de energie moet ergens vandaan komen. Elektriciteit wordt zoveel mogelijk in eigen land opgewekt. Het regeringsbeleid gaat uit van een toename van elektriciteit uit zon en wind. Daarom is het van belang aan te geven hoe de bronnen voor de productie van elektriciteit zich kunnen ontwikkelen. De visie van TenneT, de beheerder van het elektriciteitsnet, voor de periode tot 2035 staat in tabel 3.6.

Tabel 3.6
Elektriciteitsproductie Nederland 2015-2035

Opgesteld vermogen (MW)	2015	2016	2017	2018	2020	2025	2030	2035
Kernenergie	500	500	500	500	500	500	500	0
Kolen	7.300	5.700	5.700	4.600	4.000	3.400	0	0
Kolen (niet operationeel)	0	0	0	0	0	0	3.300	3.300
Gas (operationeel)	15.900	15.500	15.800	16.100	16.000	14.600	14.100	13.200
Gas (geconserveerd)	4.400	4.600	3.700	2.900	2.600	1.600	1.600	1.400
Afvalverbranding	700	700	700	700	800	800	800	800
Biomassa/biogas	400	500	500	500	600	1.200	1.300	1.300
Wind op land	2.600	3.100	3.200	3.200	4.500	6.000	7.800	9.100
Wind op zee	200	400	1.000	1.000	1.000	5.900	11.300	17.200
Waterkracht	0	0	0	0	0	0	0	0
Zon-PV	1.000	1.500	2.000	2.900	6.900	11.900	26.900	35.400
Totaal	33.100	32.400	33.200	32.400	36.800	45.900	67.600	81.700

Bron:

https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Technical_Publications/Dutch/Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2017_web.pdf; .

https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Technical_Publications/Dutch/Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2018.pdf, 19 december 2018.

<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/09/vooral-meer-groene-stroom-uit-zon>, 1 maart 2019.

https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Technical_Publications/Dutch/20200117_Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2019.pdf, december 2019.

<https://www.tennet.eu/nl/nieuws/nieuws/interconnectie-samenwerking-en-flexibilisering-cruciaal-voor-europese-leveringszekerheid-elektricit/>, 10 februari 2021.

3.2 Ruimtebeslag per energiebron

In dit verband is ook het ruimtebeslag in Nederland van belang. De productie van energie uit duurzame bronnen vergt veel meer ruimte dan energieproductie uit fossiele brandstoffen. Dat is de conclusie van Paul Behrens en John van Zalk van de Universiteit Leiden uit hun onderzoek naar hoeveel ruimte negen specifieke energievormen bij hun productie innemen.

Verschillende energievormen vragen bij de productie verschillende hoeveelheden ruimte. Vergelijken kan aan de hand van de elektriciteit die wordt opgewekt per vierkante meter. Biomassa, waterkracht en zon en wind nemen de meeste ruimte in beslag; aardgas en kernenergie de minste. De productie van zonne- en windenergie heeft veertig tot vijftig keer meer ruimte nodig dan energie uit steenkool en negentig tot honderd keer meer dan uit gas.¹⁴⁷
¹⁴⁸ De kerncentrale Borssele produceerde in 2019 3,7 miljard kWh elektriciteit. Om een zelfde hoeveelheid stroom met zonnestroom te produceren op daken “is er 1.916 hectare nodig,” schreef minister Wiebes van EZK op 4 juni 2020 aan de Tweede Kamer.¹⁴⁹ 1.916 hectare is 19,16 vierkante kilometer.

Kernenergie zou weinig ruimte nodig hebben, is een stelling die juist is als we alleen de plek bekijken waar een kerncentrale staat. Maar een kerncentrale heeft een groot oppervlak aan water nodig voor koeling. Voor de kerncentrale Borssele gaat het om 63.000 kubieke meter per uur.¹⁵⁰ Bovendien geldt sinds 1986 het zogeheten waarborgingsbeleid. Dat komt erop neer dat de regering wil voorkomen dat met name binnen een straal van vijf kilometer nieuwe fabrieken met veel werknemers of grote wooncomplexen (bijvoorbeeld seniorenflats) of recreatiegebieden worden aangelegd.¹⁵¹ Een nieuwe kerncentrale betekent dus een omvangrijk indirect ruimtebeslag.

Het gaat hierboven om de ruimte bij de productie van energie in Nederland. Het ruimtebeslag door bijvoorbeeld de buitenlandse uranium- of kolenmijnen is hierin niet meegenomen. Daarover zijn onvoldoende betrouwbare gegevens beschikbaar. Wel geven we hier een voorbeeld: bij Shekaftar in Kirgizië (een land in Centraal-Azië) ligt 700.000 m³ afval van de winning en verwerking van uranium dat een bedreiging is voor mens en milieu, bleek op 28 juli 2020.¹⁵²

Interessant is ook hoeveel elektriciteit met de beschikbare ruimte in Nederland kan worden geproduceerd en om welk ruimtebeslag het gaat. Dat staat in onderstaande tabel 3.7, overgenomen uit een studie van het onderzoeksbureau Squarewise van 7 februari 2019.¹⁵³ Volgens deze tabel is er in 2050 zo’n 16 keer zoveel wind- en 38 keer zoveel zonvermogen opgesteld in vergelijking met het jaar 2018. Als de windmolens gemiddeld een vermogen van 4 MW hebben, gaat het om 19.000 windmolens. Zo’n 38 keer zoveel zonnepanelen betekent 900 miljoen zonnepanelen in 2050. Of Nederland daarvoor voldoende ruimte heeft, zou nader onderzocht moeten worden.

Tabel 3.7

Maximaal mogelijk op te stellen vermogen zonne- en windenergie in 2050

Bron: https://www.squarewise.com/wp-content/uploads/2019/02/Het-potentieel-van-groene-waterstof-voor-de-gebouwde-omgeving_.pdf, 7 februari 2019. Noot: 1 GW is 1000 Megawatt (MW).

Huishoudens gebruiken nu 21 miljard kWh elektriciteit per jaar (afgekort als TWh). Het onderzoeksbureau CE Delft heeft in opdracht van de SP uitgerekend hoeveel elektriciteit jaarlijks opgewekt kan worden met zonnepanelen op woonhuizen. Tabel 3.8 geeft de verhouding tussen deze opwekking en het gebruik door huishoudens weer in procenten.

Tabel 3.8
Zonnestroom huishoudens, opwekking als percentage gebruik

Bron: https://www.sp.nl/sites/default/files/ce_delft_200109_zon_op_dak.pdf, 14 maart 2021.

3.3 Watergebruik elektriciteitsopwekking

Elektriciteitscentrales gebruiken water voor de koeling. Kolencentrales zijn daarbij koploper, gevolgd door kernenergie en aardgas. Dat blijkt uit het rapport “Burning Our Rivers: The Water Footprint of Electricity”.¹⁵⁴

Het rapport van het River Network gaat in op de situatie in de Verenigde Staten, aan de hand van een gedetailleerde studie van 633 centrales die daar in bedrijf zijn. In Nederland kan de situatie anders zijn, maar we gaan ervan uit dat de uitkomsten van het rapport in grote lijnen ook voor Nederland gelden. Als dat niet zo is, horen we dat graag.

In het rapport is naast het watergebruik van de gangbare centrales ook dat van zonne- en windenergie bestudeerd. Daarbij is niet alleen rekening gehouden met het water dat centrales gebruiken voor de koeling. Ook is onderzocht hoeveel water gebruikt wordt bij het maken van de centrales en de productie van de brandstof. Deze meer indirecte manieren van het gebruik van water betekenen bijna altijd dat het water vervuild wordt. Het directe en indirecte gebruik van water geeft een water-voetafdruk van de verschillende vormen van elektriciteitsopwekking.

Voor 1 kilowattuur (kWh) uit een kolencentrale is 64 liter water nodig. Bij een kerncentrale gaat het om 58 liter en bij een gascentrale om 25 liter per kWh. Dit koelwater warmt de rivier of de zee op waaraan de centrale ligt. Het gaat hier om het directe en indirecte watergebruik. Bij zon- en windstroom gaat het om veel minder water: bij stroom uit zonnepanelen is het 1 liter water per kWh en bij windenergie 0,2 liter per kWh. Het betreft hier watergebruik bij het maken van de installaties.

Waarom koelwater nodig is

Een centrale heeft koelwater nodig. Neem als voorbeeld de kerncentrale Borssele.¹⁵⁵ Een zeer vereenvoudigde weergave. Bij de splijting van uranium komt warmte vrij. Die warmte wordt

afgegeven aan water. Dat geeft stoom die door een turbine wordt geblazen. De turbine-as is met de as van een generator verbonden. In de generator ontstaat door het ronddraaien van een rotor elektriciteit. De stoom die door de turbine is gegaan, moet weer tot water worden gekoeld, gecondenseerd. Dat gebeurt in de condensor. Het water wordt vervolgens weer in stoom omgezet. Het koelen van de stoom tot water in de condensor gebeurt met koelwater. De benodigde hoeveelheid koelwater is 63.000 kubieke meter per uur en komt uit de Westerschelde.

3.4 Opslag energie noodzakelijk

We krijgen in Nederland van de zon gemiddeld per jaar 35 keer zoveel energie als we nodig hebben voor verwarming, industrie, auto's en de opwekking van elektriciteit.¹⁵⁶ Door de zon wordt de lucht warmer. Verwarmde lucht komt in beweging en stijgt op. De lucht beweegt: door de zon waait de wind. De vraag is daarom niet zozeer of er genoeg duurzame energie is, maar of er voldoende ruimte is voor zonnepanelen en windmolens. Nog belangrijker: wat doen we als de zon niet schijnt en de wind niet waait? Zitten we dan in het donker? Hoe voldoen we dan aan de energievraag?

Het antwoord is soms dat Nederland juist voor de leveringszekerheid gascentrales in bedrijf moet blijven houden.¹⁵⁷ Anderen stellen daarentegen dat kerncentrales nodig zijn op uranium of pleiten voor nog niet bestaande reactoren op thorium of voor kernfusiereactoren.¹⁵⁸ Weer anderen vinden kernenergie geen goed plan.¹⁵⁹ Ook lezen we regelmatig dat waterstof een groot deel van de energieproblemen kan oplossen. Maar de toepassingen van waterstof zijn zeer duur en per definitie inefficiënt, waardoor andere technieken maatschappelijk gezien vaak een beter alternatief vormen.¹⁶⁰ Een voorbeeld. De omzetting van elektriciteit naar waterstof gaat met een rendement van zo'n 75%, de omzetting van waterstof terug naar elektriciteit met zo'n 55%. Zo verlies je onderweg 60% van de origineel opgewekte stroom.¹⁶¹ Als we van het gas af willen en ook geen kerncentrales willen hebben, wordt opslag van zonne- en windenergie noodzakelijk. Op momenten dat er meer zonne- en windenergie wordt geproduceerd dan nodig is, moet de overtollige energie worden opgeslagen voor gebruik op een later tijdstip. Dat kan via accu's of via het maken van synthetisch gas of waterstof, maar alle drie worden nog niet heel grootschalig toegepast.^{162 163}

Het grote belang van opslagsystemen komt nadrukkelijk aan bod in het rapport 'Infrastructure Outlook 2050' dat de landelijke netbeheerders TenneT (elektriciteit) en Gasunie (gas) op 15 februari 2019 hebben gepubliceerd. Daarin lezen we: *"De mogelijkheden voor de opslag van elektriciteit nemen tot 2050 verder toe. Alleen gasopslag is vanwege de veel grotere volumes een oplossing voor seizoensgebonden opslag. Hiermee kunnen langere perioden van koude (hoge vraag) en weinig elektriciteitsproductie door zon en weinig wind worden opgelost. Waterstof kan een belangrijke rol gaan spelen in het toekomstige energiesysteem. Veel waterstof wordt dan gemaakt uit (overschotten van) zonne- en windenergie, ook wel power-to-gas (P2G) genoemd."* En: *"Dat het koppelen van het netwerk van TenneT met dat van Gasunie de flexibiliteit zal geven die het energiesysteem nodig heeft. Dat houdt het systeem bovendien betrouwbaar en betaalbaar."*¹⁶⁴

Daarnaast behoort een aangelegd, hoger gelegen meertje tot de mogelijkheden, zoals in België gebeurt. Overtollige stroom drijft pompen aan die water van laag naar hoog pompen. Valt de wind stil, dan laat je het water weer naar beneden stromen langs turbines en generatoren die elektriciteit maken. Ook is een ondergrondse waterkrachtcentrale in Limburg technisch mogelijk, maar dat is nu niet meer dan een plan.^{165 166}

De opslagsystemen in accu's zijn in opkomst. Op 6 april 2017 deelden Eneco en Mitsubishi Corporation (MC) mee in Duitsland te starten met de bouw van Europa's grootste batterij, onder de naam EnspireME. De batterij is een lithium-ion-systeem met een opslagcapaciteit

vergelijkbaar met het gemiddelde energieverbruik van meer dan 5.300 Duitse huishoudens op 1 dag.¹⁶⁷ De Technische Universiteit Delft heeft vanaf april 2017 een nieuw laboratorium voor onderzoek naar en het testen van huidige en toekomstige batterijen en de daaraan gerelateerde elektrochemische apparaten.¹⁶⁸

Het Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), de Universität Stuttgart en het Karlsruher Institut für Technologie (KIT) bouwen gezamenlijk een onderzoeksfabriek voor grootschalige energieopslag die vrijwel geen verlies kent en bovendien goedkoop is. Het gaat om zogeheten Carnot-batterijen waarbij elektriciteit wordt omgezet in warmte, de warmte wordt opgeslagen en daarna weer omgezet in warmte en elektriciteit. De bouwplannen zijn op 9 oktober 2018 ondertekend.¹⁶⁹ Eveneens in Duitsland is begin 2019 het project ‘E-Magic’ begonnen (de afkorting voor European Magnesium Interactive Battery Community). Het gaat om een batterij op basis van magnesium, ook omdat de voorraad magnesium 3.000 keer zo groot is als de voorraad lithium en een magnesium-batterij gemakkelijker te hergebruiken is.¹⁷⁰

De branchevereniging FME (de ondernemersorganisatie voor de technologische industrie) heeft op 11 oktober 2017 een zogeheten visiedocument grootschalige energieopslag uitgebracht met een uitgebreid overzicht van de verschillende opslagmogelijkheden. Hieruit een citaat: *“Ook in Nederland kan het in de toekomst voorkomen dat er meer duurzame energie wordt opgewekt dan er kan worden verbruikt. In de zomer ontstaat zelfs een structureel overschot aan duurzame energie. Dat brengt het risico met zich mee dat duurzame bronnen afgekoppeld moeten worden. Meer flexibiliteit, door bijvoorbeeld energieopslag, is nodig om te voorkomen dat deze schone en duurzame energie verloren gaat. Hoe groot deze toekomstige behoefte aan seizoensopslag is en wanneer de noodzaak hiervoor urgent wordt, hangt sterk af van de ontwikkeling van het aandeel duurzame energie.”*¹⁷¹ FME rekent ons voor dat het kan gaan om 50 miljard kWh, dat is 42% van het huidige elektriciteitsgebruik. FME baseert zich op een studie die NLI ingenieurs, de Nederlandse branchevereniging van advies-, management- en ingenieursbureaus, op 1 oktober 2015 heeft uitgebracht. Daarin staat: *“De lange termijn (2050) duurzaamheidsdoelstellingen van de EU en Nederland zullen leiden tot een massieve elektrificatie van de energievoorziening uit duurzame bronnen, hetgeen zal leiden tot de noodzaak van grootschalige (dag/nacht- en seizoens)opslag. (...) De nu beschikbare duurzame opslagstechnieken zijn nog niet geschikt voor een dergelijke grootschalige toepassing. Batterijtechnologie kan een belangrijke bijdrage leveren, maar heeft qua performance en kostenefficiëntie nog een belangrijke weg te gaan.”*¹⁷²

Sindsdien heeft de ontwikkeling niet stilgestaan. Integendeel, er zijn steeds meer geavanceerde opslagsystemen die ook op de markt gekocht kunnen worden. Het Duitse blad PV Magazine heeft naar aanleiding van de beurs Energy Storage Europe in Düsseldorf in februari 2019 de 21 meest belovende opslagsystemen beschreven.¹⁷³

Batterijen voor energieopslag zijn ook in Nederland in opkomst, staat in een rapport van Wood Mackenzie dat op 26 mei 2020 verschenen is. Door dalende kosten worden lithium-ion batterijen en opslag achter de meter steeds aantrekkelijker. Dat is afgelopen vijf jaar vooral te merken in de utiliteitssector, waar opslagsystemen tussen 2014 en 2019 zo’n 15% goedkoper zijn geworden, zo staat in het rapport. De verwachting is dat de prijsdaling de komende vier jaar doorzet met nog eens 27% in 2024.¹⁷⁴

We moeten immers deze weg opgaan om te voorkomen dat we over een jaar of twintig in het donker of in de kou komen te zitten. De industrie begrijpt dat blijkbaar heel goed.

3.5 Uitstoot broeikasgassen van de verschillende energiebronnen

Een energievoorziening op basis van fossiele brandstoffen is niet duurzaam vanwege de broeikasgassen die bij de verbranding van gas, olie en kolen vrijkomen. Broeikasgassen geven een ongewenste klimaatverandering. Daarom zijn er plannen om het broeikasgas CO₂ af te

vangen en op te slaan. Maar zon en wind zijn beter voor het klimaat dan afvang en opslag van CO₂. Een belangrijke reden daarvoor is dat niet meer dan 90% van de CO₂ van een kolen- of gascentrale afgevangen kan worden. Dat staat in een studie van het Instituut voor Klimaatonderzoek in het Duitse Potsdam.¹⁷⁵

Het is in dit verband van belang onderscheid te maken tussen de directe en de indirecte uitstoot van broeikasgassen. Onder de directe uitstoot verstaan we de gassen die vrijkomen bij de verbranding zelf. Bij de indirecte uitstoot gaat het om de fossiele energie die nodig is voor de bouw van een centrale of een windmolen, voor het transport, etc.^{176 177 178}

Neem als voorbeeld kernenergie. Bij de verbranding van uranium komt geen CO₂ vrij. Daarom wordt kernenergie soms CO₂-vrij genoemd en zou kernenergie dus een rol moeten krijgen bij de vermindering van het broeikaseffect. Deze redenering treffen we bijvoorbeeld aan in het op 8 oktober 2018 verschenen klimaatrapport van de Verenigde Naties, het zogeheten IPCC-rapport.¹⁷⁹

Hierbij is het goed om te bedenken dat de bijdrage van kernenergie aan de vermindering van het klimaatprobleem hoe dan ook beperkt zal zijn. Volgens het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) is kernenergie nu 10,4% van het wereldwijde elektriciteitsgebruik; het elektriciteitsgebruik is 18,8% van van het wereldwijde energiegebruik.¹⁸⁰ Daarmee is kernenergie nu 2% van het wereldwijde energiegebruik. Op dezelfde manier kunnen we uitrekenen dat volgens het IAEA kernenergie in het jaar 2050 tussen de 1,5 en 3% van het wereldwijde energiegebruik zal leveren.

Kernenergie is echter niet CO₂-vrij. Dit broeikasgas komt vrij bij de winning en bewerking van uraniumerts, bij de bouw van de kerncentrale, het transport van kernbrandstof, de afbraak van de centrale, enzovoort. Bij al deze werkzaamheden zijn machines nodig die benzine of diesel gebruiken en zo CO₂-uitstoot veroorzaken. Dit heet de indirecte CO₂-uitstoot.

In het IPCC-rapport van 2014 is uitgebreid aandacht gegeven aan deze indirecte uitstoot. Er wordt een uitstoot van CO₂ van 4-110 gram CO₂ per kilowattuur (kWh) genoemd, met als gemiddelde 12 gram CO₂ per kWh.^{181 182} Het IPCC-rapport van 2018 gaat hier niet verder op in en neemt dit gemiddelde over.

Voor de onderbouwing werd verwezen naar studies van Lenzen en van Warner en Heath.¹⁸³ Lenzen concludeerde dat het gaat om gemiddeld 65 gram CO₂ per kWh.¹⁸⁴ Warner en Heath noemden 12-110 gram CO₂ per kWh.¹⁸⁵ Daar komt nog bij dat Warner en Heath wezen op de onvolledigheid van rapporten waarvan ze voor hun studie gebruik maakten.¹⁸⁶ Dat zou eerder wijzen op een hogere uitstoot van CO₂. Waarop het door de IPCC genoemde getal van 12 gram CO₂ per kWh is gebaseerd, wordt niet navolgbaar uiteengezet.

Nauwkeurig beargumenteerd zijn de volgende drie studies. In een rapport van de energie-analist Jan Willem Storm van Leeuwen dat op 24 oktober 2017 verschenen is, berekent hij 88-146 gram CO₂ per kilowattuur (kWh).¹⁸⁷ Een op 9 november 2018 verschenen rapport van WISE noemt 66 gram CO₂ per kilowattuur; dit in navolging van een analyse van Benjamin K. Sovacool over 103 rapporten betreffende de indirecte CO₂-emissies van kerncentrales.^{188 189}

Een op 15 juni 2019 verschenen rapport van Mark Z. Jacobson, Professor of Civil and Environmental Engineering, Directeur van het Atmosphere/Energy Program van de Stanford University, noemt 78-178 gram CO₂ per kilowattuur.¹⁹⁰ Zie de door mij zo zorgvuldig mogelijk samengestelde tabel 3.9.

Voor meer informatie over bijvoorbeeld de eindigheid van de hoeveelheid uraniumerts, de kosten van kernenergie, etc. verwijzen we naar het artikel “Kernenergie, kernafval en energie in Nederland en wereldwijd: een overzicht.”¹⁹¹ In het kort gaan we hier in op de kwestie van de opslag van kernafval. Al vanaf 1976 zijn zoutkoepels in Noord-Nederland in beeld voor deze opslag. Het gaat om Ternaard in Friesland, Pieterburen en Onstwedde in de provincie Groningen, Schoonloo en Gasselte-Drouwen in Drenthe en de minder zekere zoutkoepels

Hooghalen en Anloo in Drenthe.^{192 193 194} Wat betreft de plannen voor zoutkoepels was Duitsland het voorbeeld voor Nederland. In de zoutkoepel Asse in de Noord-Duitse deelstaat Nedersaksen zijn tot 1978 zo'n 126.300 vaten radioactief afval opgeslagen. De opslagmijn dreigt nu in te storten en vol water te lopen. Het plan is om de vaten weer op te graven. Dat kost 3,5 miljard euro.¹⁹⁵ De Duitse overheidsinstantie Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) heeft op 28 september 2020 Gorleben na 40 jaar onderzoek van de lijst geschrapt omdat deze zoutkoepel niet voldoet aan de geologische criteria.¹⁹⁶ Het onderzoek heeft 1,6 miljard euro gekost.¹⁹⁷ De opslag in zoutkoepels schiet dus niet erg op.

In Nederland wordt vaak verwezen naar Finland waar de opslag in graniet veilig zou zijn, in 2023 zou kunnen beginnen en 3 miljard euro zou kosten.^{198 199} Finland heeft hetzelfde concept voor de eindberging van radioactief afval als Zweden. In 2018 heeft het Zweedse Hof voor Land en Milieu het opbergplan echter in twijfel getrokken omdat de veiligheid niet is aangetoond.^{200 201} De Zweedse kernafvalorganisatie MKG bracht in oktober 2020 een rapport uit dat des te duidelijker maakte dat de opslag niet veilig is.²⁰²

Dit alles roept de vraag op of het moreel verantwoord is kernafval te produceren. Immers, onder meer Zwitserland en Duitsland gaan ervan uit dat een veilige opslagperiode van een miljoen jaar gegarandeerd moet zijn.^{203 204} Ook in Nederland is ondanks langjarig onderzoek de veiligheid van de eindberging van kernafval niet aangetoond. Dat is een van de belangrijkste conclusies uit het boek 'Radioactief afval – Waar laten we het' van Peter Löhnberg dat in oktober 2020 verschenen is.²⁰⁵ In november 2020 begon de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) een nieuw onderzoek naar opslag in Nederlandse zoutkoepels. Een gedeelte van het radioactieve afval moet namelijk "voor meer dan honderdduizend jaar uit het leefmilieu en de invloedssfeer van de mens worden gehouden."²⁰⁶ Hoe kan iemand dat ooit garanderen?

Wat betreft windenergie hangt de indirecte uitstoot van CO₂ onder meer af van de mate waarin de onderdelen van de windmolen gerecycled kunnen worden. Volgens een rapport van WindEurope, de European Chemical Industry Council (Cefic) en de European Composites Industry Association (EuCIA) dat op 26 mei 2020 verschenen is, kan nu 85 tot 90% van de windmolens opnieuw gebruikt worden. Voor de turbine-bladen, die bestaan uit speciale materialen, is dat nog niet het geval. Er zijn wel technologieën, maar die zijn nog niet op industriële schaal beschikbaar. Daar wordt aan gewerkt.²⁰⁷ Welke gevolgen dat zal hebben voor de indirecte uitstoot van CO₂ is nog onbekend.

Soms wordt CO₂-vrij gelijkgesteld aan schoon. Maar stel dat het zou lukken om alle CO₂ van bijvoorbeeld de kolencentrale aan de Eemshaven af te vangen en op te slaan, dan is het de vraag of deze centrale schoon genoemd mag worden. Deze kolencentrale van RWE/ Essent stoot jaarlijks naar schatting zo'n 570 kilogram aan zware metalen uit, waaronder 95 kilo kwik.²⁰⁸ Is dat schoon?

Tabel 3.9

Totale (directe en indirecte) CO₂-uitstoot in gram per kilowattuur^{209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222}

Brandstof	Uitstoot
Aardgas	490
Aardgas met afvang CO ₂	78
Olie	740
Steenkool	820
Steenkool met afvang CO ₂	110
Uranium ertsgehalte 0,1%	78-190

Uranium ertsgehalte 0,02%	300
Zon	48
Wind	10-13

Noot: 1 m³ aardgas voor verwarming geeft 1,890 kilo CO₂

De reis van het uranium voor Borssele

Het uranium voor de kerncentrale in Borssele wordt in mijnen in Kazachstan gedolven. Ter plekke wordt in een chemische fabriek het bruikbare deel uranium geëxtraheerd. Vanaf daar gaat het per vrachtwagen naar de haven, vanwaar het per schip naar Engeland wordt vervoerd om daar per vrachtwagen naar een fabriek te worden gebracht, waar het ‘verhext’ wordt (gasvormig gemaakt). Per vrachtwagen, per schip en vervolgens weer per vrachtwagen gaat het product naar de verrijkingsfabriek van Urenco in Almelo waar het verrijkt wordt. Dan gaat het per vrachtwagen naar de splijfstofstavenfabriek in Duitsland of Frankrijk, vanwaar de splijfstofstaven dan ten slotte per vrachtwagen of trein naar de kerncentrale in Borssele in Zeeland gaan. Als de splijfstofstaven uitgewerkt zijn, gaan ze per trein of vrachtwagen naar een opwerkingsfabriek in Frankrijk. Het kernafval, hoog-, middel- en laagradioactief, wordt zowel in Frankrijk als in Nederland ‘tijdelijk’ opgeslagen in bunkers. Uiteindelijk zal al het afval dus ook nog vervoerd moeten worden naar een definitieve bergplaats.²²³

Uit onderzoek van oktober 2020 van de Universiteit Leiden en het Fraunhofer ISE citeren we: “De huidige zonnepanelen zijn meestal gemaakt van siliconen. Dit materiaal is goedkoop en niet giftig, maar niet erg efficiënt in het omzetten van zonlicht in elektriciteit. Een nieuwe geavanceerde technologie (de zogeheten III-V siliconen tandemzonnecellen) kan dit een stuk efficiënter. Naast siliconen bevatten deze panelen zeer dunne lagen van elementen als gallium, indium en arseen, waardoor ze bijna vijftig procent meer elektrische energie kunnen opwekken. Sommige van de deze elementen zijn echter giftiger dan siliconen en om ze aan te brengen op de zonnecel zijn hoge temperaturen nodig, wat weer grote hoeveelheden energie kost.”

De onderzoekers ontdekten dat de grootste milieu-impact voortkomt uit het feit dat ze geproduceerd worden met elektriciteit afkomstig uit centrales. Zeker wanneer deze centrales nog steeds afhankelijk zijn van steenkool. Dat heeft niet alleen invloed op het klimaat door de uitstoot van CO₂, maar de giftige dampen die vrijkomen zijn ook op andere manieren schadelijk voor het milieu. Deze impact kan verkleind worden door een energiezuiniger productieproces en natuurlijk door te streven naar meer duurzame elektriciteit. Het is verbazingwekkend om te zien dat de milieu-impact van een nieuwe zonneceltechnologie afhangt van de manier waarop we op dit moment onze elektriciteit uit fossiele brandstof produceren. De onderzoekers zagen ook dat bij deze nieuwe technologie - dankzij het hoge omzettingsrendement van de cellen - uiteindelijk minder materialen nodig zijn per eenheid opgewekte elektriciteit. Continue innovatie en meer energie-efficiënte technologieën kunnen de milieu-impact van zonnecellen dus zeker verlagen.^{224 225}

De Nederlandse fabrikant Exasun verwacht eind 2021 met circulaire zonnepanelen op de markt te komen. Het bedrijf verwacht dat meer dan 95% van het gewicht straks recyclebaar is. Materialen zoals zilver, koper en silicium kunnen dan een hoogwaardige nieuwe toepassing krijgen. Men denkt aan een statiegeldmodel, zodat het bedrijf kan aanbieden om de panelen na dertig jaar van het dak te halen. De klant krijgt dan zijn statiegeld terug en de zonnepanelen kunnen hoogwaardig en rendabel gerecycled worden.²²⁶ Ervaringen in Frankrijk, Duitsland en België leren dat 90-95% hergebruik realistisch is.²²⁷

Maar ook zonnepanelen moeten vervoerd worden, soms over grote afstanden, zoals staat in figuur 3.2; dat transport kost ook energie.

Figuur 3.2 **Herkomst Nederlandse zonnepanelen in 2018**

Bron: <http://www.solarsolutions.nl/solar-trendrapport/>, Nationaal Solar Trendrapport 2019.

3.6 Milieugevolgen productie en consumptie: de verborgen impact

In Nederland geldt vanwege de uitspraak van de rechter over de eis van Urgenda de doelstelling om eind 2020 een broeikasgasuitstoot te hebben die minimaal 25% onder het niveau van 1990 ligt. Eind 2019 was de uitstoot 18% lager dan in 1990, liet het CBS op 7 mei 2020 weten (zie figuur 3.3).

Naast het broeikas effect zijn ook andere gevolgen voor het milieu van belang, zoals Babette Porcelijn heeft beschreven in haar boek “De Verborgene Impact”. Dit boek geeft inzicht in onze impact op de planeet, die groter is dan we denken.²²⁸ De Top 10 van de milieubelasting door de gemiddelde Nederlandse consument staat in figuur 3.4 en 3.5.

Deze milieubelasting kost overigens ook geld. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) berekende in een op 17 november 2017 verschenen rapport dat de jaarlijkse milieuschade als gevolg van de productie in Nederland naar schatting zo'n 7 miljard euro bedraagt.²²⁹

Figuur 3.3

Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/19/uitstoot-broeikasgassen-3-procent-lager-in-2019>, 7 mei 2020.

Figuur 3.4
Top 10 milieubelasting gemiddelde NL-consument in milieupunten (Pt)

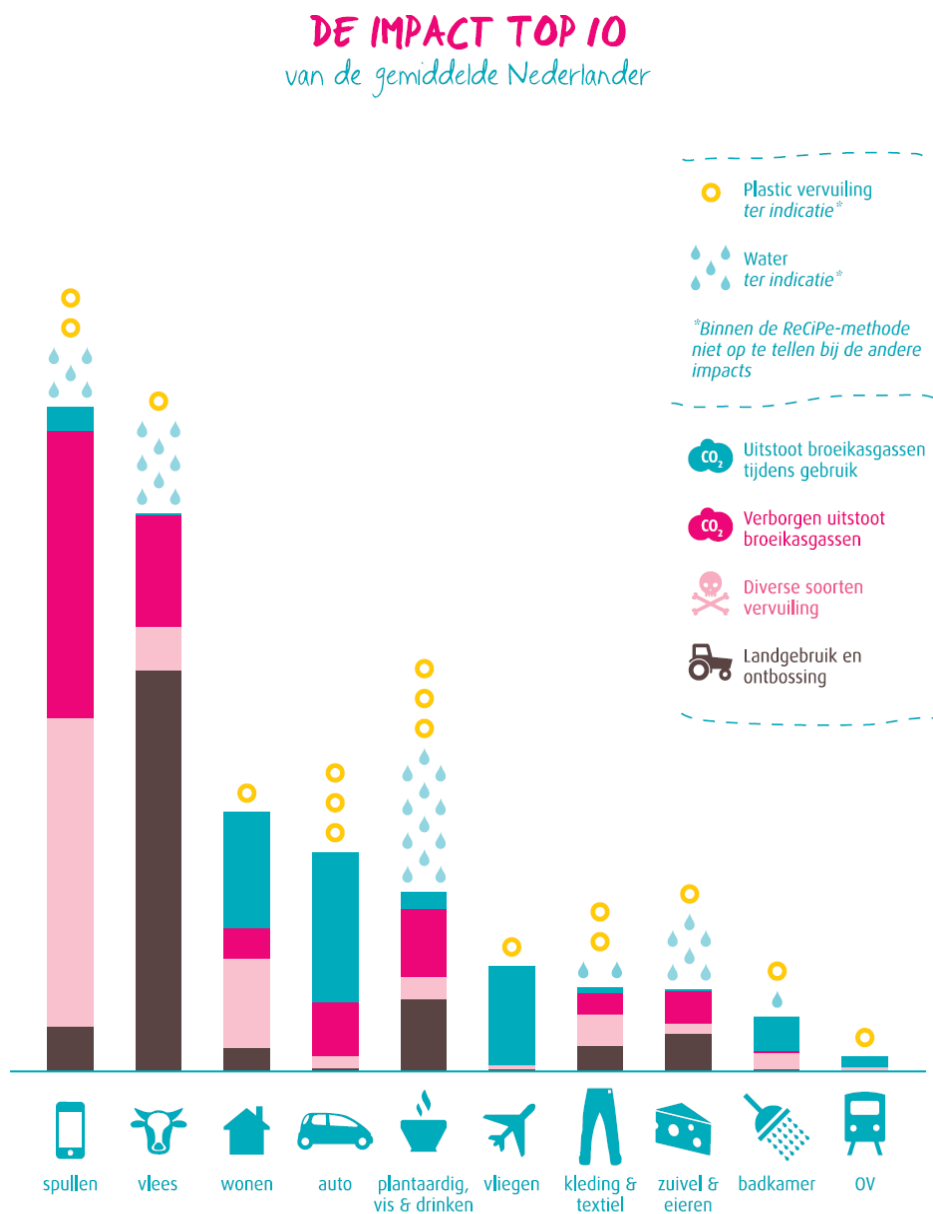
Bron: CE Delft 2015 voor boek “De Verborgene impact” Babette Porcelijn

Toelichting bij figuur 3.4

Opvallend is dat de aanschaf van spullen en de consumptie van vlees duidelijk een hogere milieu-impact hebben dan de andere categorieën. Belangrijk is om te beseffen dat deze top 10 gebaseerd is op het gemiddelde consumptiepatroon. Een individuele consument kan behoorlijk afwijken van dit gemiddelde.

De categorie vliegen staat nu op de zesde plaats. Dat is gebaseerd op een gemiddelde vliegafstand van 4.200 kilometer per jaar. Dat is bijvoorbeeld een retourtje van Schiphol naar Porto of Sicilië. Als een consument een twee keer zo lange vlucht maakt, is de milieubelasting meteen twee keer zo hoog. Met een vliegreis naar Nieuw-Zeeland en terug staat de categorie vliegen op de tweede plaats met een milieubelasting die bijna gelijk is aan die van spullen.²³⁰ De categorie vlees staat op de tweede plaats. Voor vegetariërs geldt uiteraard dat de bijdrage van deze categorie nihil is en dat de categorieën ander eten & drinken en zuivel & eieren iets zullen stijgen.²³¹

Figuur 3.5
Top 10 milieubelasting gemiddelde NL-consument, mooiere versie



© Babette Porcelijn 2017

-
- ¹ <http://www.energiefeiten.nl/#Energie>, in dit deel een veel gebruikte bron.
- ² <https://www.lowtechmagazine.be/2019/03/verwarm-je-huis-met-windenergie-de-warmtemolen.html>, 3 maart 2019.
- ³ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Calorie>; <https://nl.wikipedia.org/wiki/Joule>; <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kilowattuur>.
- ⁴ <https://www.voedingscentrum.nl/nl/mijn-gewicht/overgewicht/spelregel-2-minder-eten-om-af-te-vallen.aspx>.
- ⁵ <https://www.ad.nl/wielrennen/een-kijkje-in-de-machinekamer-van-dumoulin-de-data-achter-de-podiumplaatsen~acf408ab/>, 22 september 2018.
- ⁶ <https://www.energieconsultant.nl/energiemarkt/technische-informatie-energie/tabel-overzicht-verbrandingswarmte-brandstoffen/>.
- ⁷ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/16/energieverbruik-gedaald-in-2018>, 17 april 2019.
- ⁸ Voor dit deel is gebruik gemaakt van verschillende bronnen waaronder <https://www.gaslicht.com/nieuws/wat-doet-u-met-een-kwh-stroom-en-een-m3-gas>; <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/grote-energieslurpers/> met ook andere pagina's van deze organisatie.
- ⁹ Voor dit deel is gebruik gemaakt van verschillende bronnen waaronder Milieu Centraal en http://www.otb.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/Onderzoeksinstituut_OTB/Onderzoek/Onderzoek_en_advies/Onderzoeksthema_s/Nederlands/Duurzame_woningkwaliteit/Duurzaam_en_gezond_wonen/De_onderzoeken_binnen_de_groep_Duurzaam_en_Gezond_wonen/Energie_en_comfort/doc/4_stap1_EH29mrt10.pdf; <https://www.hier.nu/themas/huishoudelijke-apparaten/wist-je-dat-deze-4-apparaten-zoveel-stroom-verbruiken>, 11 november 2017.
- <https://www.hier.nu/uploads/inline/Shift%20Innovatie%20-%20Analyse%20huishoudelijke%20apparaten%2018-11-16.pdf>.
- <https://www.hier.nu/themas/huishoudelijke-apparaten/deze-apparaten-veroorzaken-twee-derde-van-je-stroomrekening>, 21 oktober 2017.
- ¹⁰ <https://www.cbs.nl/nl-nl/artikelen/nieuws/2019/07/energierekening-334-euro-hoger/gemiddeld-jaarverbruik>, 16 februari 2019.
- ¹¹ https://twitter.com/BM_Visser, 28 maart 2021.
- ¹² <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/>; <https://www.gaslicht.com/energiebesparing/energieverbruik/>;
- ¹³ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/07/energierekening-334-euro-hoger>, 16 februari 2019.
- ¹⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/10/energierekening-170-euro-lager>, 3 maart 2020.
- ¹⁵ <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/>.
- ¹⁶ https://www.ce.nl/publicatie/trends_ict_en_energie_2013-2030/1736, februari 2016.
- ¹⁷ <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2020/51/elektriciteit-geleverd-aan-datacenters-2017-2019>, 14 december 2020.
- ¹⁸ <http://www.digitalgateway.eu/sodd2018.html>, 12 juni 2018.
- ¹⁹ <https://www.ericsson.com/495d5c/assets/local/about-ericsson/sustainability-and-corporate-responsibility/documents/2020/breaking-the-energy-curve-report.pdf>, 11 maart 2020.
- ²⁰ <http://aardgas-in-nederland.nl/nederland-aardgasland/aardgas-in-de-nederlandse-energievoorziening/>.
- ²¹ <http://www.energiein nederland.nl/2016/energieverbruik/huishoudens>.
- ²² <http://www.energiepodium.nl/opinie/item/mik-bij-jacht-op-co2-megatonnen-ook-op-petajoules>, met toestemming van de auteur Martien Visser overgenomen en redactioneel iets aangepast.
- ²³ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/16/energieverbruik-verandert-nauwelijks-in-2017>, 19 april 2018.
- ²⁴ <https://www.ebn.nl/publicatie/focus-2018-energie-in-beweging/>, 19 juni 2018.
- ²⁵ <https://joop.bnnvara.nl/opinies/vijftig-kerncentrales-nodig-om-schiphol-op-gang-te-houden>, 7 februari 2021.
- ²⁶ Onzichtbaar goud; de betekenis van 50 jaar aardgas voor Nederland, Castel International Publishers, Groningen/Zwolle, 2009, pp 9-16.
- ²⁷ <http://www.energiegids.nl/nieuws-details.tiles?doc=/content/energie/nieuws/2010/09/09/MI-CvL.xml>, 9 september 2010.
- ²⁸ <http://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/date/2010/07/01/emissies-van-broeikasgassen-methaan-en-lachgas-onderschat/>, 1 juli 2010.
- ²⁹ <http://www.zdf.de/ZDFmediathek/kanaluebersicht/aktuellste/228#/beitrag/video/1109928/ZDF-heute-journal-vom-09-August-2010>.
- ³⁰ <http://nos.nl/dossier/98683-klimaat-en-energie>, 9 augustus 2010.
- ³¹ “Nederland warmt op en zal in de toekomst vaker te maken krijgen met extreme weersomstandigheden. Meer droogte, hitte en wateroverlast zullen er onvermijdelijk toe leiden dat bepaalde populaties achteruit gaan of zelfs

-
- uit Nederland verdwijnen. Het veranderende klimaat is op termijn ongeschikt voor 15 procent van alle hier voorkomende dier- en plantensoorten.”, Planbureau voor de Leefomgeving, 20 augustus 2010.
- ³² http://www.changemagazine.nl/klimaatkennis/onderzoek/weerextremen_gevolg_van_klimaatverandering, 31 augustus 2010.
- ³³ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/37/co2-uitstoot-in-2017-gelijk-aan-die-in-1990>, 10 september 2018.
- ³⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/19/uitstoot-broeikasgassen-licht-gedaald>, 9 mei 2019.
- ³⁵ <http://www.energiepodium.nl/opinie/item/rechtelijke-uitspraak-urgenda-is-onterecht-en-dient-ook-het-klimaat-niet>, 17 oktober 2018.
- ³⁶ https://twitter.com/BM_Visser, 8 mei 2019.
- ³⁷ <http://www.co2ntramine.nl/afvang-en-opslag-co2-noord-nederland-west-nederland-en-noordzee-overzicht/>, 13 november 2017.
- ³⁸ <http://www.technischweekblad.nl/rubrieken/energieserie/kunnen-we-overschakelen-op-duurzame-energie.130162.lynkx>, 24 mei 2011;
http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/Zonnestraling_in_Nederland.pdf;
<http://www.allesoverzonnepanelen.nl/voorwaarden/zonnestraling/>
- ³⁹ <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Stromsystem-II-Regionalisierung-der-erneuerbaren-Stromerzeugung.pdf>, 16 oktober 2018.
- ⁴⁰ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19300720>, 9 oktober 2019.
- ⁴¹ <http://www.co2ntramine.nl/fundamentele-natuurwetenschap-verwaarloosd-bij-klimaatverandering-alleen-zon-en-wind-helpen-ons-uit-een-grotere-chaos/>, 21 maart 2020.
- ⁴² <https://www.stormsmith.nl/reports.html>
- ⁴³ <http://www.co2ntramine.nl/wp-content/uploads/2010/11/Basiskennis-opslag-CO2-Herman-Damveld.pdf>, hier noemt CBS 27%.
- ⁴⁴ <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=37281&D1=19-21&D2=0-1,4,7-12&D3=53,58,63,68,73,78,83,88,93,98,103,108,113,118,123,128,133,138,143,148,l&HD=160928-1429&HDR=G1&STB=T,G2>, juli 2016.
- ⁴⁵ <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=37281&D1=15-16&D2=0&D3=53,58,63,68,73,78,83,88,93,98,103,108,113,118,123,128,133,138,143,148,l&HD=160928-1440&HDR=G1,T&STB=G2>.
- ⁴⁶ http://www.energiefeiten.nl/#Eenheden_en_omrekenfactoren_voor_energie.
- ⁴⁷ CBS, e-mail aan Herman Damveld, wo 8-3-2017 15:09.
- ⁴⁸ https://www.essent.nl/content/overessent/actueel/archief/2012/essent_opent_grootste_en_duurzaamste_gas-centrale_van_nederland.html#, 26 juni 2012; <https://www.nuon.com/activiteiten/productie/gas/gasgestookte-centrales/>.
- ⁴⁹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/22/aandeel-hernieuwbare-energie-5-9-procent-in-2016>, 30 mei 2017.
- ⁵⁰ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/22/aandeel-hernieuwbare-energie-naar-6-6-procent>, 30 mei 2018.
- ⁵¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/22/aandeel-hernieuwbare-energie-5-9-procent-in-2016>, 30 mei 2017.
- ⁵² <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/22/aandeel-hernieuwbare-energie-naar-6-6-procent>, 30 mei 2018.
- ⁵³ <https://www.duurzaamnieuws.nl/recordaantal-zonnepanelen-in-nederland/>, 16 januari 2018.
- ⁵⁴ <http://www.solarsolutions.nl/nieuws-2018/de-pers-record-aantal-zonnepanelen-geïnstalleerd-2017/>, januari 2018.
- ⁵⁵ <https://www.duurzaamnieuws.nl/recordaantal-zonnepanelen-in-nederland/>, 16 januari 2018.
- ⁵⁶ <http://www.solarsolutions.nl/nieuws-2018/de-pers-record-aantal-zonnepanelen-geïnstalleerd-2017/>, januari 2018.
- ⁵⁷ <http://www.solarsolutions.nl/solar-trendrapport/>, Nationaal Solar Trendrapport 2019.
- ⁵⁸ E-mail Julia Koster, Dutch New Energy Research, op 3 februari 2020 om 11.01 uur.
- ⁵⁹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/22/aandeel-hernieuwbare-energie-naar-7-4-procent>, 29 mei 2019.
- ⁶⁰ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/16/energieverbruik-gedaald-in-2018>, 17 april 2019.
- ⁶¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/22/verbruik-hernieuwbare-energie-met-16-procent-gegroeid>, 29 mei 2020.
- ⁶² <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/10/productie-groene-elektriciteit-in-stroomversnelling>, 4 maart 2020.
- ⁶³ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/22/11-procent-energieverbruik-in-2020-afkomstig-uit-hernieuwbare-bronnen>, 31 mei 2021.
- ⁶⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/22/aandeel-hernieuwbare-energie-naar-7-4-procent>, 29 mei 2019.
- ⁶⁵ <https://windstats.nl/statistieken/>; e-mail Steven Velthuijsen van windstats aan Herman Damveld van 21 januari 2019 om 10.23 uur en 13 mei 2020 om 16.51.
- ⁶⁶ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/22/verbruik-hernieuwbare-energie-met-16-procent-gegroeid>, 29 mei 2020.
- ⁶⁷ <https://www.zelfenergieproduceren.nl/nieuws/flinke-opmars-van-windenergie-in-nederland/>, 1 maart 2021.

- ⁶⁸ <http://energieopwek.nl/>.
- ⁶⁹ <http://themasites.pbl.nl/balansvande leefomgeving/wp-content/uploads/pbl-2018-balans-van-de-leefomgeving-2018-3160.pdf>, p.208/9, 6 september 2018.
- ⁷⁰ https://twitter.com/BM_Visser/status/1176879323460100100
- ⁷¹ <https://milieudefensie.nl/publicaties/factsheets/12-in-2020-0-in-2030-we-kunnen-zonder-gas/view>, 13 mei 2016.
- ⁷² <https://www.gasunie.nl/dit-doet-gasunie/blog-247-energie/waar-komt-ons-aardgas-eigenlijk-vandaan>, 30 april 2020.
- ⁷³ <https://www.gasunie.nl/nieuws/technische-briefing-gts-voor-tweede-kamer-commissie>, 17 januari 2018.
- ⁷⁴ https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/08/Ov_COT%20Verkennde%20scenarioanalyse%20gaswinning%20Onder%20leveringszekerheid.pdf, 12 augustus 2018.
- ⁷⁵ <https://www.gasunie.nl/dit-doet-gasunie/blog-247-energie/waar-komt-ons-aardgas-eigenlijk-vandaan>, 30 april 2020.
- ⁷⁶ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/12/elektriciteitsproductie-naar-recordhoogte>, 17 maart 2020.
- ⁷⁷ In Nederland stonden begin 2018 enkele centrales die draaiden op laagcalorisch gas: Diemen 678 MW, Utrecht 474 MW, Rotterdam 269 MW, Den Haag 112 MW, Bergum 152 MW en Leiden 83 MW; https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/08/Ov_COT%20Verkennde%20scenarioanalyse%20gaswinning%20Onder%20leveringszekerheid.pdf, 12 augustus 2018.
- ⁷⁸ <https://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/ecn-presenteert-rapport-hoe-beperken-we-de-nederlandse-gasvraag/>.
- ⁷⁹ <https://milieudefensie.nl/publicaties/rapporten/verkenning-haalbaardheid-en-consequenties-verlaging-gasproductie-30-miljard-m3>, 4 februari 2015.
- ⁸⁰ [http://statline.cbs.nl/statweb/publication/?vw=t&dm=slnl&pa=71486ned&d1=0-2,23-26&d2=0&d3=0,5-16&d4=\(1-1\)-l&hd=090402-0910&hdr=t.g3&stb=g1.g2](http://statline.cbs.nl/statweb/publication/?vw=t&dm=slnl&pa=71486ned&d1=0-2,23-26&d2=0&d3=0,5-16&d4=(1-1)-l&hd=090402-0910&hdr=t.g3&stb=g1.g2).
- ⁸¹ <https://toekomstbestendig-in-groningen.nl/met-welke-installaties-wordt-de-woning-energieneutraal/>, 3 oktober 2018.
- ⁸² <https://www.bgdd.nl/portfolio/zorgeloos-wonen-in-de-zon-groningen/2>.
- ⁸³ <https://www.technischweekblad.nl/nieuws/zonnewarmtenet-geschied-voor-miljoenen-woningen>, 19 december 2020; <http://www.zonnewarmtenet.nl/>, december 2020.
- ⁸⁴ http://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Technical_Publications/Dutch/Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2015-2031.pdf, 12 oktober 2016.
- ⁸⁵ Email Jeroen Brouwers, Manager Media Relations van TenneT aan Herman Damveld, ma 6-3-2017 15:13; hierbij is al rekening gehouden met het stilleggen van kolencentrales per 1 juli 2017; naar verwachting sluit dit jaar nog 900 MW aan gascentrales, terwijl er ook windparken in bedrijf komen.
- ⁸⁶ https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Technical_Publications/Dutch/Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2017_web.pdf, december 2017.
- ⁸⁷ <http://www.fluxenergie.nl/heel-meer-zonne-en-windenergie-nodig-dan-gepland/> 26 september 2016.
- ⁸⁸ www.ce.nl/?go=home.downloadPub&id=502&file=06_3113_45.pdf.
- ⁸⁹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/26/elektriciteitsproductie-uit-steenkool-opnieuw-hoger>, 28 juni 2016.
- ⁹⁰ https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Technical_Publications/Dutch/20200117_Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2019.pdf, december 2019.
- ⁹¹ Toelichting bij de berekening. We weten dat gascentrales in 2019 zo'n 71 miljard kWh hebben geleverd en dat het opgesteld vermogen 16.100 MW was. We kunnen dan uitrekenen hoeveel uren de gascentrales moeten draaien om 71 miljard kWh te leveren: dat is 4400 uur. In 2019 leverden kolencentrales 17,4 miljard kWh. Stel als rekenvoorbeeld dat de kolencentrales gesloten zouden zijn en de elektriciteit geleverd zou zijn door gascentrales, zodat ze in totaal 88,4 kWh hadden moeten produceren (71+17,4 miljard kWh=88,4 miljard kWh). Hoeveel uren hadden de gascentrales dan in bedrijf moeten zijn? Een som leert dat het was gegaan om 5500 uren.
- ⁹² <http://houdgroningenovereind.nl/Aardgasprijs.html>, 10 maart 2020.
- ⁹³ Gebruikte bronnen: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2016/01/12/beantwoording-schriftelijke-vragen-gaswinning-groningen-en-meerjarenprogramma-ncg>, antwoorden 5 en 90, 12 januari 2016; <http://www.fluxenergie.nl/wp-content/uploads/2016/09/0.-miljoenennota-2.pdf>, Miljoenennota, 20 september 2016. <http://jaarverslag2016.gasterra.nl/gas/inkoop>, 4 maart 2017.

<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/prinsjesdag/miljoenennota-en-andere-officiële-stukken>, hoofdstuk 13, pagina 132, 17 september 2019.

<https://www.nieuwestroom.nl/energiemarkt/energiebeurzen/gas-handelsbeurs/>

⁹⁴ <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/publicaties/artikelen/archief/2015/elektriciteitsverbruik-16-keer-hoger-dan-in-1950.htm>, 9 februari 2015.

⁹⁵ <https://longreads.cbs.nl/trends17/economie/cijfers/energie/>,

⁹⁶ <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84575NED/table>

⁹⁷ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/08/productie-groene-stroom-met-40-procent-gestegen>, 24 februari 2021.

⁹⁸ <http://statline.cbs.nl/Statweb/>.

⁹⁹ <http://statline.cbs.nl/Statweb/>.

¹⁰⁰ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken/documenten/rapporten/2016/10/14/nationale-energieverkenning-2016>, 14 oktober 2016.

¹⁰¹ <http://www.urgenda.nl/visie/rapport-2030/>.

¹⁰² <http://www.pbl.nl/publicaties/nationale-energieverkenning-2017>, 19 oktober 2017

http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-nationale-energieverkenning-2017_2625.PDF, 19 oktober 2017.

¹⁰³ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/16/energieverbruik-verandert-nauwelijks-in-2017>, 19 april 2018.

¹⁰⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/16/energieverbruik-gedaald-in-2018>, 17 april 2019.

¹⁰⁵ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/20/minder-steenkool-en-meer-aardgas-verbruikt-in-2019>, 11 mei 2020.

¹⁰⁶ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/14/energieverbruik-met-3-procent-gedaald-in-2020>, 7 april 2021.

¹⁰⁷ Algemene Energieraad, “Klein vademecum voor de energie 1982”, <https://search.socialhistory.org/Record/996491>.

¹⁰⁸ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/16/energieverbruik-gedaald-in-2018>, 17 april 2019.

¹⁰⁹ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1538899484905>, 2 juli 2018

¹¹⁰ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/22/verbruik-hernieuwbare-energie-met-16-procent-gegroeid>, 29 mei 2020.

¹¹¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/14/energieverbruik-met-3-procent-gedaald-in-2020>, 7 april 2021.

¹¹² <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/22/11-procent-energieverbruik-in-2020-afkomstig-uit-hernieuwbare-bronnen>, 31 mei 2021.

¹¹³ <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2015/01/15/beantwoording-schriftelijke-vragen-over-gaswinning-groningen.html>, 15 januari 2015, antwoord 129.

¹¹⁴ <http://www.kernenergiein nederland.nl/node/701>

¹¹⁵ <http://epz.nl/kernenergie>.

¹¹⁶ <http://kernenergiein nederland.nl/node/745>.

¹¹⁷ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19720330-nota.pdf>, 30 maart 1972.

¹¹⁸ Tweede Kamer, zitting 1974-1975, 13122, nr. 2, p 130.

¹¹⁹ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19740926-nota.pdf>

¹²⁰ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19970326-gkn.pdf>, 26 maart 1997.

¹²¹ <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/vergunningen/2012/10/24/inspraak-verlenging-bedrijfsduur-kerncentrale-borssele.html>, 20 maart 2013.

¹²² <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/01/25/kamerbrief-met-antwoorden-op-vragen-over-rol-kernenergie-in-relatie-tot-opwarming-aarde>, 25 januari 2019.

¹²³ <http://www.urgenda.nl/themas/klimaat-en-energie/klimaatzaak/>.

¹²⁴ <https://www.rechtspraak.nl/Organisatie-en-contact/Organisatie/Gerechtshoven/Gerechtshof-Den-Haag/Nieuws/Paginas/Staat-moet-uitstoot-broeikasgassen-op-korte-termijn-verder-terugdringen.aspx>, 9 oktober 2018.

¹²⁵ <http://www.urgenda.nl/visie/actieplan-2050/>.

¹²⁶ <http://www.urgenda.nl/documents/rapport-nederland-100procent-duurzaam2030.pdf>.

¹²⁷ <https://beta-pro.energytransitionmodel.com/scenarios/155680>.

¹²⁸ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/14/energieverbruik-met-3-procent-gedaald-in-2020>, 7 april 2021.

¹²⁹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/22/11-procent-energieverbruik-in-2020-afkomstig-uit-hernieuwbare-bronnen>, 31 mei 2021.

¹³⁰ <http://www.nvdeblogs/factcheck-aantal-windmolens/>, 19 april 2018.

¹³¹ <https://www.trouw.nl/samenleving/emoties-lopen-hoog-op-in-drenthe-wij-zijn-bezorgde-burgers-geen-terroristen--a2c679ec/>, 15 september 2018.

¹³² <http://statline.cbs.nl/Statweb/>.

¹³³ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken/documenten/rapporten/2016/10/14/nationale-energieverkenning-2016>, 14 oktober 2016.

¹³⁴ <http://www.urgenda.nl/visie/rapport-2030/>.

- ¹³⁵ <http://www.pbl.nl/publicaties/nationale-energieverkenning-2017>, 19 oktober 2017
http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-nationale-energieverkenning-2017_2625.PDF, 19 oktober 2017.
- ¹³⁶ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/16/energieverbruik-verandert-nauwelijks-in-2017>, 19 april 2018.
- ¹³⁷ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/20/minder-steenkool-en-meer-aardgas-verbruikt-in-2019>, 11 mei 2020.
- ¹³⁸ <http://www.solarsolutions.nl/solar-trendrapport/>, Nationaal Solar Trendrapport 2019.
- ¹³⁹ <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i23114/tki-urban-energy-presenteert-nieuwe-studie-over-potentieel-zonnestroom-er-is-ruimte-over>, 11 december 2020.
- ¹⁴⁰ Algemene Energieraad, "Klein vademecum voor de energie 1982",
<https://search.socialhistory.org/Record/996491>.
- ¹⁴¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/16/energieverbruik-gedaald-in-2018>, 17 april 2019.
- ¹⁴² <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1538899484905>, 2 juli 2018
- ¹⁴³ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/22/verbruik-hernieuwbare-energie-met-16-procent-gegroeid>, 29 mei 2020.
- ¹⁴⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/14/energieverbruik-met-3-procent-gedaald-in-2020>, 7 april 2021.
- ¹⁴⁵ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/22/11-procent-energieverbruik-in-2020-afkomstig-uit-hernieuwbare-bronnen>, 31 mei 2021.
- ¹⁴⁶ <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2020>, 30 oktober 2020.
- ¹⁴⁷ https://www.fluxenergie.nl/duurzame-energieproductie-kost-veel-meer-ruimte-dan-met-fossiele-brandstoffen/?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=Nieuwsbrief%20week%202018-35, 28 augustus 2018.
- ¹⁴⁸ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518305512?via%3Dihub>.
- ¹⁴⁹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2020/06/04/beantwoording-feitelijke-kamervragen-klimaatneutrale-energiescenario-2050>, 4 juni 2020.
- ¹⁵⁰ C. Andriess, "Kernenergie in beweging", Amsterdam, 1982, hoofdstuk 4.
- ¹⁵¹ <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/18/076/18076239.pdf>.
- ¹⁵² <https://world-nuclear-news.org/Articles/Remediation-work-begins-at-Kyrgyz-legacy-uranium-s>, 28 juli 2020.
- ¹⁵³ <https://www.squarewise.com/wp-content/uploads/2019/02/Het-potentieel-van-groene-waterstof-voor-de-gebouwde-omgeving.pdf>, 7 februari 2019.
- ¹⁵⁴ "Burning Our Rivers: The Water Footprint of Electricity" geschreven door Wendy Wilson, Travis Leipzig & Bevan Griffiths-Sattenspiel en uitgegeven door River Network; <https://www.rivernetwerk.org/resource/burning-our-rivers>, april 2012.
- ¹⁵⁵ C. Andriess, "Kernenergie in beweging", Amsterdam, 1982, hoofdstuk 4.
- ¹⁵⁶ <http://www.technischweekblad.nl/rubrieken/energieserie/kunnen-we-overschakelen-op-duurzame-energie.130162.lynkx>, 24 mei 2011;
http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/Zonnestraling_in_Nederland.pdf;
<http://www.allesoverzonnepanelen.nl/voorwaarden/zonnestraling/>.
- ¹⁵⁷ <https://www.technischweekblad.nl/opinie-analyse/gas-back-up-voor-groene-energie/item10207>, 7 april 2017.
- ¹⁵⁸ <https://www.technischweekblad.nl/opinie-analyse/de-mythe-van-windenergie/item10059>.
- ¹⁵⁹ <https://docs.google.com/document/d/1HaaTIWG27VL9NTj9eonzrxej-TXMIJSumJHHx3CnnKk/edit>.
- ¹⁶⁰ <https://energeia.nl/energeia-artikel/40072023/waterstof-wordt-maar-zelden-juist-op-waarde-geschat>, 6 september 2018.
- ¹⁶¹ <http://www.wattisduurzaam.nl/15443/energie-beleid/tien-peperdure-misverstanden-over-wondermiddel-waterstof/>, 22 augustus 2018.
- ¹⁶² <http://www.infosperber.ch/Artikel/Umwelt/Energiesparen-trotz-Strom-Uberangebot> 7 februari 2017.
- ¹⁶³ <https://www.cobouw.nl/woningbouw/blog/2017/5/gas-geven-101248786>, 23 mei 2017.
- ¹⁶⁴ <https://www.gasunie.nl/nieuws/in-het-nieuwe-energiesysteem-moeten-het-stroom-en-gasnet-meer-gaa>, 15 februari 2019.
- ¹⁶⁵ <https://www.deingenieur.nl/artikel/energieopslag-met-water-kan-in-nederland>, 21 september 2018;
<https://www.uu.nl/agenda/een-blauwe-batterij-voor-groene-energie>, 20 september 2018.
- De bodem onder Limburg is stevig genoeg om een ondergronds waterreservoir aan te leggen op 1,4 km diepte in een homogene laag hardsteen. Bovengronds wordt dan een klein meer (50 ha) aangelegd als tweede reservoir. Het plan is om het water te laten circuleren tussen die twee reservoirs. Is er energie nodig, dan laat je het water uit het bovengrondse meer via een generator naar de diepte lopen. Is er elektriciteit teveel (bijvoorbeeld als het 's nachts hard waait), dan pomp je het weer omhoog, terug in het meertje. De bouw van deze energiebuffer kost 1,8 miljard euro en duurt 6 jaar. Een kostenbatenanalyse laat zien dat het plan ook financieel aantrekkelijk is
- ¹⁶⁶ https://www.engineersonline.nl/nieuws/id30473-ondergrondse-waterkrachtcentrale-noodzakelijk-voor-klimaatdoelen.html?utm_medium=email&utm_campaign=%E2%80%9COndergrondse, 8 oktober 2018.

- ¹⁶⁷ <https://nieuws.enecogroep.nl/eneco-en-mitsubishi-corporation-bouwen-grootste-batterij-van-europa/>, 6 april 2017.
- ¹⁶⁸ <http://www.tudelft.nl/nl/actueel/laatste-nieuws/artikel/detail/werken-aan-volgende-generaties-batterijen-in-nieuw-batterijenlab/>, 6 april 2017.
- ¹⁶⁹ <https://www.pv-magazine.de/2018/10/09/nadine-forscher-suchen-den-perfekten-grossspeicher-fuer-die-energieewende/>, 10 oktober 2018.
- ¹⁷⁰ <https://www.pv-magazine.de/2019/01/04/e-magic-mit-magnesium-batterien-ins-post-lithium-zeitalter/>, 4 januari 2018.
- ¹⁷¹ <https://www.fme.nl/nl/nieuws/energy-storage-nl-ontvouw-10-puntenplan-grootschalige-energieopslag>, 11 oktober 2017.
- ¹⁷² <http://www.nlingenieurs.nl/wp-content/uploads/2015/09/WHITE-PAPER-Naar-een-hoog-aandeel-van-duurzame-energie.pdf>, 1 oktober 2015.
- ¹⁷³ <http://16iwy1195vfvgoqu3136p2ly-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/02/EnergyStorage-2019-01.pdf>, 25 februari 2019.
- ¹⁷⁴ <https://www.solarsolutions.nl/nieuws/zonnige-toekomst-voor-opslag-van-zonnestroom-64A4B2.html>, 26 mei 2020.
- ¹⁷⁵ <http://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9>; <https://www.pv-magazine.de/2017/12/11/indirekte-photovoltaik-emissionen-kein-hindernis-fuer-dekarbonisierung/>, 12 december 2017.
- ¹⁷⁶ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter7.pdf.
- ¹⁷⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle_greenhouse_gas_emissions_of_energy_sources.
- ¹⁷⁸ https://www.ebn.nl/wp-content/uploads/2017/11/A-Louwen_thesis_Final_PDF.pdf, 2011.
- ¹⁷⁹ http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf, 8 oktober 2018; volgens dit rapport zijn veel nieuwe kerncentrales nodig opdat in 2050 zo'n 2,5 keer zoveel elektriciteit uit kerncentrales komt als nu. Zie ook: <http://www.world-nuclear-news.org/Articles/UN-report-shows-increased-need-for-nuclear>, 8 oktober 2018.
- ¹⁸⁰ <https://www.iaea.org/publications/14786/energy-electricity-and-nuclear-power-estimates-for-the-period-up-to-2050>, 2020
- ¹⁸¹ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf, Schlömer S., T. Bruckner, L. Fulton, E. Hertwich, A. McKinnon, D. Perczyk, J. Roy, R. Schaeffer, R. Sims, P. Smith, and R. Wiser, 2014: Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ¹⁸² Het gaat hier om de zogeheten mediaan. Dat is het middelste getal als je de getallen op volgorde van klein naar groot zet ([https://nl.wikipedia.org/wiki/Mediaan_\(statistiek\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Mediaan_(statistiek))). Waarom de mediaan gebruikt wordt en niet het rekenkundig gemiddelde, wordt niet uitgelegd.
- ¹⁸³ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf.
- ¹⁸⁴ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ¹⁸⁵ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2012.00472.x>, 17 april 2012.
- ¹⁸⁶ <https://wisenederland.nl/sites/default/files/images/Kernenergie%20en%20CO2%20november%202018.pdf>, 9 november 2018: De mijnbouwmethoden worden in meer dan de helft van de studies niet onderzocht. Meer dan de helft van de studies besteden geen aandacht aan de kwaliteit van het uraniumerts; dit kan van grote invloed zijn op de CO₂-uitstoot. Het herstellen van mijnen, dat een groot deel van de CO₂-emissies kan veroorzaken, werd in geen enkele studie meegenomen. De ontmanteling van kerncentrales werd onvolledig meegenomen. De rekenmethodes werden meestal niet gedetailleerd genoeg omschreven.
- ¹⁸⁷ <http://www.dont-nuke-the-climate.org/> Jan Willem Storm van Leeuwen, Climate change and nuclear power. An analysis of nuclear greenhouse gas emissions. Commissioned by the World Information Service on Energy (WISE) Amsterdam 24 oktober 2017.
- ¹⁸⁸ <https://www.wisenederland.nl/sites/default/files/images/Kernenergie%20en%20CO2%20november%202018.pdf>, 9 november 2018.
- ¹⁸⁹ Benjamin K. Sovacool: http://www.nirs.org/climate/background/sovacool_nuclear_ghg.pdf.
- ¹⁹⁰ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ¹⁹¹ <http://houdgroningenovereind.nl/KernOverzicht.html>, 25 november 2018.
- ¹⁹² <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, rapport CORA (Commissie Opberging Radioactief Afval, 1995-2001).
- ¹⁹³ <http://www.kernenergieinnederland.nl/files/19760618-brief.pdf>, 18 Juni 1976.
- ¹⁹⁴ <https://radioactiefafval.nl/kernafval-in-zout/>, 7- Jaren tachtig: de OPLA-Commissie
- ¹⁹⁵ <https://www.bge.de/de/asse/themenswerpunkte/themenswerpunkt-rueckholung/fragen-und-antworten-rueckholplan-asse/>.
- ¹⁹⁶ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>, 28 september 2020.

- ¹⁹⁷ <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/aus-fuer-gorleben-endlager-suche-ohne-ende/26225632.html>, 20 september 2020.
- ¹⁹⁸ <http://world-nuclear-news.org/Articles/Work-starts-on-Finnish-fuel-encapsulation-plant>, 25 juni 2019.
- ¹⁹⁹ <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/finland.aspx>, augustus 2020.
- ²⁰⁰ <http://www.greenpeace.org/sweden/se/press/pressmeddelanden/Greenpeace-welcomes-court-decision-on-nuclear-waste/>, 23 januari 2018.
- ²⁰¹ <https://www.greenpeace.fr/report-the-global-crisis-of-nuclear-waste/>, 30 januari 2019;
<http://www.nonuclear.se/szakalos-et-al20180426analys-av-karnbransleforvarsfragan>
- ²⁰² <http://www.mkg.se/en/scientificallly-inferior-skb-report-on-copper-corrosion-in-lot-project-shows-that-copper-is-not>, 1 oktober 2020.
- ²⁰³ Nagra, Medienmitteilung, 6 november 2008 en
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/endafassung_sicherheitsanforderungen_bf.pdf, juli 2009
- ²⁰⁴ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>, 28 september 2020.
- ²⁰⁵ <https://www.laka.org/nieuws/2020/radioactief-afval-waar-laten-we-het-14112>, 2 november 2020.
- ²⁰⁶ <https://www.covra.nl/nl/organisatie/nieuws/nieuw-onderzoeksprogramma-naar-eindberging-van-start/>, 4 november 2020.
- ²⁰⁷ <https://windeurope.org/newsroom/press-releases/cross-sector-industry-platform-outlines-best-strategies-for-the-recycling-of-wind-turbine-blades/>, 26 mei 2020.
- ²⁰⁸ <http://www.co2ntramine.nl/nieuws/kolencentrales/>, 21 juli 2014.
- ²⁰⁹ Jan Willem Storm van Leeuwen, Energy from Uranium, Oxford Research Group, juli 2006,
http://www.oxfordresearchgroup.org.uk/publications/briefing_papers/energy_security_and_uranium_reserves_secure_energy_factsheet_4.
- ²¹⁰ <http://www.peopleplanetprofit.be/beelden/oko-instituut.pdf>, maart 2007.
- ²¹¹ <http://www.dont-nuke-the-climate.org/> Jan Willem Storm van Leeuwen, Climate change and nuclear power. An analysis of nuclear greenhouse gas emissions. Commissioned by the World Information Service on Energy (WISE) Amsterdam 24 oktober 2017.
- ²¹² https://www.wisenederland.nl/Basisinformatie_over_energie, 12 februari 2019.
- ²¹³ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ²¹⁴ <http://www.co2ntramine.nl/kernafval-en-opslag-in-zoutkoepels-wat-we-erover-weten/>, de bijlage met een overzicht van de stand van zaken rond kernenergie, 11 juni 2019.
- ²¹⁵ <http://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9>; <https://www.pv-magazine.de/2017/12/11/indirekte-photovoltaik-emissionen-kein-hindernis-fuer-dekarbonisierung/>, 12 december 2017.
- ²¹⁶ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ²¹⁷ <https://jaspervis.wordpress.com/2019/03/03/hoeveel-co2-kost-al-dat-staal-van-een-windmolen-eigenlijk-2019-update/>, 3 maart 2019.
- ²¹⁸ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119301704?via%3Dihub>, 5 april 2019.
- ²¹⁹ <https://jaspervis.wordpress.com/2020/06/07/hoeveel-co2-kost-al-dat-materiaal-van-een-windpark-op-zee-eigenlijk/>, 7 juni 2020.
- ²²⁰ Jan Willem Storm van Leeuwen, Nuclear Monitor #886, June 8, 2020
CO2 emissions of nuclear power: the whole picture; in: <http://nuclearfreenw.org/climate.htm>;
- ²²¹ <https://www.stormsmith.nl/nuclearco2.html>. Desgevraagd deelt Storm van Leeuwen mee: “Mijn rapporten berusten op een fysische (thermodynamische) analyse van alle processen die deel uitmaken van het nucleaire energiesysteem van cradle to grave, inclusief de eindberging van het radioactieve materiaal, definitieve isolatie van de biosfeer. Voor zover ik weet heeft vrijwel geen enkele andere studie alle processen en alle energiestromen en CO2 emissies, directe en indirecte, meegenomen. De meeste studies zijn in feite meta-studies waarin de uitkomsten van een klein aantal oorspronkelijke studies via allerlei, vaak ondoorzichtige, modellen bewerkt worden, soms ook met economische modellen. Enkele van de oorspronkelijke analyses berusten op gegevens uit begin jaren 1970. Voor zover ik heb kunnen beoordelen, hebben alle meta-studies de resultaten van veel andere studies statisch bewerkt alsof het metingen zijn van eenzelfde grootheid gemeten volgens dezelfde meetmethode; dit is niet het geval. Vaak worden daarbij ‘outliers’ (altijd de hoge waarden) weggelaten, zonder te vermelden op grond waarvan het ‘outliers’ zijn volgens de auteurs..
- ²²² <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ²²³ https://www.wisenederland.nl/sites/default/files/images/WISE_klimaat-energie-rapport_A4%20definitief_0.pdf, 9 november 2018.
- ²²⁴ <https://www.universiteitleiden.nl/nieuws/2020/10/het-totaalplaatje-de-milieu-impact-van-een-nieuwe-zonneceltechnologie>, 20 oktober 2020.
- ²²⁵ <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/EE/D0EE01039A#!divAbstract>,

-
- ²²⁶ <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i23151/exasun-onderzoekt-nieuw-businessmodel-met-statiegeld-voor-circulaire-zonnepanelen>, 16 december 2020.
- ²²⁷ <https://www.solar365.nl/nieuws/sterke-start-recycling-zonnepanelen-6AA9AF.html>, 13 april 2021.
- ²²⁸ <http://www.babetteporcelijn.com/project/de-verborgen-impact>, oktober 2017.
- ²²⁹ <http://www.pbl.nl/publicaties/fiscale-vergroening-belastingverschuiving-van-arbeid-naar-grondstoffen-materialen-en-afval>, 17 november 2017
<http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-fiscale-vergroening-deel-4-circulaire-economie-2853.pdf>, 17 november 2017.
- ²³⁰ <https://www.eerlijkovervliegen.nl/feiten/klimaatimpact-luchtvaart/>.
- ²³¹ http://www.thinkbigactnow.nl/wp-content/downloads/CE_Delft_Top_10_milieubelasting.pdf, april 2016.