

Scenariostudie elektrificatie particuliere huishoudens

Prof.dr.ir. D.M.J. Smeulders, Technische Universiteit Eindhoven, hoogleraar Energietechnologie
TVVL Magazine, nr 1, 2019

Concept Klimaatakkoord

Het ontwerp van het Klimaatakkoord is klaar. Daarmee ligt er een omvangrijk pakket op tafel waarmee Nederland in 2030 de uitstoot van broeikasgassen met ten minste 49 procent zou moeten terugdringen. Een van de ambities is om vóór 2030 al 200.000 woningen per jaar van het gas af te halen. In dit artikel is een eenvoudige berekening gemaakt of het elektrificeren van particuliere huishoudens qua CO₂-reductie zinnig is. Op basis van het hier gepresenteerde cijfermateriaal blijkt dat elektrificatie pas zinvol vanaf 2024, wanneer voldoende duurzaam opgewekte elektriciteit beschikbaar is.

Gebouwde omgeving

De gebouwde omgeving in Nederland is verantwoordelijk voor 24,1 Mton CO₂ op een totaal van 163 Mton CO₂ [1]. De ambitie van het ontwerp klimaatakkoord is om vóór 2030 al 200.000 woningen per jaar van het gas af te halen. Doel is om in 2030 3,4 Mton minder uit te stoten dan “in het referentiescenario”. Welk referentiescenario wordt niet genoemd. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) voorspelt in het Nationale Energieverkenningsscenario NEV2017VV-SDE [2] voor de gebouwde omgeving in 2030 een CO₂-emissie van 18,7 Mton (5,4 Mton minder dan in 2017). Een extra reductie van 3,4 Mton ten opzichte van dit scenario betekent dus een totale reductie van 8,8 Mton in 2030. We stellen ons de vraag of dit haalbaar is door particuliere huishoudens van het gas af te halen.

Scenario

De CO₂-emissie door de gebouwde omgeving omvat de uitstoot door de particuliere huishoudens, de dienstverlenende bedrijven en de waterbedrijven. Particuliere huishoudens gebruiken gemiddeld 1400 m³ gas per jaar [3,4]. De totale woningvoorraad in Nederland bedraagt ongeveer 7,6 miljoen huizen [4]. Met de reactievergelijking $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ rekenen we uit dat 1 m³ gas 1,8 kg CO₂ produceert bij verbranding. We vinden dan een uitstoot door de particuliere huishoudens van 19,15 Mton CO₂. Dit is enigszins hoger dan de 17 Mton die genoemd wordt door Energiebeheer Nederland [5] maar goed bruikbaar om de gevolgen van het elektrificeren van de warmtevraag in particuliere huishoudens door te rekenen.

We kiezen we voor een ingroeicurve $N=10^{4,2+0,1*j}$, waarbij N het aantal woningen is met geëlektrificeerde warmtevraag, en j het aantal jaren na 2019. Op deze manier worden in 2019 (j=0) 16.000 huizen van het gas af gehaald, en in 2030 (j=11) het streefgetal van 200.000 (zie Tabel 1). Tot en met 2030 halen we in dit scenario in het totaal 913.000 woningen van het gas af. De CO₂-uitstoot loopt dan terug tot 16,85 Mton in 2030; een reductie van 2,3 Mton in plaats van de beoogde 8,8 Mton. Maar dit is niet het hele verhaal. Elektrificatie van de warmtevraag betekent een hoger elektriciteitsverbruik. Van het gemiddeld jaarlijks gasverbruik wordt 5% gebruikt voor koken en 15% voor warm tapwater [4]. Uitgaande van een COP (Coefficient of Performance) van 3 voor ruimteverwarming en een COP van 1 bij de productie van warm tapwater en bij koken [4], vinden we een gewogen gemiddelde COP van 2,6. Ook weten we dat 1 m³ gas 10 kWh aan energie levert, zodat we nu het extra elektriciteitsverbruik van de woningen die van het gas af zijn, kunnen uitrekenen (zie Tabel 1). Hierbij wordt aangenomen dat het jaarlijks energieverbruik van de particuliere huishoudens gelijk blijft (1400 x 10 = 14.000 kWh). In de praktijk gaat elektrificatie natuurlijk meestal gepaard met isolatiemaatregelen, maar dat maakt voor onze redenering niet zoveel uit. Isolatie leidt immers altijd tot energiebesparing, zowel bij een keuze voor gas als

voor elektriciteit.

Tabel 1: elektrificeren van de bestaande woningvoorraad

Jaar	# huizen/jaar van het gas af (x 1000)	# huizen aan het gas (x 1000)	Mton CO ₂ per jaar	Extra elektriciteit woningen (TWh)
2018	-	7600	19,15	-
2019	16	7584	19,11	0,09
2020	20	7564	19,06	0,19
2021	25	7539	19,00	0,33
2022	32	7507	18,92	0,5
2023	40	7467	18,82	0,72
2024	50	7417	18,69	0,99
2025	65	7352	18,53	1,34
2026	80	7272	18,33	1,77
2027	100	7172	18,07	2,3
2028	125	7047	17,76	2,98
2029	160	6887	17,36	3,84
2030	200	6687	16,85	4,92

Uit Tabel 1 (laatste kolom) blijkt dat de 913.000 woningen die in 2030 van het gas af zijn, een extra elektriciteitsvraag van $(913.000 \times 1400 \times 10)/2,6 = 4,92$ TWh geven. Hoe duurzaam wordt deze elektriciteit eigenlijk opgewekt?

Elektriciteitsproductie door windparken

De elektriciteitsproductie door windparken wordt weergegeven in Tabel 2 [6]

Tabel 2: rendement van windparken

Jaar	Geïnstalleerd Vermogen P (GW)		Geproduceerde energie E (TWh)		Rendement η (%)	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Wind op land	3,30	3,25	5,9	6,9	20	24
Wind op zee	0,96	0,96	2,3	3,7	27	44
Totaal	4,26	4,21	8,2	10,7	22	29

We zien dat de energieproductie per jaar flink kan verschillen (bij ongeveer gelijkblijvend geïnstalleerd vermogen), waarschijnlijk omdat het in 2017 simpelweg harder heeft gewaaid. Het rendement η kan nu worden bepaald door de werkelijk geproduceerde energie (E) te delen door de maximaal mogelijk te produceren energie in een jaar, dus $\eta = E/(P \times 24 \times 365)$. Het rendement is in 2017 dus hoger uitgevallen dan in 2016, met name voor wind op zee. In het vervolg rekenen we met een gemiddeld rendement voor windturbines op land en op zee samen van 25,5%. Voor de toename van het geïnstalleerd windvermogen maken we weer gebruik van het NEV2017VV-SDE scenario. Dit voorspelt in 2030 een totaal geïnstalleerd vermogen van 7,3 GW waarvan 3,6 GW op zee en 3,7 GW op land. Een mogelijke groeicurve is gegeven in Tabel 3, uitgaande van een geleidelijk toenemend jaarlijks geïnstalleerd vermogen (van 0,2 GW/jaar tussen 2018 en 2024 tot 0,4 GW/jaar in 2030). De geprognosticeerde windenergie is dan eenvoudig uit te rekenen. Als vergelijking geven we ook een groeipad om het NEV2016VV scenario van 15,6 GW geïnstalleerd vermogen in 2030 te bereiken (8,9 GW op zee en 6,7 GW op land). In dit laatste scenario is SDE+ subsidie beschikbaar voor windparken. Dit maakt een groot verschil. Er worden meer dan twee keer

zoveel windturbines geïnstalleerd.

Tabel 3: elektriciteitsproductie uit windparken

Jaar	Geïnstalleerd windvermogen (GW)		Windenergieproductie (TWh)	
	NEV2017VV-SDE	NEV2016VV	NEV2017VV-SDE	NEV2016VV
2018	4,2	4,2	9,4	9,4
2019	4,4	4,7	9,8	10,5
2020	4,6	5,2	10,3	11,6
2021	4,8	5,8	10,7	13,0
2022	5,0	6,5	11,2	14,5
2023	5,2	7,2	11,6	16,1
2024	5,4	8,0	12,1	17,9
2025	5,7	8,9	12,7	19,9
2026	6,0	9,9	13,4	22,1
2027	6,3	11,1	14,1	24,8
2028	6,6	12,4	14,7	27,7
2029	6,9	13,9	15,4	31,1
2030	7,3	15,6	16,3	34,8

De ambitie in het ontwerp klimaatakkoord om in 2030 49 TWh uit wind op zee te halen lijkt niet erg realistisch. Zelfs in het NEV2016VV scenario komen we maar aan 34,8 TWh totaal op land en zee. Ook gaat het concept klimaatakkoord uit van een geïnstalleerd vermogen op zee van 11,5 GW. Om daar 49 TWh uit te halen, zou een rendement van 48,6% nodig zijn, en dergelijke rendementen worden voorsnag niet structureel gerealiseerd.

Energiemix en integrale emissiefactor

In 2016 werd in Nederland 120 TWh elektriciteit gebruikt [7]. Hiervan komt 37 TWh van kolencentrales. Alhoewel dit geen onderdeel uitmaakt van het concept klimaatakkoord, gaan we er in onze berekeningen van uit dat alle kolencentrales in 2030 gesloten zullen zijn. Deze afname rekenen we lineair door. We realiseren ons dat dit waarschijnlijk te optimistisch is. Meer waarschijnlijk is een maximale benutting van de meest efficiënte kolencentrales tot (en wellicht ook na) 2030, maar dat laten we verder buiten beschouwing.

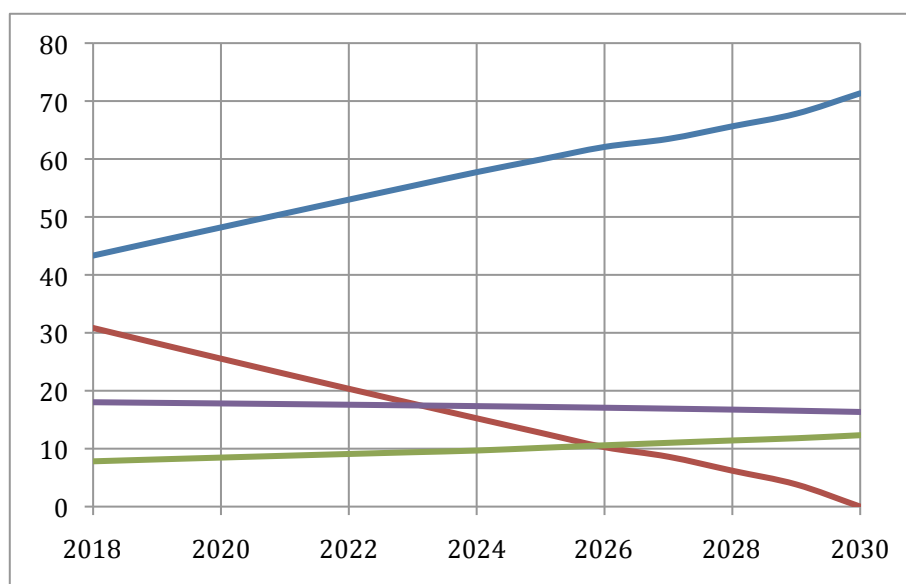
Gascentrales wekten in 2016 52 TWh elektriciteit op. We zetten alle getallen op een rijtje in Tabel 4. We gaan allereerst uit van een autonome groei van het elektriciteitsverbruik van 0,5% per jaar [4]. Deze groei is afkomstig van toenemende vraag naar elektriciteit voor bijvoorbeeld verlichting, computers en huishoudelijke apparaten. Dit is waarschijnlijk een enorme onderschatting van de werkelijke groei als ook het vervoer en de industrie verregaand zullen worden geëlektrificeerd, maar die effecten laten we hier buiten beschouwing. Bij de autonome groei van het elektriciteitsverbruik tellen we vervolgens het extra elektriciteitsverbruik op van de particuliere huishoudens (laatste kolom van Tabel 1). Het resulterende totale elektriciteitsgebruik staat in de eerste kolom van Tabel 4. Deze elektriciteit is nu nog voor het grootste deel afkomstig van kolen en gas. We zien dat het sluiten van de kolencentrales niet kan worden opgevangen door de nieuwe windparken. Wat tekort komt, zal moeten worden opgevangen door gascentrales. Er zijn immers geen andere mogelijkheden. Kerncentrales zullen niet bijgebouwd worden, en alle PV panelen zullen in ons scenario ingezet worden om de overige groei in elektriciteitsverbruik in de gebouwde omgeving op te vangen (bijvoorbeeld voor elektrische auto's). Dit is in overeenstemming met gegevens uit Duitsland die erop wijzen dat elektriciteit uit PV panelen steeds minder zal worden teruggeleverd aan het net, en voor het grootste deel voor eigen gebruik (of opslag) zal worden ingezet. Natuurlijk speelt hierbij ook de toekomst van de salderingsregeling een rol.

Tabel 4: energiemix en integrale emissiefactor

Jaar	Elektriciteit totaal (TWh)	Kolen		Wind		Gas		Overige bronnen	Integrale emissiefactor kg CO ₂ /kWh
		TWh	%	TWh	%	TWh	%	%	
2018	120	37	30,8	9,4	7,8	52	43,3	18	0,51
2019	120,7	34	28,2	9,8	8,1	55,2	45,8	17,9	0,49
2020	121,4	31	25,5	10,3	8,5	58,5	48,2	17,8	0,48
2021	122,1	28	22,9	10,7	8,8	61,8	50,6	17,7	0,47
2022	122,9	25	20,3	11,2	9,1	65,1	53	17,6	0,46
2023	123,7	22	17,8	11,6	9,4	68,5	55,4	17,5	0,44
2024	124,6	19	15,2	12,1	9,7	72	57,7	17,3	0,43
2025	125,6	16	12,7	12,7	10,1	75,2	59,9	17,2	0,42
2026	126,7	13	10,2	13,4	10,6	78,6	62,1	17,1	0,40
2027	127,8	11	8,6	14,1	11	81,1	63,5	16,9	0,40
2028	129,1	8	6,2	14,7	11,4	84,8	65,6	16,7	0,38
2029	130,6	5	3,8	15,4	11,8	88,6	67,8	16,6	0,37
2030	132,3	0	0	16,3	12,3	94,4	71,3	16,3	0,35

De energiemix wordt gecompleteerd met overige bronnen (bijvoorbeeld afvalverbranding en import van elektriciteit). We geven de energiemix van Tabel 4 ook weer in Figuur 1. Opvallend is de sterke toename van het aandeel gas tot meer dan 70% in 2030. De gascentrales compenseren voor het grootste deel het sluiten van de kolencentrales. Eenzelfde conclusie wordt getrokken door J.L. Moraga en Machiel Mulder [4], waarin verschillende scenario's veel dieper worden uitgewerkt dan hier het geval kan zijn.

Figuur 1: Energiemix (%) op basis van het NEV2017VV-SDE scenario en ambities uit het concept klimaatakkoord. Blauw: gas; rood: kolen; groen: wind; paars: overige bronnen.



Vervolgens wordt de integrale emissiefactor bepaald uit het gewogen gemiddelde van de individuele emissiefactoren. Het gaat hier dus niet om de rendementen maar om de

uitgestoten hoeveel CO₂ per kWh *opgewekte* elektriciteit. De emissiefactor van de windparken is natuurlijk nul. Voor kolencentrales is de emissiefactor 800 g/kWh [8]. De emissiefactor van gascentrales is 360 g/kWh. Voor de overige bronnen nemen we een emissiefactor van 0,58 kg/kWh, zijnde het gemiddelde tussen de emissiefactoren van kolen en gas. Het resultaat voor de totale energiemix is weergegeven in de laatste kolom van Tabel 4. We zien dat de emissiefactor terugloopt van 0,51 tot 0,35 kg CO₂/kWh doordat de rol van kolen wordt overgenomen door gas en wind. Ook deze waarden zijn realistisch te noemen. Het CBS noemt waarden van 0,53 voor 2015 en 0,49 voor 2016 [9].

Discussie

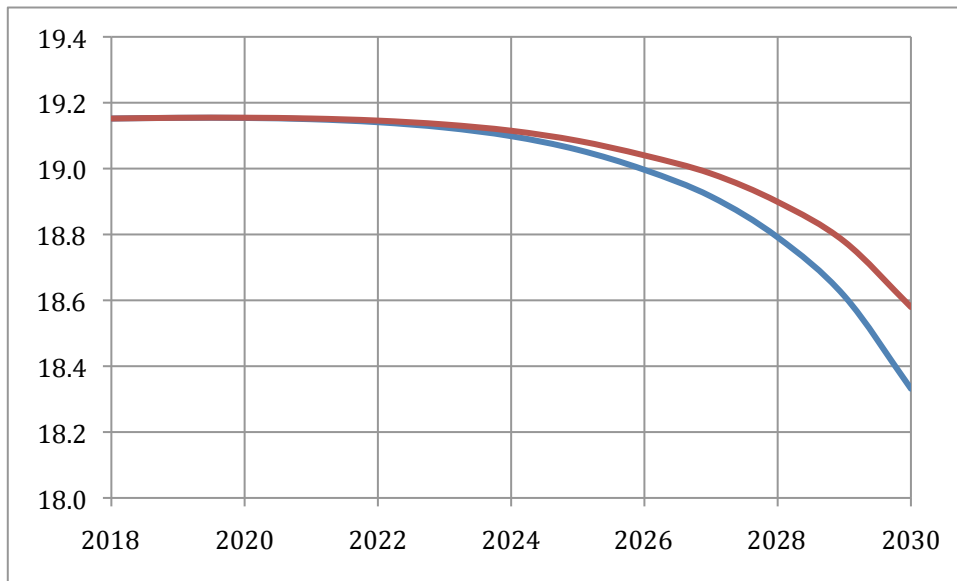
We zijn nu in staat om de effecten van het gasloos maken van particuliere huishoudens te onderzoeken. Hiervoor vermenigvuldigen we de extra geproduceerde elektriciteit voor de particuliere huishoudens uit Tabel 1 (laatste kolom) met de emissiefactoren uit Tabel 4 (laatste kolom), en de uitkomst verdisconteren we met de (teruggelopen) CO₂ uitstoot van de woningen uit de vierde kolom van Tabel 1. De resulterende integrale CO₂-emissies vinden we in Tabel 5 (laatste kolom).

Tabel 5: Integrale CO₂-emissies als gevolg van het gasloos maken van bestaande woningen.

Jaar	# huizen aan het gas (x 1000)	Mton CO ₂	Extra elektriciteit (TWh)	Extra Mton CO ₂	Integraal Mton CO ₂
2018	7600	19,15	-	-	19,15
2019	7584	19,11	0,09	0,04	19,15
2020	7564	19,06	0,19	0,09	19,16
2021	7539	19,00	0,33	0,15	19,15
2022	7507	18,92	0,5	0,23	19,15
2023	7467	18,82	0,72	0,32	19,13
2024	7417	18,69	0,99	0,42	19,12
2025	7352	18,53	1,34	0,56	19,08
2026	7272	18,33	1,77	0,72	19,04
2027	7172	18,07	2,3	0,91	18,99
2028	7047	17,76	2,98	1,14	18,9
2029	6887	17,36	3,84	1,42	18,78
2030	6687	16,85	4,92	1,73	18,58

We concluderen dat we in 2030 913.000 huizen van het gas af hebben geholpen, waarmee we de jaarlijkse CO₂-uitstoot hebben teruggebracht van 19,15 tot 18,58 Mton (3% reductie). We geven deze trend weer in Figuur 2 (rode lijn). Uit deze curve wordt ook duidelijk dat pas vanaf 2024 de emissies enigszins gaan dalen omdat er dan pas voldoende duurzaam opgewekte energie ter beschikking is.

Figuur 2: CO₂-emissies van woningen (in Mton). Rood: NEV2017VV-SDE scenario; blauw: NEV2016VV scenario.



In Figuur 2 presenteren we ook de resultaten indien het ambitieuzere NEV2016VV scenario (blauwe lijn) voor wat betreft windvermogen wordt gevolgd (zie Tabel 3). In dit scenario is in 2030 meer dan 2 keer zoveel windvermogen geïnstalleerd (en dus evenredig minder gasvermogen) dan in het NEV2017VV-SDE scenario. In 2030 wordt dan 0,82 Mton CO₂ minder uitgestoten dan in 2018 (4,3% reductie). Het is verrassend te zien dat zelfs een verdubbeling van het tempo waarmee de windparken worden aangelegd, weinig invloed heeft op de totale CO₂-emissies van woonhuizen. De overheersende trend tot 2030 is immers de geplande sluiting van de kolencentrales en de daarmee samenhangende toename van het aandeel gas (en in mindere mate wind) in de energiemix.

Het is ook interessant om te kijken wat er zou gebeuren als het gemiddeld gasverbruik van woningen verder zou dalen volgens de bestaande trend, dus als we blijven besparen in plaats van woningen van het gas af te halen. Het gemiddelde gasverbruik van *alle* huishoudens daalde tussen 1995 en 2015 met ongeveer 35 procent [10]. Dat komt vooral doordat we minder gas gebruiken voor verwarming: cv-ketels zijn veel zuiniger geworden en onze woningen zijn beter geïsoleerd. Als alle huishoudens dus de bestaande trend zouden voortzetten en in 2030 20% verder besparen, zou dat een reductie van de CO₂-uitstoot in dat jaar van $7,6 \text{ miljoen} \times 1400 \times 0,2 \times 1,8 = 3,8 \text{ Mton}$ betekenen, dus aanzienlijk meer dan het gasloos maken van woningen.

Conclusies

We kunnen concluderen dat

- (i) de bijdrage van gas (en in mindere mate wind) in de energiemix in het komend decennium steeds belangrijker wordt;
- (ii) het tot 2024 niet effectief is om in bestaande woningen gasketels te vervangen door warmtepompen. Wat wel werkt is nu beginnen met betere isolatie en waar mogelijk warmtenetten;
- (iii) als er na 2024 voldoende duurzaam opgewekte energie beschikbaar is, we kunnen denken we aan (geluidsarme) warmtepompen als sluitstuk van een goed geïsoleerde woning;
- (iv) het dan uiteraard wel zaak is dat de leveringszekerheid gegarandeerd blijft en er dus

voldoende energieopslag beschikbaar is voor als het niet waait en de windparken geen stroom leveren.

Referenties

1. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/37/co2-uitstoot-in-2017-gelijk-aan-die-in-1990>
2. Kosten energie- en klimaattransitie in 2030 – update 2018 (PBL publicatienummer: 3241, 28 maart 2018)
3. ECN energietrends 2016
4. J.L. Moraga and Machiel Mulder: “Electrification of heating and transport” (CEER report, May 2018)
5. EBN infographic: <https://www.ebn.nl/ebn-lanceert-nieuwe-infographic-energie-nederland/>
6. <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?PA=70802NED>.
7. <https://longreads.cbs.nl/trends18/economie/cijfers/energie/>
8. factsheet kolenexit Greenpeace, juni 2017.
9. <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2018/04/rendementen-en-co2-emissie-elektriciteitsproductie-2016>
10. <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/>