



Ketenemissies elektriciteit

Actualisatie elektriciteitsmix 2019



CE Delft

Committed to the Environment

Ketenemissies elektriciteit

Delft, CE Delft, januari 2022

Publicatienummer: 22.210436.002

Energievoorziening / Elektriciteit / Emissies / Kentallen

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Deze notitie is opgesteld door: Sjoerd van der Niet, Maarten Bruinsma

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



1 Inleiding

Op co2emissiefactoren.nl staan de emissiefactoren gepubliceerd die organisaties kunnen gebruiken om hun klimaatvoetafdruk te berekenen. CE Delft heeft in opdracht van Rijkswaterstaat en Milieu Centraal de emissiefactor voor elektriciteit, inclusief keten-emissies, geactualiseerd. In deze notitie staat kort de werkwijze beschreven. Het gaat hierbij om de ketenemissies van de in Nederland geproduceerde elektriciteit in 2019, het meest recente jaar waarover alle benodigde data beschikbaar zijn.

2 Uitgangspunten elektriciteitsmix

De uitgangspunten voor de elektriciteitsmix - dat wil zeggen, de mix van energiebronnen die ingezet zijn voor de elektriciteitsproductie - over 2019 zijn:

- De elektriciteitsmix (in PJ) van in Nederland geproduceerde elektriciteit van het totale productiepark in 2019 zoals vastgesteld door CBS (CBS, 2021a).
- De verdeling van aardgas naar wkk en niet-wkk is gemaakt op basis van CBS-data over 2019 (CBS, 2021b). Deze verdeling is relevant voor de ketenemissies.
- Tot de grijze mix wordt alle elektriciteit uit niet-hernieuwbare bronnen gerekend, oftewel fossiele bronnen, kernenergie en overig.

De elektriciteitsmix op basis van bovenstaande uitgangspunten is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 - Elektriciteitsmix 2019

Energiebron	Productie (PJ)	Procent van totaal	Procent van grijze mix
Aardgas	254,4	58,3%	73,4%
- wkk	124,4	28,5%	35,9%
- niet-wkk	129,9	29,8%	37,5%
Kolen	63,8	14,7%	18,5%
Overig fossiel	13,6	3,2%	4,0%
Nucleair	14,1	3,2%	4,0%
Wind	41,1	9,4%	
Zon	19,4	4,4%	
Waterkracht	0,3	0,0%	
Biomassa	20,9	4,8%	
Overig	9,0	2,1%	
Totaal	436,9	100%	100%

3 Ketenemissies per energiedrager

De uitgangspunten om de ketenemissies per energiedrager te bepalen zijn:

- De ketenemissies zijn de emissies over de gehele keten van elektriciteitsproductie, uitgezonderd de directe emissies (de emissies van de productiecentrale zelf).
- De ketenemissies zijn gebaseerd op data uit Ecoinvent v3.7.1, allocation, cut-off by classification, zoals opgenomen in SimaPro v9.2.0.2. Directe emissies van broeikasgassen naar lucht zijn verwijderd uit de Ecoinventdata, aangezien deze directe emissies al zijn opgenomen in de Klimaat- en Energieverkenning (KEV).
- Berekend met IPCC 2013 GWP 100a V1.03. Zoals opgenomen in SimaPro v9.2.0.2.
- Ketenemissies 'voorketen (excl. centrale/productiemiddelen)' zijn de emissies over de gehele keten door de winning en productie van brandstoffen, eventuele voorbehandeling van brandstoffen en transport naar de energiecentrale.

- De ketenemissies ‘voorketen (centrale/productiemiddel)’ zijn de emissies die gepaard gaan met de bouw en de sloop van de centrale en productiemiddelen zoals pv-panelen en windturbines. Deze zijn hier wel geanalyseerd, maar worden niet opgenomen in het totaal, zoals te publiceren op [co2emissiefactoren.nl](https://www.co2emissiefactoren.nl). Dit onderdeel is niet toe te schrijven aan de eindgebruiker van de energie, maar vormt wel een component in een LCA-benadering.¹

In Tabel 2 geven we per energiebron de bevindingen weer. Daaronder is een korte verantwoording per energiebron te vinden.

Tabel 2 - Ketenemissies 2019 per energiebron (g CO₂-eq./kWh)

Energiebron	Ketenemissies excl. centrale en productiemiddelen (g/kWh)	Ketenemissies van centrale en productiemiddelen (g/kWh)
Aardgas	58	1
- wkk	64	2
- niet-wkk	51	1
Kolen	145	1
Overig fossiel	0	2
Nucleair	5	2
Wind	0	14
Zon	0	61
Waterkracht	0	4
Biomassa	44	1
Overig	46	5

Aardgas

Ketenemissies aardgasproductie:

- De ketenemissies van productie van H-gas in 2019 zijn berekend door Royal Haskoning DHV (2022). Hierin is winning, gasbehandeling, gastransport/liquefactie in exportland, gastransport naar Nederland en aflevering van gas in Nederland meegenomen.
- De broeikasemissies in de toeleveringsketen voor aardgas zijn door Royal Haskoning DHV geactualiseerd voor in Nederland geconsumeerd aardgas.
- Het aardgas is afkomstig uit meerdere landen, waaronder Nederland, Noorwegen en Rusland.
- Voor de verbranding van aardgas houden we de stookwaarde (lagere verwarmingswaarde) aan die gerapporteerd wordt door Royal Haskoning DHV: 36,68 MJ/Nm³. Voor de efficiëntie van de verbranding gaan we uit van Ecoinventproceskaarten.

Voor wkk's gaan we uit van:

- 41% centrale productie (met name STEG) en 59% decentrale productie (met name niet-STEG) (CBS, 2021b).
- Proceskaart Ecoinvent voor centrale productie: *Electricity, high voltage {NL}| heat and power co-generation, natural gas, combined cycle power plant, 400MW electrical*.
- Proceskaart Ecoinvent voor decentrale productie: *Electricity, high voltage {NL}| heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100 MW electrical*.

¹ Zie ook de Algemene Toelichting op <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijest-emissiefactoren>.



Voor niet-wkk's gaan we uit van:

- Dit is vrijwel geheel centrale productie (CBS, 2021b). We gaan daarom uit van 100% STEG.
- Proceskaart Ecoinvent: *Electricity, high voltage {NL}| electricity production, natural gas, combined cycle power plant.*

Kolen

- Proceskaart Ecoinvent: *Electricity, high voltage {NL}| electricity production, hard coal.*

Overig fossiel

- Overig fossiel komt in Nederland onder andere van hoogovensgas uit de productie van hoogovens (CBS, 2021a).
- Proceskaart Ecoinvent: *Electricity, high voltage {NL}| treatment of blast furnace gas, in power plant.*

Nucleair

- De enige nucleaire energiecentrale in Nederland (Borssele) werkt met een drukvat-reactor (EPZ, 2012).
- Proceskaart Ecoinvent: *Electricity, high voltage {NL}| electricity production, nuclear, pressure water reactor.*

Wind

- 69% op land, 31% op zee (CBS, 2021c).
- Het vermogen op land in 2019 was gemiddeld ~2 MW per turbine (CBS, 2021e).
- Het vermogen op zee in 2019 was gemiddeld ~3 MW per turbine (CBS, 2021c).
- Proceskaart Ecoinvent voor wind op land: *Electricity, high voltage {NL}| electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore.*
- Proceskaart Ecoinvent voor wind op zee: *Electricity, high voltage {NL}| electricity production, wind, 1-3MW turbine, offshore.*

Zon

- De exacte verdeling van het type pv-panelen dat tot nu toe is geïnstalleerd, is niet bekend. We gaan uit van 50% op daken en 50% in velden, op basis van wat in 2020 binnen de SDE+-subsidie is aangevraagd (CBS, 2021d).
- Er is geen informatie over verdeling multi-Si of single-Si beschikbaar. Voor daken zijn we daarom uitgegaan van een gelijke verdeling, voor velden is in Ecoinvent alleen multi-Si beschikbaar. Het verschil tussen de drie systemen is beperkt en heeft weinig invloed op de resultaten.
- Pv-panelen hebben de laatste jaren een sterke ontwikkeling gezien. De ketenemissies van de pv-panelen in Ecoinvent zijn afkomstig uit 2010. In de laatste 10 jaar is de efficiëntie van pv-panelen gestegen van 15 naar 20%. Daarnaast werd er in 2010 ongeveer 7 gram silicium gebruikt per Wp, tegenover 3,5 gram in 2019 (Fraunhofer, 2021). De pv-panelen uit Ecoinvent zijn dus niet meer representatief voor het gehele areaal pv-panelen in Nederland.
- De ketenemissies van pv-panelen uit 2010 in Ecoinvent is onder bovenstaande aannames 97 gram/kWh. De ketenemissies van state-of-the-art pv-panelen nu is 55 gram/kWh (TNO, 2021). Als we aannemen dat alle geïnstalleerde pv-panelen vanaf 2010 nog functioneren, dan is zo'n 1% van de huidige pv-panelen geïnstalleerd in 2010, 20% tussen 2010 en 2015, 49% tussen 2015 en 2018 en 30% in 2019 (CBS, 2021d). Deze verhouding houden we aan om de gemiddelde ketenemissies van het huidige areaal pv-panelen te

berekenen, waarbij we aannemen dat deze CO₂-eq.-emissies lineair zijn gedaald van 97 gram/kWh in 2010 tot 55 gram/kWh in 2019. Dit is een grove benadering.

- Proceskaart Ecoinvent multi-Si op dak: *Electricity, low voltage {NL}| electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted.*
- Proceskaart Ecoinvent single-Si op dak: *Electricity, low voltage {NL}| electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted.*
- Proceskaart Ecoinvent op veld: *Electricity, low voltage {NL}| electricity production, photovoltaic, 570kWp open ground installation, multi-Si.*

Waterkracht

- Proceskaart Ecoinvent: *Electricity, high voltage {NL}| electricity production, hydro, run-of-river.*

Biomassa

- Energie uit biomassa is volgens CBS (CBS, 2021f) afkomstig uit meerdere energiebronnen: 35% AVI (gft), 31% meestook (hout), 16% decentraal (hout), 0% stortgas (buiten beschouwing gelaten), 3% RWZI slib (biogas), 9% mest (biogas), 5% overig (biogas).
- AVI betreft verbranding van gft. Omdat dit afvalverwerking betreft waar energieproductie een direct bijproduct van is, is er geen sprake van ketenemissies.
- Meestook en decentraal betreft verbranding van houten pellets. De ketenemissies omvatten het transport van hout naar Nederland, de productie van pellets, en het gebruik van materieel en materiaal bij de energiecentrale. Afvalhout is zelf vrij van impact, maar het productieproces van pellets en transport van het afvalhout zijn wel opgenomen, aangezien dit specifiek voor energieproductie wordt gedaan. Er is hier dus vanaf transport sprake van een waardevolle brandstof die verder opgewerkt wordt, niet langer van afvalverwerking. Voor meestook gaan we uit van 43% elektrisch en 8% thermisch rendement en voor decentraal van 16% elektrisch en 48% thermisch rendement (CBS, 2021g).
- Transport van pellets is ingeschat op basis van de herkomst naar werelddeel op basis van CE Delft (2020a): gemiddeld 1.421 km met een EURO 4-vrachtwagen (>32 ton) plus 1.495 km met een oceaanschip.
- De productie van pellets is gemodelleerd op basis van de Ecoinventproceskaart *Wood pellet, measured as dry mass {RER}| wood pellet production.*
- Het gebruik van materieel en materiaal bij de energiecentrale is gemodelleerd op basis van de Ecoinventproceskaart *Electricity, high voltage {NL}| heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014.*
- De productie van biogas is een alternatieve afvalverwerking voor RWZI slib, mest en overig biogeen materiaal. Omdat dit afvalverwerking betreft, is er geen sprake van ketenemissies voor de productie van biogas. Nadat biogas gemaakt is, wordt dit toegepast in een energiecentrale voor energieopwekking en is er dus geen sprake meer van afval. De ketenemissies van de energiecentrale en hulpmiddelen modelleren we op basis van de Ecoinventproceskaart *Electricity, high voltage {NL}| heat and power co-generation, biogas, gas engine.* We houden de LHV van Ecoinvent (22,73 MJ/m³) aan voor biowaste en gaan uit van 27% elektrisch, 52% thermisch rendement (gemiddelde van biogas uit RWZI slib, mest en overige bronnen (CBS, 2021g)).

Overig

- Voor overige energiebronnen nemen we het gewogen gemiddelde van alle bovenstaande categorieën.

4 Totale emissies elektriciteitsproductie

Op basis van de gegevens uit beide tabellen kunnen de ketenemissies voor de totale elektriciteitsmix en de grijze elektriciteitsmix bepaald worden.

De emissiefactor van de productie (directe emissies) volgt uit de KEV van het PBL (2021). Op moment van analyse (december 2021) is deze factor wel bekend over 2019, maar nog niet over 2020. De verwachting is dat de emissiefactor voor 2020 pas in februari 2022 wordt gepubliceerd. Dit is de reden dat de hier gepresenteerde analyse van ketenemissies is geënt op 2019 en niet op 2020.

De emissiefactor van de elektriciteitsproductie over 2019 is 369 gram/kWh volgens de integrale methode.² Gezien de totale productie van 436,9 PJ waren de emissies 44,8 Mton. Uit Tabel 1 leiden we af dat 81% van de productie kwam uit de grijze mix. Dit deel is verantwoordelijk voor alle emissies vrijgekomen bij de productie, en zo stellen we de emissiefactor van de grijze elektriciteitsmix in 2019 vast op 454 gram/kWh.

In Tabel 3 zijn de emissies van de productie en de ketenemissies voor zowel de totale elektriciteitsmix als voor de grijze elektriciteitsmix opgenomen. In het totaal zijn de ketenemissies van centrale en productiemiddelen niet meegeteld.

Tabel 3 - Emissiefactoren voor productie en keten van elektriciteitsproductie 2019

	Productie	Ketenemissies excl. centrale en productiemiddelen	Ketenemissies van centrale en productiemiddelen	Totaal*
Totale elektriciteitsmix (100%)	369 g/kWh	58 g/kWh	5 g/kWh	427 g/kWh
Grijze elektriciteitsmix (81%)	454 g/kWh	69 g/kWh	1 g/kWh	523 g/kWh

* Ketenemissies van centrale en productiemiddelen zijn niet meegenomen in het totaal.

² Er wordt onderscheid gemaakt tussen de referentieparkmethode en de integrale methode. De eerste is geschikt voor marginale analyses, oftewel bij de vraag hoeveel meer of minder emissies er zouden zijn bij 1 kWh meer of minder vraag. De tweede is geschikt voor integrale analyses over de gehele productie of gehele vraag over een jaar. (AgentschapNL, CBS, ECN, PBL, 2012)

Literatuurlijst

AgentschapNL, CBS, ECN, PBL, 2012. *Berekening van de CO2-emissies, het primair fossiel energiegebruik en het rendement van elektriciteit in Nederland*. [Online]

Available at: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/Notitie%20Energie-CO2%20effecten%20elektriciteit%20Sept%202012.pdf>

[Geopend 6 januari 2022].

CBS, 2021a. *Elektriciteit en warmte; productie en inzet naar energiedrager*. [Online]

Available at: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80030ned/table?dl=3D4FB>

[Geopend 10 December 2021].

CBS, 2021b. *Elektriciteit; productie en productiemiddelen*. [Online]

Available at: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/37823wkk/table?dl=5D754>

[Geopend 24 November 2021].

CBS, 2021c. *Hernieuwbare Energie in Nederland 2020 - 4. Windenergie*. [Online]

Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2021/hernieuwbare-energie-in-nederland-2020/4-windenergie>

[Geopend 24 November 2021].

CBS, 2021d. *Hernieuwbare Energie in Nederland 2020 - 5. Zonne-energie*. [Online]

Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2021/hernieuwbare-energie-in-nederland-2020/5-zonne-energie>

[Geopend 24 November 2021].

CBS, 2021e. *Windenergie op land; productie en capaciteit per provincie*. [Online]

Available at:

<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/70960ned/table?fromstatweb>

[Geopend 24 November 2021].

CBS, 2021f. *Hernieuwbare elektriciteit; productie en vermogen*. [Online]

Available at: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82610NED/table?dl=5E9D5>

[Geopend 21 12 2021].

CBS, 2021g. *Hernieuwbare Energie in Nederland 2020 - 8. Biomassa*. [Online]

Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2021/hernieuwbare-energie-in-nederland-2020/8-biomassa>

[Geopend 21 12 2021].

CE Delft, 2020a. *Convenant duurzaamheid biomassa - Jaarrapportage 2019*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2020b. *Energie uit biomassa in AEC of BEC - Analyse milieueffecten*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2022. *Verwerkingsroutes van afvalhout*, Delft: CE Delft.

ECN, 2005. *Monitoring Nederlandse elektriciteitscentrales 2000-2004*, sl: ECN.

EPZ, 2012. *Het reactorvat*. [Online]

Available at: <https://www.epz.nl/themas/kerncentrale/het-reactorvat/>

[Geopend 24 November 2021].

Fraunhofer, 2021. *Photovoltaics Report*, Freiburg: Fraunhofer ISE.

Milieucentraal; Stimular; CE Delft, 2017. *Voorstel tot actualisatie van de CO2-emissiefactor stroomverbruik*, Utrecht: CO2 emissiefactoren.

PBL, 2021. *Klimaat- en energieverkenning (KEV)*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Royal Haskoning DHV, 2022. *Broeikasgasemissies aardgasketens v2*, Rotterdam: Royal Haskoning DHV.

TNO, 2021. *Tijd voor duurzame zonne-energie*, Utrecht: TNO.

