



Ketenemissies elektriciteit

Actualisatie elektriciteitsmix 2021



CE Delft

Committed to the Environment

Ketenemissies elektriciteit

Actualisatie elektriciteitsmix 2021

Dit rapport is geschreven door:
Maarten Bruinsma en Marieke Nauta

Delft, CE Delft, december 2023

Publicatienummer: 23.230126.185

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Maarten Bruinsma](#) (CE Delft)

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 meer dan 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 ketenemissies, geactualiseerd. In deze notitie staat kort de werkwijze beschreven. Het gaat hierbij om de ketenemissies van de in Nederland geproduceerde elektriciteit in 2021, het meest recente jaar waarover alle benodigde data beschikbaar is op CBS Statline en in de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2023 van het PBL (2023).

2 Uitgangspunten elektriciteitsmix

De uitgangspunten voor de elektriciteitsmix (de mix van energiebronnen die ingezet zijn voor de elektriciteitsproductie) over 2021 zijn:

- De elektriciteitsmix (in PJ) van in Nederland geproduceerde elektriciteit van het totale productiepark in 2021 zoals vastgesteld door CBS (2023c) en gepubliceerd in de KEV 2023 van het PBL (2023, tabel 12 van tabellenbijlage)¹.
- De verdeling van aardgas naar wkk en niet-wkk is gemaakt op basis van CBS-data over 2021 (CBS, 2023d). Deze verdeling is gebruikt om de specifieke ketenemissies van wkk en niet-wkk centrales te berekenen.
- 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 2021

Energiebron	Productie	Procent van totaal	Procent van grijze mix
Aardgas	204,1	46,4%	71,6%
- waarvan wkk	113,6	25,9%	39,9%
- waarvan niet-wkk	90,5	20,6%	31,7%
Kolen	52,6	12,0%	18,4%
Overig fossiel	14,6	3,3%	5,1%
Nucleair	13,8	3,1%	4,8%
Wind	65,0	14,8%	
Zon	40,7	9,3%	
Waterkracht	0,3	0,1%	
Biomassa	39,3	8,9%	
Overig	9,0	2,1%	
Totaal	439,4	100%	100%

Bron: (CBS, 2023c, PBL, 2023).

¹ De KEV 2023 is dit jaar geen volledige update, maar een update op hoofdlijnen. Hierbij is alleen gekeken naar wat de grootste effecten waren voor de verschillende doelen. Dit betekent dat niet alle tabellen en data zijn aangepast aan de nieuwste data van het CBS, en o.a. de emissiefactor voor elektriciteit niet aanwezig is in de KEV. In deze studie maken we met name gebruik van CBS-data, dat wel volledig geüpdatet is dit jaar. De KEV maakt ook gebruik van deze data van CBS en zou de emissiefactor van CBS overnemen bij een volledige update.



3 Totale emissiefactor elektriciteitsproductie

Voor het bepalen van de totale emissiefactor van elektriciteitsproductie tellen enerzijds de directe emissies mee die vrijkomen bij de productie van elektriciteit (uit de schoorsteen van de energiecentrale) en anderzijds de ketenemissies (onder andere door productie en transport van brandstoffen). We zijn geïnteresseerd in de *gemiddelde* emissiefactor van de totale elektriciteitsmix en van de grijze elektriciteitsmix en maken daarom voor onze berekeningen gebruik van de integrale methode².

De emissiefactor van directe emissies van de totale (gemiddelde) elektriciteitsproductie in Nederland in 2021 was 300 g/kWh^{3, 4} (CBS, 2023a). De emissiefactor voor de directe emissies van de grijze elektriciteitsmix is niet gegeven door CBS. Deze kunnen we wel van de totale elektriciteitsmix afleiden door de totale jaarlijkse emissies te delen door het aandeel grijze elektriciteit. Alle directe klimaatmissies zijn namelijk afkomstig van niet-hernieuwbare energiedragers. De totale elektriciteitsproductie in 2021 was 439 PJ, waarvan 291 PJ niet-hernieuwbare energie (CBS, 2023c). Als we de totale elektriciteitsproductie vermenigvuldigen met de emissiefactor van directe emissies, komen we uit op een jaarlijkse klimaat-emissie van 36,6 Mton CO₂-eq. Door de totale jaarlijkse klimaatmissies te delen door het aandeel niet-hernieuwbare energie, komen we uit op een emissiefactor van directe emissies van de grijze elektriciteitsmix van 448 g/kWh.

In Tabel 2 zijn zowel de directe emissies als de ketenemissies weergegeven. Hierbij geven we de emissies weer voor de totale elektriciteitsmix en voor een 100% grijze elektriciteitsmix. In het totaal (meest rechter kolom) zijn de ketenemissies van centrale en productiemiddelen *niet* meegeteld⁵.

Tabel 2 - Emissiefactoren voor directe emissies en ketenemissies van elektriciteitsproductie in 2021 (gram CO₂-eq./kWh), incl. distributieverliezen

Elektriciteitsmix	Directe emissies	Ketenemissies excl. centrale en productiemiddelen	Ketenemissies van centrale en productiemiddelen	Totaal*
Totale elektriciteitsmix (33% hernieuwbaar)	300 g/kWh**	65 g/kWh	10 g/kWh	365 g/kWh
Grijze elektriciteitsmix (0% hernieuwbaar)	448 g/kWh***	88 g/kWh	2 g/kWh	536 g/kWh

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

** Emissiefactor op basis van CBS (2023a)

*** Emissiefactor berekend door CE Delft, afgeleid van CBS (2023a)

² De emissiefactor van de integrale methode geeft de gemiddelde CO₂-eq.-emissie per eenheid geproduceerde elektriciteit voor een specifiek jaar. Er bestaat ook een andere methode, namelijk de referentieparkmethode (ook wel de marginale methode). De referentieparkmethode geeft de CO₂-eq.-emissies van een verandering in het elektriciteitsproductiesysteem weer, ofwel welke CO₂-eq.-reducties en besparingen ontstaan door elektriciteit die niet meer geproduceerd hoeft te worden. Bij de referentieparkmethode wordt ervan uitgegaan dat alle veranderingen opgevangen worden door thermische (fossiele en nucleaire) energiecentrales (Agentschap NL et al., 2012).

³ De emissies van elektriciteit uit afvalstromen zijn hierin buiten beschouwing gelaten en bij warmtekrachtkoppeling is er voor gekozen het efficiencyvoordeel ten opzichte van aparte opwekking van elektriciteit en warmte gelijk te verdelen over de warmte en elektriciteit (CBS, 2023a).

⁴ Sinds 2023 rondt CBS de emissiefactor voor elektriciteit af op 2 decimalen van een kilogram (0,30 kg CO₂-eq./kWh).

⁵ Op [CO2emissiefactoren.nl](https://www.co2emissiefactoren.nl) zijn de emissies van de centrale en productiemiddelen niet meegenomen in de gepresenteerde emissiefactoren. Deze worden wel apart vermeld naast de emissiefactoren. Zie voor meer informatie de 'Algemene Toelichting' op <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren>.



4 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 door verbranding van brandstof).
- De ketenemissies zijn gebaseerd op data uit ecoinvent v3.9.1, allocation, cut-off by classification, zoals opgenomen in SimaPro v9.5.0.0. Directe emissies van broeikasgassen naar lucht zijn verwijderd uit de ecoinvent-data, aangezien deze directe emissies al zijn opgenomen in de Klimaat- en Energieverkenning (KEV).
- Voor alle klimaatimpactberekeningen maken we gebruik van de impact-assessment-methode IPCC 2021 GWP100 V1.01, zoals opgenomen in SimaPro v9.5.0.0.
- We houden rekening met distributieverliezen⁶ van elektriciteit, aangezien deze verliezen betekenen dat er meer elektriciteit moet worden opgewekt dan door eindgebruikers wordt verbruikt. Dit heeft invloed op de ketenemissies. In 2021 was het gemiddelde distributieverlies 4,06%, uitgaande van de totale netto productie en de totale distributieverliezen in 2021 volgens CBS (2023e).
- Verliezen tijdens productie van elektriciteit (gebruik van elektriciteit door elektriciteitscentrales zelf) zijn meegenomen in de ecoinvent v3.9.1 cut-off database.
- De ketenemissies ‘voorketen (exclusief 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 in deze rapportage in kaart gebracht en los weergegeven, maar worden niet opgenomen in het totaal⁷.

In Tabel 3 geven we per energiebron de ketenemissies per 1 kWh bij opwek. Onder de tabel lichten we per energiebron in detail toe hoe we de ketenemissies modelleren.

Tabel 3 - Ketenemissies 2021 per energiebron (g CO₂-eq./kWh) bij opwek⁸, excl. distributieverliezen

Energiebron	Ketenemissies exclusief centrale en productiemiddelen (g/kWh)	Ketenemissies van centrale en productiemiddelen (g/kWh)
Aardgas*	79	1
- wkk	82	2
- niet-wkk	77	1
Kolen	147	1
Overig fossiel	0	2
Nucleair	5	2
Wind	0	16
Zon	0	62
Waterkracht	0	4
Biomassa	68	2
Overig	62	9

* De ketenemissies van aardgasproductie zijn representatief voor 2022 (voor 2021 is geen data beschikbaar). Het aandeel aardgas uit Groningen en Rusland is in 2022 lager dan in 2021, het aandeel LNG uit de VS en Qatar hoger.

⁶ Distributieverliezen omvatten het fysieke verlies door het transport van elektriciteit en het administratieve verlies door fraude, meetfouten en onvolkomenheden in de administratie (CBS, 2023e).

⁷ Op [CO2emissiefactoren.nl](https://www.co2emissiefactoren.nl) zijn de emissies van de centrale en productiemiddelen niet meegenomen in de gepresenteerde emissiefactoren. Zie voor meer informatie de ‘Algemene Toelichting’ op <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren>

⁸ De ketenemissie per energiebron in Tabel 3 geven de ketenemissies bij opwek van elektriciteit aan, voorafgaand aan transmissie en distributie.



Aardgas

Ketenemissies aardgasproductie:

- De ketenemissies van productie van H-gas⁹ zijn berekend door Royal Haskoning DHV (2023)¹⁰. Hierin is winning, gasbehandeling, gastransport in exportland, gastransport naar Nederland, en aflevering van gas in Nederland meegenomen. Voor LNG zijn daarnaast ook liquefactie in het exportland en hervergassing in Nederland meegenomen.
- Het aardgas is afkomstig uit meerdere landen, waaronder Nederland, Noorwegen, de Verenigde Staten (LNG) en Qatar (LNG).
- Voor de verbranding van aardgas (H-gas) houden we de stookwaarde (lagere verwarmingswaarde) aan die gerapporteerd wordt door Royal Haskoning DHV (2023): 36,89 MJ/Nm³. Voor de efficiëntie van de verbranding in aardgasenergiecentrales (verliezen door verbruik van energie in de energiegascentrales) gaan we uit van ecoinvent.

Voor de verhouding van wkk en niet-wkk gaan we uit van:

- 56% wkk en 44% niet-wkk (CBS, 2023d).
- Van de elektriciteit uit wkk's werd 36% in STEG-centrales opgewekt en 64% in niet-STEG-centrales (CBS, 2023d):
 - Proceskaart ecoinvent voor STEG-centrale: Electricity, high voltage {NL}| heat and power co-generation, natural gas, combined cycle power plant, 400MW electrical.
 - Proceskaart ecoinvent voor niet-STEG centrale: Electricity, high voltage {NL}| heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical.
- Van de elektriciteit uit niet-wkk werd 65% in STEG-centrales opgewekt en 35% in niet-STEG-centrales (CBS, 2023d):
 - Proceskaart ecoinvent voor STEG-centrale: Electricity, high voltage {NL}| electricity production, natural gas, combined cycle power plant.
 - Proceskaart ecoinvent voor niet-STEG-centrale: Electricity, high voltage {NL}| electricity production, natural gas, conventional power plant

Kolen

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

Overig fossiel

- Overig fossiel komt in Nederland onder andere van hoogovengas uit de productie van hoogovens (CBS, 2023c).
- 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, 2017).
- Proceskaart ecoinvent: *Electricity, high voltage {NL}| electricity production, nuclear, pressure water reactor.*

⁹ H-gas (hoogcalorisch gas) is de gemiddelde mix van H-gas in Nederland in 2022.

¹⁰ De ketenemissies van aardgasproductie die berekend zijn door Royal Haskoning DHV zijn representatief voor 2022 en 2023. Voor 2021 is geen data beschikbaar. De data van 2022-2023 gebruiken we daarom als benadering van de ketenemissies van aardgasproductie in 2021. Het aandeel aardgas uit Groningen en Rusland is in 2022 lager dan in 2021, het aandeel LNG uit de VS en Qatar hoger



Wind

- 55% op land, 45% op zee in 2021 (CBS, 2022a).
- Het vermogen op land in 2021 was gemiddeld ± 2 MW per turbine (CBS, 2023g).
- Het vermogen op zee in 2021 was gemiddeld ± 5 MW per turbine (CBS, 2022a).
In ecoinvent is echter geen grotere offshore windmolen dan 1-3 MW beschikbaar.
- 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

- We gaan uit van 80% zon op daken en 20% zon in velden, op basis van CBS (2023h):
 - In totaal is er 11.304 GWh aan elektriciteit uit zon opgewekt in 2021, waarvan 6.473 GWh bij installaties met groot vermogen (>15 MW) en 4.831 GWh bij installaties met klein vermogen (tot 15 MW).
 - Van elektriciteit uit installaties met groot vermogen is 2.309 GWh opgewekt op velden en 4.164 GWh op daken.
 - We nemen aan dat alle installaties met klein vermogen zon op dak betreft, aangezien de hoeveelheid opgewekte elektriciteit uit klein vermogen (4.652 GWh) bijna identiek is aan de totale hoeveelheid opgewekte elektriciteit op woningen. We gaan er hierbij van uit dat de overige installaties met klein vermogen op kleine daken van bedrijven en kantoren liggen.
- 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 tien 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 2021 (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% daarna (CBS, 2022b). 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 2021. 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

- Energie uit waterkracht wordt in Nederland opgewekt in rivieren, zonder reservoir.
- Proceskaart ecoinvent: *Electricity, high voltage {NL}| electricity production, hydro, run-of-river.*



Biomassa

- Energie uit biomassa was in 2021 volgens CBS (2023f) afkomstig uit meerdere energiebronnen: 22% AVI (gft), 67% meestook (hout), 5% decentraal (hout), 0% stortgas (buiten beschouwing gelaten), 2% RWZI slib (biogas), 3% mest (biogas), 2% overig (biogas).
- AVI betreft verbranding van gft. Omdat dit afvalverwerking betreft waar energieproductie een direct bijproduct van is, is er in lijn met CBS (2023a) geen sprake van ketenemissies.
- Meestook en decentraal betreft voor het overgrote deel verbranding van houten pellets (CBS, 2023b, CE Delft, 2022). Deze pallets bestaan voor 92,5% uit biogene rest- en afvalstromen en voor 7,5% uit primair hout (CE Delft, 2022). De ketenemissies omvatten de productie van primair hout (afvalhout is vrij van impact), het transport van hout naar Nederland, de productie van pellets, en het gebruik van materieel en materiaal bij de energiecentrale.
 - Transport van pellets voor meestook en decentraal is ingeschat op basis van de herkomst naar werelddeel op basis van CE Delft (2022): 32% uit de EU, 21% uit niet-EU Europese landen (met name Rusland) en 47% uit Noord-Amerika. Aangenomen is dat transport uit Europa plaatsvindt met een EURO 4-vrachtwagen (>32 ton), en uit Noord-Amerika met een oceaanschip. Als gemiddelde transportafstand is gerekend met 1.500 km voor binnen de EU, 3.000 km voor niet-EU Europa (met name Rusland) en 7.500 km voor Noord-Amerika.
 - De productie van pellets voor meestook en decentraal is gemodelleerd op basis van de ecoinvent-proceskaart *Wood pellet, measured as dry mass {RER}| wood pellet production*. Voor afvalhout is hierbij de productie van primair hout voorafgaand aan de palletproductie uit de proceskaart verwijderd, aangezien afvalhout vrij van impact is.
 - Het gebruik van materieel en materiaal bij de energiecentrale voor meestook en decentraal is gemodelleerd op basis van de ecoinvent-proceskaart *Electricity, high voltage {NL}| heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014*, waarbij we het rendement hebben aangepast op de Nederlandse situatie. Voor meestook gaan we voor 2021 uit van 43% elektrisch en 6% thermisch rendement en voor decentraal van 14% elektrisch en 36% thermisch rendement (CBS, 2023b).
- 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 ecoinvent-proceskaart *Electricity, high voltage {NL}| heat and power co-generation, biogas, gas engine*. We gaan uit van 34% elektrisch, 37% thermisch rendement (gemiddelde van totaal biogas in 2021, afkomstig uit RWZI-slib, mest en overige bronnen (CBS, 2023b)).

Overig

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

5 Literatuurlijst

- Agentschap NL, CBS, ECN & PBL, 2012. *Berekening van de CO₂-emissies, het primair fossiel energiegebruik en het rendement van elektriciteit in Nederland*: Agentschap NL, CBS, ECN & PBL.
- CBS, 2022a *Hernieuwbare energie in Nederland 2021 - 4. Windenergie* [Online] <https://longreads.cbs.nl/hernieuwbare-energie-in-nederland-2021/windenergie/> 30-10-2023.
- CBS, 2022b *Hernieuwbare energie in Nederland 2021 - 5. Zonne-energie* [Online] <https://longreads.cbs.nl/hernieuwbare-energie-in-nederland-2021/zonne-energie/>.
- CBS, 2023a. *Rendementen, CO₂-emissie elektriciteitsproductie, 2021*, Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 8 februari 2023 <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2023/06/rendementen-co2-emissie-elektriciteitsproductie-2021> 2 augustus 2023.
- CBS, 2023b. *Statline: Biomassa; verbruik en energieproductie uit biomassa per techniek*, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82004NED/table?dl=99BBA> 01-11-2023.
- CBS, 2023c. *Statline: Elektriciteit en warmte; productie en inzet naar energiedrager*, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80030ned/table?dl=6C091> 30-10-2023.
- CBS, 2023d. *Statline: Elektriciteit; productie en productiemiddelen*, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/37823wkk/table?dl=99760> 30-10-2023.
- CBS, 2023e. *Statline: Elektriciteitsbalans; aanbod en verbruik*, <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84575NED/table?dl=683E2> 21-11-2023.
- CBS, 2023f. *Statline: Hernieuwbare elektriciteit; productie en vermogen*, <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82610NED/table?dl=99ABF> 01-11-2023.
- CBS, 2023g. *Statline: Windenergie op land; productie en capaciteit per provincie*, <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/70960ned> 30-10-2023.
- CBS, 2023h. *Statline: Zonnestroom; vermogen en vermogensklasse, bedrijven en woningen, regio*, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/85005NED/table?dl=9AEEF> 20-11-2023.
- CE Delft, 2020a. *Energie uit biomassa in AEC of BEC*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2020b. *Inkoop groene stroom*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2022. *Convenant duurzaamheid biomassa: Jaarrapportage 2021*, Delft: CE Delft.
- EPZ, 2017. *Blik in de Bol - Ontwerp*, <https://www.blikindebol.nl/nl/ontwerp/> 30-10-2023.
- Fraunhofer, 2021. *Photovoltaics Report*, Freiburg: Fraunhofer ISE.
- PBL, 2023. *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2023: Ramingen van broeikasgasemissies, energiebesparing en hernieuwbare energie op hoofdlijnen*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- Royal HaskoningDHV, 2023. *Ketenemissies aardgasmix 2022 - 2023*, Rotterdam: RHDHV.
- TNO, 2021. *Tijd voor duurzame zonne-energie*, Utrecht: TNO.



A Vergelijking ketenemissies - 2019 vs. 2021

In 2022 hebben we de ketenemissies van elektriciteit berekend voor de elektriciteitsmix van 2019. In de ketenemissies zijn bij sommige energiedragers verschillen te zien ten opzichte van de ketenemissies in 2019 (Tabel 4). In deze bijlage onderzoeken we waar deze verschillen vandaan komen.

Tabel 4 - Ketenemissies 2019 & 2021 per energiebron (g CO₂-eq./kWh) bij opwek, excl. distributieverliezen

Energiebron	Ketenemissies excl. centrale en productiemiddelen (g/kWh)		Ketenemissies van centrale en productiemiddelen (g/kWh)	
	2019	2021	2019	2021
Jaar elektriciteitsmix				
Aardgas*	58*	79*	1	1
- wkk	64	82	2	2
- niet-wkk	51	77	1	1
Kolen	145	147	1	1
Overig fossiel	0	0	2	2
Nucleair	5	5	2	2
Wind	0	0	14	16
Zon	0	0	61	62
Waterkracht	0	0	4	4
Biomassa	44	68	1	2
Overig	46	62	5**	9**

* De ketenemissies van aardgasproductie zijn representatief voor 2022 (voor 2021 is geen data beschikbaar). Het aandeel aardgas uit Groningen en Rusland is in 2022 lager dan in 2021, het aandeel LNG uit de VS en Qatar hoger.

** De ketenemissies van 'overig' is een gemiddelde van alle energiebronnen, en wordt sterk beïnvloed door de ketenemissies van zon. Doordat het aandeel zon-pv in 2021 (9,3%) meer dan verdubbeld is ten opzichte van 2019 (4,4%), zijn de ketenemissies van 'overig' ook relatief veel toegenomen.

A.1 Aardgas

De verhoging van klimaatimpact bij aardgas in 2019 wordt grotendeels veroorzaakt doordat de klimaatimpact van aardgasproductie bijna 40% hoger is in 2022¹¹ dan in 2019 (Royal HaskoningDHV, 2023). Deze verhoging is te verklaren doordat het aandeel Gronings gas aanzienlijk lager was in 2021 en er geen aardgas meer direct werd geïmporteerd uit Rusland. Als gevolg hiervan is het aandeel LNG uit landen zoals de Verenigde Staten en Qatar hoger in 2021¹². De klimaatimpact van geïmporteerd LNG is vele malen hoger dan van aardgas dat via pijpleidingen aangeleverd wordt, doordat er extra energie benodigd is voor de liquefactie, hervergassing en transport van LNG.

Daarnaast zijn de processen van aardgasenergiecentrales geüpdatet in ecoinvent op basis van data van het International Energy Agency, waardoor het eigen energieverbruik van de centrales licht gestegen is. Ten slotte is er in 2021 meer energie opgewekt met niet-STEG-aardgasenergiecentrales zonder wkk dan in 2019. Het rendement van deze energiecentrales is lager, waardoor de klimaatimpact per kWh ook licht gestegen is.

¹¹ De ketenemissies van aardgasproductie die berekend zijn door Royal Haskoning DHV zijn representatief voor 2022 en 2023. Voor 2021 is geen data beschikbaar. De data van 2022-2023 gebruiken we daarom als benadering van de ketenemissies van aardgasproductie in 2021.

¹² De exacte samenstelling van aardgas in 2021 en de klimaatimpact van aardgasproductie uit verschillende landen is vertrouwelijk.



A.2 Biomassa

De verhoging van klimaatimpact bij biomassa in 2021 is te verklaren door de bijdrage van verschillende typen biomassa-energiecentrales. Ten opzichte van 2019 werd er in 2021 relatief gezien ruim twee keer meer energie uit biomassa opgewekt door meestook van houtpellets, terwijl het aandeel afvalverbranding met 40% afnam (Tabel 5).

Tabel 5 - Bijdrage verschillende type biomassa-energiecentrales aan totale opwek elektriciteit uit biomassa

Type	2019	2021	Klimaatimpact per kWh (g CO ₂ -eq./kWh, 2021)
Afvalverbranding	35%	22%	0
Meestook	31%	67%	97
Decentraal	16%	5%	94
Biogas	18%	6%	8

Omdat de klimaatimpact van meestook het hoogst is van de vier typen biomassa-energiecentrale, terwijl de energie uit afvalverbranding vrij van impact is¹³, zorgt dit voor een groot verschil in de totale klimaatimpact per kWh van biomassa. Het rendement van decentrale opwekking is daarnaast zo'n 30% lager in 2021, waardoor ook de klimaatimpact van energie uit decentrale opwek hoger is (meer broeikasgasemissie per kWh). Door het kleine aandeel decentraal, speelt dit echter maar een kleine rol in het totaal.

A.3 Wind

Bij windenergie is een verhoging van de ketenemissies van de productiemiddelen te zien van zo'n 15%. Dit komt met name doordat de impact van materiaalproductie in achtergronddata van de ecoinvent-database hoger is in versie 3.9.1 dan in versie 3.7.1, door een update met de meest recente emissiedata voor materiaalproductie. Daarnaast is het aandeel offshore sneller gegroeid tussen 2019 en 2021 dan het aandeel onshore (Tabel 6), wat ook een kleine verhoging van de gemiddelde klimaatimpact per kWh windenergie teweeg heeft gebracht.

Tabel 6 - Bijdrage verschillende onshore en offshore windturbines aan totale opwek elektriciteit uit wind

Type	2019	2021	Klimaatimpact per kWh (g CO ₂ -eq./kWh, 2021)
Onshore	69%	55%	15
Offshore	31%	45%	16

¹³ Alle emissies van afvalverbranding alloceren we naar de afvalverbrandingservice. Energie is een bijproduct van afvalverbranding, aangezien het hoofdoel van deze service het verwerken van afval is.



A.4 Andere energiebronnen

Bij de ketenemissies van zonnepanelen is een klein verschil te zien, wat wordt veroorzaakt doordat het aandeel zonnepanelen op daken en op velden preciezer is berekend in voor de ketenemissies van 2021.

De ketenemissies van overig zijn ook aangepast, doordat we deze berekenen als gewogen gemiddelde van alle energiebronnen. De verhoging wordt met name veroorzaakt door de verhoging van de klimaatimpact van aardgas en biomassa.

Het verschil tussen 2019 en 2021 bij kolen wordt, net als bij wind, veroorzaakt door een update van de achtergronddata in de ecoinvent-database van versie 3.7.1 naar versie 3.9.1.



B Emissies van energiecontracten en distributieverliezen

In deze bijlage lichten we toe hoe we binnen deze studie omgegaan zijn met distributieverliezen. Daarnaast geven we inzicht in hoe de emissies van energieopwekking en distributieverliezen berekend kunnen worden voor specifieke energiecontracten.

Bij het transport van elektriciteit komen altijd distributieverliezen kijken, waardoor de hoeveelheid elektriciteit die aan consumenten en bedrijven geleverd krijgen (iets) lager is dan de elektriciteit die is opgewekt. In Nederland zijn distributieverliezen de verantwoordelijkheid van netbeheerders, die zelf individueel bepalen hoe ze deze verliezen inkopen op de (Europese) elektriciteitsmarkt. Deze inkoop vindt jaarlijks plaats op basis van de totale netverliezen van de netbeheerder en is niet gerelateerd aan de specifieke energiecontracten die consumenten en bedrijven hebben afgesloten met energiebedrijven. Om te berekenen wat de emissies van distributieverliezen zijn bij een energiecontract met hernieuwbare Nederlandse elektriciteit moeten daarom aannames gedaan worden.

B.1 Distributieverliezen in deze studie (productieperspectief)

Bij de emissiefactor van opgewekte elektriciteit in Tabel 2 zijn distributieverliezen meegenomen, aangezien hierbij zowel voor opwekking als voor verliezen uitgegaan kan worden van de gemiddelde elektriciteitsmix op basis van de jaarlijkse elektriciteitsproductie in Nederland (import en export van elektriciteit valt buiten de scope, conform de methodiek van CBS (2023c) en PBL (2023)).

Bij de emissiefactor per individuele energiebron in Tabel 3 zijn distributieverliezen *niet* meegenomen. De distributieverliezen zijn immers niet direct te relateren aan één specifieke energiebron, maar worden jaarlijks in één keer door netbeheerders ingekocht.

B.2 Berekenen emissies per energiecontract (consumentenperspectief)

Nederlandse consumenten en bedrijven betalen voor elektriciteit via een energiecontract dat afgesloten wordt bij een energieleverancier. Om voor individuele energiecontracten de emissies van de elektriciteitsproductie en distributieverliezen te berekenen, zijn meerdere benaderingen mogelijk. De emissies van energieproductie (een jaarlijks gemiddelde) moet namelijk 'vertaald' worden naar een specifiek energiecontract, waarvoor aannames nodig zijn. Op de volgende pagina geven we drie benaderingen die hierbij gevolgd kunnen worden. Deze benaderingen hebben invloed op zowel de emissies van elektriciteitsproductie, als op de emissies van distributieverliezen.

Belangrijk om op te merken hierbij, is dat er tal van manieren zijn om emissies toe te schrijven aan consumenten en bedrijven, en dat de hier gepresenteerde benaderingen slechts dienen ter illustratie van verschillende mogelijkheden. Voor de elektriciteit waarvoor een consument een contract afsluit is, net als voor distributieverliezen, geen eenduidige methode voor het toewijzen van emissies. Zo heeft de ene energieleverancier een direct contract met exploitanten, terwijl de andere haar elektriciteit 'vergroend' door het kopen van GvO's. Het effect hiervan op de daadwerkelijke exploitatie van hernieuwbare elektriciteit verschilt. Ten slotte is het belangrijk om te realiseren dat de distributieverliezen maar een klein deel zijn van alle elektriciteit¹⁴.

In Tabel 7 geven we voor elke benadering een range van de mogelijke emissies voor elektriciteitsproductie en distributieverliezen, voor een energiecontract met 100% Nederlandse windenergie. Hierbij gaan we uit van de emissies uit Tabel 2 en Tabel 3.

¹⁴ In 2021 was er sprake van gemiddeld 4,06% distributieverlies.

Tabel 7 - Range emissiefactoren voor hernieuwbare energie, per kWh *geleverde elektriciteit bij consument/bedrijf*. Opgebouwd uit opgewekte elektriciteit en distributieverliezen (energiecontract met 100% Nederlandse windenergie)

Benadering	Opgewekte elektriciteit & distributieverliezen	Directe emissies (g CO ₂ -eq/kWh)	Ketenemissies excl. centrale en productiemiddelen (g CO ₂ -eq/kWh)	Ketenemissies van centrale en productiemiddelen
Onwetende consument*	Opgewekte energie (1 kWh)	0	0	16
	Distributieverliezen (0,0406 kWh)	0	0	0,65
Tussenvorm**	Opgewekte energie (1 kWh)	0	0	2-62
	Distributieverliezen (0,0406 kWh)	0	0	0,08-2,52
Additionaliteit***	Opgewekte energie (1 kWh)	0-448	0-88	2-62
	Distributieverliezen (0,0406 kWh)	0-18,19	0-3,57	0,08-2,52

* Emissies opgewekte elektriciteit en distributieverliezen van windenergie (zie Tabel 3).

** Emissies opgewekte elektriciteit van windenergie, emissies van distributieverliezen van combinatie uit wind, zon, biomassa en waterkracht (zie Tabel 3).

*** Emissies opgewekte elektriciteit van percentage windenergie (zie Tabel 3) en percentage grijze elektriciteitsmix (zie Tabel 2), emissies van distributieverliezen van percentage uit wind, zon, biomassa en waterkracht (zie Tabel 3) en percentage grijze elektriciteitsmix (zie Tabel 2).

Benadering op basis van ‘onwetende consument’: waar kun je een consument redelijkerwijs voor verantwoordelijk stellen?

Een consument of bedrijf kan kiezen voor een bepaald energiecontract, en de emissies die toegeschreven kan worden aan het energiecontract wordt gemaakt op basis wat voor de consument of het bedrijf beschikbaar is aan informatie middels het energiecontract. Als hierin bijvoorbeeld gespecificeerd is dat het een contract voor windenergie is, dan is de consument of het bedrijf verantwoordelijk voor de emissies zoals gespecificeerd in Tabel 3. De emissies van distributieverliezen sluiten binnen deze redenatie aan bij de emissies van het ingekochte type stroom (productieperspectief) zelf.

Benadering op basis van inkoop elektriciteit netbeheerders: een tussenvorm

Vanuit een ander perspectief zou kunnen worden beredeneerd dat een consument of bedrijf zowel verantwoordelijk is voor de keuze van het eigen energiecontract, als voor het inkoopbeleid van distributieverliezen bij netbeheerders. Een consument of bedrijf kan immers geen elektriciteit ontvangen zonder distributieverliezen. Volgens deze redenering stellen we dat de emissies van het energiecontract afgeleid worden van de emissies zoals gespecificeerd in Tabel 3, maar dat de emissies van distributieverliezen afgeleid worden van het inkoopbeleid van de netbeheerders.

Netbeheerders hebben onderling afgesproken om alle distributieverliezen duurzaam in te kopen, via GvO's (Garanties van Oorsprong)¹⁵. Binnen deze onderlinge afspraak is ook opgenomen dat het percentage Nederlandse GvO's dat ingekocht is ten minste gelijk moet zijn aan het percentage hernieuwbare elektriciteit dat in Nederland wordt opgewekt. Op basis hiervan stellen we binnen deze benadering dat de emissies van distributieverliezen binnen energiecontracten met 100% Nederlandse energie worden berekend op basis van de ingekochte Nederlandse GvO's. Distributieverliezen binnen andere energiecontracten worden berekend op basis van de ingekochte Europese GvO's.

Het is echter helaas niet bekend of alle netbeheerders zich aan de onderlinge afspraak houden. Daarnaast is geen inzicht in de GvO's die exact ingekocht worden, en of de verhouding van wind/zon/biomassa/waterkracht bij de ingekochte Nederlandse GvO's gelijk is aan de verhouding van elektriciteit uit wind/zon/biomassa/waterkracht die opgewekt wordt in Nederland. Voor deze benadering is daarom meer inzage nodig in hoe de verschillende netbeheerders hun netverliezen inkopen, om de GvO's te kunnen koppelen aan de emissies zoals gespecificeerd in Tabel 3.

Benadering op basis van additionaliteit: hoe draagt een energiecontract bij aan verduurzaming?

Een derde mogelijke benadering is op basis van additionaliteit. Waar we in de eerste en tweede benadering uitgaan van de vraag 'waar kun je een consument of bedrijf redelijkerwijs voor verantwoordelijk stellen', is de vraag die in deze laatste benadering gesteld wordt: 'Hoe dragen het energiecontract en de GvO's voor distributieverliezen bij aan de verduurzaming van het Nederlandse elektriciteitsnet?'

Bij deze benadering kijken we hoe het energiecontract en de GvO's voor distributieverliezen bijdragen aan de businesscase van ondernemers die hernieuwbare elektriciteit ontwikkelen (windparken, zonneparken, etc.). Deze bijdrage wordt vastgesteld door te berekenen wat het relatieve financiële aandeel (percentage) van het energiecontract en van de GvO's zijn aan de totale ontwikkelkosten van nieuwe hernieuwbare energie, ten opzichte van het aandeel dat vanuit SDE++-subsidies¹⁶ wordt bijgedragen. De emissies van het energiecontract en van de distributieverliezen worden vervolgens apart van elkaar als volgt berekend:

- percentage additioneel: emissies zoals gespecificeerd in Tabel 3;
- percentage niet-additioneel: emissies van gemiddelde elektriciteitsnet, zoals gespecificeerd in Tabel 2.

CE Delft (2020b) heeft voor elektriciteit uit wind, zon en biomassa de volgende bijdrage (additionaliteit) berekend voor het elektriciteitsnet in 2019:

- wind: 24-32%;
- zon-pv: 11-12%;
- biomassa: 5%.

Voor deze benadering zal voor het elektriciteitsnet in 2021 moeten worden vastgesteld wat de additionaliteit van individuele hernieuwbare elektriciteitsbronnen is. Voor alle niet-hernieuwbare energiebronnen, zijn de emissies gelijk aan het gemiddelde elektriciteitsnet, zoals gespecificeerd in Tabel 2.

¹⁵ Een GvO is een digitaal certificaat waarmee bewezen wordt dat de ingekochte elektriciteit is opgewekt met hernieuwbare elektriciteit. GvO's garanderen niet dat de elektriciteit die geleverd wordt uit hernieuwbare bronnen afkomstig is, maar wel dat er ergens in het energiesysteem dezelfde hoeveelheid hernieuwbare elektriciteit wordt opgewekt als ingekocht is. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen Nederlandse GvO's (hernieuwbare elektriciteit die is opgewekt op Nederlands grondgebied), en Europese GvO's (hernieuwbare elektriciteit die is opgewekt buiten Nederlands grondgebied).

¹⁶ De Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++) geeft subsidie aan bedrijven en non-profitorganisaties die grootschalig hernieuwbare energie opwekken of de CO₂-uitstoot verminderen.

