



Ketenemissies warmtelevering

Directe en indirecte CO₂-emissies
van warmtetechnieken



CE Delft

Committed to the Environment

Ketenemissies warmtelevering

Directe en indirecte CO₂-emissies
van warmtetechnieken

Dit rapport is geschreven door:

B.L. (Benno) Schepers

T. (Thijs) Scholten

Delft, CE Delft, april 2016

Publicatienummer: 16.3H06.06

Trefwoord : Warmte / Energietechniek / LCA / Kooldioxide / Emissies / Gas / Biomassa /
Co-verbranding

VT: Kentallen

Opdrachtgever: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Benno Schepers.

© copyright, CE Delft, 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 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Emissielijst	3
1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding en doel	4
1.2	Afbakening: beschouwde warmteketens	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Directe emissies	6
2.1	Directe emissies bij conversie	7
2.2	Directe emissies bij warmtetransport	9
2.3	Directe emissies bij hulpenergie	9
2.4	Referentie: HR-ketel	10
2.5	Totale directe emissies	10
3	Indirecte emissies	11
3.1	Gas als brandstof	11
3.2	Houtpellets als brandstof	11
3.3	Nederlands snoeihout als brandstof	12
3.4	Indirecte emissies van elektriciteitsproductie	12
3.5	Totale indirecte emissies	12
4	Totale ketenemissies	14
4.1	Overzicht	14
4.2	Rekenvoorbeeld	15
5	Bibliografie	16
Bijlage A	SimaPro-processen en uitkomsten voor ketens	18
A.1	Gas naar warmtebron	18



Emissielijst

In kg CO _{2eq} per gebruikte GJ warmte	STEG	AVI	Geothermie	Biocentrale (Nederlands, snippers)	Biocentrale (Canadees, pellets)	Restwarmte	Referentie: HR-ketel
Indirecte emissies	3,4	3,4	1,6	10,5	18,9	0,9	3,7
- Gaswinning	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	2,6
- Gastransport	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6
- Biomassawinning				6,7	13,4		
- Biomassatransport				2,9	4,6		
- Elektriciteitsgebruik	0,1	0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	0,4
- Elektriciteitsderving	2,5	2,5					
Directe emissies	32,5	23,1	23,4	15,3	15,3	20,6	62,7
- Conversie hoofdbron (80%)	14,6	6,6	6,9	0,0	0,0	4,5	57,7
- Conversie bijstook (20%)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	
- Transportverlies	4,7	3,3	3,3	2,1	2,1	2,9	
- Hulpenergie	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	5,0
Totaal	36,0	26,5	25,1	25,8	34,2	21,5	66,4
Besparing t.o.v. referentie	46%	60%	62%	61%	48%	68%	



1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Op dit moment bestaat er in Nederland geen goede lijst met kengetallen voor de CO₂-emissies van warmtelevering. De huidige waarde uit de CO₂-prestatieladder, die vaak wordt gehanteerd voor LCA-berekeningen, is een aantal jaar geleden opgesteld door SKOA en Stimular. De actuele lijst met CO₂-emissiefactoren is terug te vinden op www.co2emissiefactoren.nl. De huidige emissiefactor voor warmte leidt echter tot veel discussie en vragen bij de gebruikers van de ladder. Dit is deels gebaseerd door de gekozen waarde daarvan en het feit dat het één enkele waarde is voor alle typen warmte in Nederland.

Het doel van dit rapport is om een nieuwe lijst op te stellen van standaard emissiekengetallen (forfaitaire waarden), welke een betere invulling geeft aan de diversiteit en breedte van de emissiekengetallen van warmtelevering in Nederland. Het gaat om de directe en indirecte emissies van diverse warmteketens.

Bij het bepalen van deze forfaitaire waarden is zo veel mogelijk aangesloten bij de methodiek van EMG (NEN, 2011). De EMG-methodiek wijkt echter wel af van de methodiek die wordt gebruikt voor het bepalen van de emissies van elektriciteit (zoals in het Stroometiket), waardoor deze waarden niet één-op-één te combineren zijn.

De forfaitaire waarden in deze nieuwe lijst zijn gebaseerd op conservatieve berekeningen. Enerzijds is dit gedaan om zorgvuldig met de waarden om te gaan en warmte niet 'te rijk laten rekenen'. Tevens kennen de methodiek en nauwkeurigheid van het bepalen van de emissies van warmte kent in theorie én praktijk grote variaties. Anderzijds stimuleert een conservatieve insteek de gebruikers van de lijst om met eigen, betere waarden te komen, die gebaseerd zijn op de lokale, werkelijke situatie.

Als er een kwaliteitsverklaring beschikbaar is, dan heeft het de voorkeur de waarden daaruit te gebruiken en niet de forfaitaire waarden in deze rapportage. De kwaliteitsverklaring dient dan echter nog wel te worden aangevuld met de indirecte emissies. Deze kwaliteitsverklaring kan worden opgevraagd bij de warmteleverancier.

In deze rapportage worden zowel de directe als indirecte emissie van warmte in kaart gebracht. Niet alle monitoringssystemen maken gebruik van beide typen emissies. Het is dan ook afhankelijk van het monitoringssysteem of alleen naar de directe emissies wordt gekeken of naar de hele ketenemissies.



1.2 Afbakening: beschouwde warmteketens

In dit rapport zijn de CO₂(-equivalente¹) ketenemissies van warmte uit verschillende bronnen bepaald. Naast de conservatief gekozen forfaitaire waarden wordt ook aangegeven hoe in een specifieke casus de waarden bepaald kunnen worden (indien met reden afgeweken kan worden van de forfaitaire waarde). Hierbij zijn zowel de directe als indirecte emissies meegenomen. In Tabel 1 zijn de beschouwde ketens weergegeven.

In deze studie beperken de indirecte emissies zich tot de voorketen, de emissies van de infrastructuur zelf (zoals materiaal, aanleg, afbreken van boorputten of transportleidingen) worden buiten beschouwing gelaten. In deze voorketen wordt in het geval van biomassa voor een biocentrale onderscheid gemaakt tussen lokale biomassa en internationale biomassa als brandstof. Er is hierbij gekozen voor snoeihout uit Nederland en houtpellets uit Canada, 'indirect land use change' (ILUC) speelt hierbij geen rol². Ook bij de directe emissies worden de emissies voor de productie van de infrastructuur en installaties (zoals ketels, pompen, pijpen) buiten beschouwing gelaten en wordt enkel gekeken naar het directe energiegebruik.

Tabel 1 Ketens warmtelevering

Technologie	Indirecte emissie (voorketen) (Hoofdstuk 3)			Directe emissie (opwekking) (Hoofdstuk 2)		
STEG	Zie bijstook			E-derving	Warmtetransport	Hulpenergie (pompen, e.d.)
AVI	Zie bijstook			E-derving	Warmtetransport	Hulpenergie (pompen, e.d.)
Geothermie	Zie bijstook			Conversie	Warmtetransport	Hulpenergie (pompen, e.d.)
Biocentrale a. lokale biomassa b. internationale biomassa	Productie biomassa	Transport biomassa	Zie bijstook	Conversie	Warmtetransport	Hulpenergie (pompen, e.d.)
Zuivere restwarmte	Zie bijstook			Conversie	Warmtetransport	Hulpenergie (pompen, e.d.)
Bijstook	Aardgaswinning	Aardgastransport		Conversie	Warmtetransport	Hulpenergie (pompen, e.d.)

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden de directe emissies van de warmtelevering uitgewerkt. Hierbij wordt zowel ingegaan op de forfaitaire waarden als op de methode voor het bepalen van de waarde in specifieke gevallen. De indirecte emissies worden uitgewerkt in Hoofdstuk 3. De gecombineerde totale emissies van de diverse vormen van warmtelevering staan in Hoofdstuk 4.

Boven- of onderwaarde

In deze rapportage is gerekend met de bovenste verbrandingswaarde van de brandstoffen. Dit is overeenkomstig met de methode in de EPG en EMG.

¹ Alleen broeikasgassen leiden tot equivalente CO₂-emissies. Voor het bepalen van de indirecte emissies is er gebruik gemaakt van de ReCiPe Midpoint (H) methode, waarin broeikasgassen een GWP (*global warming potential*) zijn toegekend. Methaan heeft hierbij een GWP van 34 en lachgas een GWP van 298, dit zijn echter niet de enige broeikasgassen die zijn meegenomen. Voor directe emissies is aangesloten bij de EMG.

² Van ILUC is alleen sprake wanneer de gebruikte biomassa van landbouwgronden komt. Dat is bij deze twee typen biomassa niet het geval.



2 Directe emissies

Voor het bepalen van de directe emissies van de verschillende warmtebronnen wordt zoveel mogelijk aangehaakt bij de normen NVN7125 (EMG) en NEN7120 (EPG) (zie tekstkader). In de komende paragrafen wordt voor elke type warmtebron een korte toelichting gegeven op de bepaling van de directe emissies. Er wordt hierbij een onderscheid gemaakt tussen drie elementen in de keten: conversie, transport en hulpenergie (zie Figuur 1).

Figuur 1 Elementen in warmteketen voor directe emissies



Energieprestatienorm voor maatregelen op gebiedsniveau (EMG) - NVN7125

De EMG is een voornorm die termen, definities en de bepalingmethode geeft van de energieprestatie en daaruit afgeleide indicatoren van een gebouw of een deel van een gebouw, inclusief de energie-infrastructuur op gebiedsniveau. De EMG is daarmee uitgebreider dan de EPG, waarbij enkel naar het gebouw wordt gekeken.

Op het moment van schrijven van deze rapportage wordt gewerkt aan de definitieve EMG-norm. Deze is echter nog niet beschikbaar ten tijde van de publicatie van deze rapportage. Mogelijk dient in de loop van 2016 een update van de voorgestelde berekeningen en emissiekengetallen worden doorgevoerd.

Energieprestatie van gebouwen (EPG) - NEN7120

De EPG is een norm die termen, definities en de methode geeft voor de bepaling van de energieprestatie en de daaruit afgeleide indicatoren van een gebouw of een deel van een gebouw. De norm heeft betrekking op woningen, woongebouwen en utiliteitsgebouwen, zowel nieuw als bestaand.

Afwijking aanpak ten opzichte van EMG

In de EMG wordt gewerkt met een aantal langjarige kengetallen voor rendementen en emissies. In deze rapportage wordt daar van afgeweken door voor het berekenen van de aan te sluiten bij actuele kengetallen voor de emissies van aardgas en elektriciteit en de rendementen van elektriciteit conform het referentiepark.

Voor de (in)directe emissies van biomassa wordt aangesloten bij de emissies, zoals die berekend zijn door de EU (EU, 2015).

Bij het bepalen van de emissies wordt onder andere gebruik gemaakt van enkele generieke emissiekengetallen. Deze staan in Tabel 2.

Tabel 2 Emissiekengetallen

Emissiekengetal (forfaitaire waarden)	Waarde	Eenheid	Referentie
CO ₂ -emissiefactor aardgas ($K_{CO_2, gas}$) ³	50,8	kg _{CO2} /GJ	(NEa, 2015)
CO ₂ -emissiecoëfficiënt hout, biomassa ($K_{CO_2, bio}$)	0,0	kg _{CO2} /GJ	(NEN, 2012)
CO ₂ -emissiefactor elektriciteitsmix voor geothermie en hulpenergie ($K_{CO_2, el}$) (o.b.v. referentiepark-methode, 2013) ⁴	172,2	kg _{CO2} /GJ	(CBS, 2015)
CO ₂ -emissiefactor elektriciteitsmix voor derving STEG en AVI ⁵ ($K_{CO_2, el, STEG}$) (o.b.v. EMG-methodiek)	101,7	kg _{CO2} /GJ	(voetnoot 5)

2.1 Directe emissies bij conversie

De directe emissies bestaan uit de emissies van de conversie van de hoofdbron en uit de bijstook. In de komende paragrafen worden eerst de emissies van de diverse hoofdbronnen bepaald, indien deze in 100% van de warmtelevering zouden voorzien. De afsluitende paragraaf worden de emissies van de bijstook bepaald. In praktijk vindt bijstook plaats in bijna alle gevallen. Er is in dit geval dan ook gekozen voor een forfaitair bijstookaandeel van 20%. De overige 80% komt dan uit de hoofdbron. Deze verhouding verschilt per warmtenet, maar op basis van expert opinions is deze waarde als default aangenomen.

2.1.1 STEG

Warmte kan worden onttrokken ('afgetapt') uit de stoomcyclus van een STEG en gebruikt voor warmtevoorziening. Dit heeft tot gevolg dat er minder elektriciteit geproduceerd wordt en zorgt daarnaast ook voor een lagere (elektrische) rendement van de STEG (het onderstaande geldt ook voor andere aftapcentrales).

De resulterende derving van elektriciteitsproductie komt voor rekening van de warmtelevering. Voor het bepalen van de elektriciteitsderving wordt aangesloten bij de norm NVN7125 (NEN, 2011). De forfaitaire waarde voor warmtekrachtinstallaties met derving wordt uit deze norm gebruik en bedraagt 0,18 GJ elektriciteitsderving voor iedere GJ warmte die afgetapt wordt. Aan de hand van de emissiefactor in Tabel 2 wordt bepaald dat een afgetapte GJ warmte een forfaitaire CO₂-emissie van **18,3 kg/GJ_{th}** heeft.

Om een specifieke waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$e_{CO_2, STEG} = K_{CO_2, el, STEG} \times \frac{\Delta \epsilon_{chp; el}}{\epsilon_{chp; th}}$$

Hierin zijn ϵ_{chp} de respectievelijke jaargemiddelde omzettinggetallen voor elektriciteit en warmte en is $K_{CO_2, el, STEG}$ de directe emissiefactor van de referentiecentrale voor een STEG (zie voetnoot 5).

³ De officiële waarde in (NEa, 2015) is 56,5 kg/GJ op onderwaarde. In deze rapportage wordt met bovenwaarde gerekend. De waarde in de tabel is ongeveer gelijk aan de waarde in tabel 5.5 in de EPG.

⁴ Het gebruik van deze waarde wijkt af van de waarde in de EPG. Dit is gekozen omdat deze waarde jaarlijks door het CBS wordt berekend en daarmee een correcte afspiegeling geeft van de realistische emissies van elektriciteit. De waarde in de EPG is statisch en geeft daarmee geen goede weergave van de dynamiek in de elektriciteitsproductie in Nederland.

⁵ De waarde wordt berekend door de emissiefactor van aardgas te delen door het rendement van de referentiecentrale (50%).



2.1.2 AVI

Voor de emissies van warmte uit een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) wordt dezelfde methode gebruikt als in het geval van een STEG (Paragraaf 2.1.1). Hierbij wordt echter wel een correctie gemaakt voor het biogene deel van het afval dat omgezet wordt in warmte.

Aan de hand van dezelfde waarden als bij de STEG wordt de emissie berekend en wordt deze gecorrigeerd voor het biogene deel door in 2015 de waarde met 55% te reduceren (Staatscourant, 2014). Deze methode komt overeen met de aanpak in de Uniforme Maatlat en de EMG. De waarde is echter variabel en wordt per jaar vastgesteld. Evenals de CO₂-emissiefactor voor elektriciteit, geeft deze jaarlijkse waarde een betere indicatie van de werkelijke effecten van warmtelevering, dan de statische waarde die in de EMG is opgenomen. De directe emissies van een AVI bedragen **8,2 kg/GJ_{th}**.

Voor het bepalen van een specifieke waarde wordt de onderstaande formule gebruikt (zie ook Paragraaf 2.1.1).

$$e_{\text{CO}_2, \text{AVI}} = K_{\text{CO}_2, \text{el}, \text{STEG}} \times \frac{\Delta \epsilon_{\text{chp}; \text{el}}}{\epsilon_{\text{chp}; \text{th}}} \times (1 - f_{\text{p}, \text{AVI}})$$

In de formule is $f_{\text{p}, \text{AVI}}$ het jaarlijks vastgesteld aandeel biogeen in het verbrande afval in Nederland.

2.1.3 Geothermie

Bij geothermie wordt warmte uit de diepere lagen van de bodem gepompt. Het elektriciteitsgebruik van de pompen gaat gepaard met emissies van de gebruikte elektriciteit. Het rendement van de pompen (de COP) is bepaald op basis van de EMG: 20 GJ_{th}/GJ_e (NVN7125:2011) (NEN, 2011). Dus voor iedere twintig GJ warmte is één GJ elektriciteit nodig om te 'produceren'. Dit betekent dat een GJ warmte uit alleen geothermie een CO₂-emissie heeft van **8,6 kg/GJ_{th}**.

Voor specifieke berekeningen kan gebruik worden gemaakt van de rekenmethode in de EMG (NEN, 2011) voor het bepalen van het elektrisch opwekrendement (COP) voor geothermische energie. De CO₂-emissiefactor ($K_{\text{CO}_2, \text{el}}$) van de gebruikte elektriciteit staat genoemd in Tabel 3. De totale CO₂-emissies ($e_{\text{CO}_2, \text{geothermie}}$) worden vervolgens bepaald:

$$e_{\text{CO}_2, \text{geothermie}} = (1/\text{COP}) \times K_{\text{CO}_2, \text{el}}$$

Tabel 3 CO₂-emissiefactor nationale elektriciteitsmix (referentiepark-methode)

Jaar	CO ₂ -emissiefactor ($K_{\text{CO}_2, \text{el}}$)
2009	164,2 kg/GJ _e
2010	158,0 kg/GJ _e
2011	154,6 kg/GJ _e
2012	169,1 kg/GJ _e
2013	172,2 kg/GJ _e

2.1.4 Biocentrale

In biocentrales wordt warmte (en eventueel elektriciteit) geproduceerd uit biomassa. Hiervoor zijn diverse conversiemogelijkheden. Ook zijn er verschillende soorten biomassa die hiervoor gebruikt kunnen worden. Conform de EPG en EMG heeft het gebruik van biomassa geen directe emissies. Er wordt aangenomen dat de biomassa wordt gebruikt in een ketel met 90% rendement. Dat betekent dat biomassa een CO₂-emissiecoëfficiënt heeft van **0 kg/GJ_{th}**.



Een specifieke berekening geldt:

$$e_{\text{CO}_2, \text{biomassa}} = 0$$

2.1.5 Zuivere restwarmte

Zuivere restwarmte is een afvalproduct uit een ander (industriële) proces. Voor het beschikbaar krijgen van deze restwarmte, is extra energie nodig. In de EMG en de Uniforme Maatlat wordt hiervoor een forfaitaire waarde van $0,1 \text{ GJ}_{\text{primair}}/\text{GJ}_{\text{th}}$ genomen. Voor $\text{GJ}_{\text{primair}}$ wordt de primaire emissie van aardgas genomen. De emissies komen daarmee op **5,7 kg/GJ_{th}**.

2.1.6 Bijstook

Voor alle genoemde opties wordt aangenomen dat er een bijstook van 20% plaatsvindt met een bijstookketel op basis van aardgas voor piekproductie. Het rendement van een veronderstelde HR-107-ketel volgt uit de EMG (NEN, 2011) en bedraagt 85% (op bovenwaarde). Met behulp van de standaard CO₂-emissiefactor voor aardgas heeft een GJ warmte uit een bijstookketel op aardgas een CO₂-emissie van **59,8 kg/GJ_{th}**.

2.2 Directe emissies bij warmtetransport

Verliezen die gepaard gaan met warmtetransport (vervoer van warmte van de bron naar de afnemer) bestaan enerzijds uit transportverliezen en anderzijds uit de emissies van de energie die nodig is voor het transport.

De transportverliezen zijn sterk afhankelijk van het specifieke warmtenet, maar voor de forfaitaire waarde is aangesloten bij waarden uit de literatuur. Het CBS neemt voor de energiestatistieken aan dat het gemiddelde verlies gelijk is aan 15%. Dat is gebaseerd op expertkennis van geruime tijd in het verleden. In een recente studie van ECN (ECN, 2015) wordt eveneens aangenomen dat het gemiddelde verlies bij warmtetransport 15% bedraagt. Voor deze rapportage is daarom een gemiddeld transportverlies aangenomen van 15%. Voor iedere geleverde GJ warmte moet dus 1,18 GJ warmte worden geproduceerd.

De resulterende CO₂-emissies zijn afhankelijk van het type warmtebron(nen).

Een specifieke waarde voor de transportverliezen kunnen worden bepaald door praktijkwaarden van het specifieke warmtenet te hanteren. Deze worden vaak in de berekening voor de kwaliteitsverklaring genoemd.

2.3 Directe emissies bij hulpenergie

De hulpenergie van het distributiesysteem bestaat uit elektriciteit voor de pompen in het warmtenet. In de EMG wordt hier een forfaitaire waarde voor gehanteerd, welke hier wordt overgenomen: $0,0072 \text{ GJ}_e/\text{GJ}_{\text{th}}$.

De CO₂-emissiefactor ($K_{\text{CO}_2, \text{el}}$) geeft dus voor iedere geleverde GJ warmte bij klant een CO₂-emissie van de hulpenergie van **1,2 kg/GJ_{th}**.



De werkelijke waarde van de hulpenergie is sterk afhankelijk van diverse factoren, zoals lengte, het ontwerp en gebruik van de leiding. In sommige gevallen komen waarden voor die zeven maal hoger liggen dan de forfaitaire waarde.

2.4 Referentie: HR-ketel

Slechts enkel ter referentie van de voorgenoemde technieken wordt ook de directe CO₂-emissie van warmte uit een HR-ketel bepaald. Hiervoor wordt aangenomen dat het enkel warmte voor ruimteverwarming betreft en niet voor warm tapwater. De EPG geeft voor een HR107-ketel in een individueel cv-systeem een opwekkendement van 88% (op bovenwaarde). Dit is het gewogen gemiddelde van het rendement voor ruimteverwarming en warm tapwater (ACM, 2015). Met behulp van de standaard CO₂-emissiefactor voor aardgas heeft een GJ warmte uit een HR-ketel op aardgas een CO₂-emissie van **53,5 kg/GJ_{th}**.

Daarnaast heeft de HR-ketel ook elektriciteitsgebruik voor hulpenergie (elektronica en pompenergie). De hoeveelheid hulpenergie is afhankelijk van de warmtevraag en kan met behulp van de EPG specifiek berekend worden. Voor deze referentie wordt echter een generieke waarde hiervoor aangenomen. Volgens MilieuCentraal is het gemiddelde elektriciteitsgebruik van een HR-ketel 280 kWh per jaar (MilieuCentraal, sd). Het gemiddelde warmteverbruik van een huishouden met stadsverwarming is 35 GJ (MilieuCentraal, sd). Per verbruikte GJ betekent dat 8 kWh aan hulpenergie. Ofwel 0,0288 GJ_e/GJ_{th}. De CO₂-emissiefactor ($K_{CO_2,el}$) geeft dus voor iedere geleverde GJ warmte bij klant een CO₂-emissie van de hulpenergie van **5,0 kg/GJ_{th}**.

2.5 Totale directe emissies

In Tabel 4 staan de totale directe emissies van een geleverde GJ warmte aan een klant.

Tabel 4 Directe emissies per geleverde GJ warmte (kg/GJ_{th})

	STEG	AVI	Geothermie	Biocentrale	Restwarmte	Referentie: HR-ketel
Emissie hoofdbron						
Conversie hoofdbron (100%)	18,3	8,2	8,6	0,0	5,7	53,5
Emissie warmtelevering						
Conversie hoofdbron (80%)	14,6	6,6	6,9	0,0	4,5	
Conversie bijstook (20%)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	
Transportverlies	4,7	3,3	3,3	2,1	2,9	
Hulpenergie	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	5,0
Totaal	32,5	23,1	23,4	15,3	20,6	62,7

In de praktijk kan het vaak voorkomen dat de geleverde warmte uit meerdere bronnen komt. Om te berekenen wat de resulterende directe emissies zijn, dient hiervoor de 100%-waarde van de bron vermenigvuldigd te worden met het aandeel dat de betreffende bron heeft in de totale levering.

3 Indirecte emissies

In de voorketen vinden ook emissies plaats, hier *indirecte* emissies genoemd. Het gaat hier om de emissies in de keten van winning van de brandstof tot het gebruik in de warmtebron. Voor STEG, geothermie en biocentrales gaat het hierbij (deels) om Nederlands aardgas. Als biobrandstof is gekozen voor twee opties: geïmporteerd hout uit Canada in de vorm van houtpellets en lokaal snoeihout uit Nederland. Voor zuivere restwarmte en AVI's worden geen indirecte emissies gerekend omdat de emissies worden toegekend aan de processen waaruit de (rest)warmte vrijkomt.

De emissies voor aardgas zijn bepaald via het LCA-softwarepakket SimaPro, waarbij als basis de Ecoinvent 2.2-database is gebruikt (zie ook Voetnoot 6). Voor biobrandstoffen zijn de emissies bepaald aan de hand van de studie 'Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions' (EU, 2015), welke als bron dient voor de 'BioGrace-II GHG calculation tool' (Versie 3) (BioGrace-II, 2015). Uit de studie worden de waarden uit tabel 92 (case 2a) gehanteerd.

Voor het gebruik van afval wordt géén indirecte emissies berekend.

3.1 Gas als brandstof

Voor de voorketen is verondersteld dat de warmtebron is aangesloten op een hogedrukgasleiding en dat het Nederlandse gas bestaat uit een mix van gas dat gewonnen is in Nederland en voor 17% in Noorwegen⁶. Lekkage bij de winning, transportverliezen en elektriciteitsgebruik worden meegenomen. In Bijlage A.1 zijn de details van het processcenario en de uitkomsten gegeven.

De totale broeikasgasemissies voor deze voorketen komen uit op **2,85 kg/GJ brandstofinput** in CO₂-equivalenten. Hiervan is ongeveer 2,32 kg/GJ toe te schrijven aan de gaswinning en 0,53 kg/GJ aan het gastransport. Hieraan leveren de broeikasgassen CO₂, methaan en lachgas de belangrijkste bijdrage.

3.2 Houtpellets als brandstof

Als eerste optie voor de voorketen van een biomassacentrale is verondersteld dat de biocentrale gebruik maakt van geïmporteerde houtpellets. Hiervoor is gebruik gemaakt de data van 'Stemwood' case 2a uit Tabel 92 van 'Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions' (EU, 2015). Hierbij worden de volgende aannames gedaan:

- de houtpellets worden ingezet voor de productie van warmte;
- de houtpellets worden getransporteerd over een afstand van 2.500-10.000 km.

⁶ Dit komt overeen met het standaard proces 'Natural gas, high pressure, at consumer/NL' in SimaPro/Ecoinvent 2.2.



De emissies van pelletproductie en -transport worden meegenomen. De totale broeikasgasemissies voor deze voorketen komen uit op **17,2 kg/GJ brandstofinput** in CO₂-equivalenten. 12,8 kg/GJ is toe te schrijven aan de cultivatie en verwerking van het hout tot pellets en 4,4 kg/GJ aan het transport.

Voor specifieke berekeningen kan gebruik worden gemaakt van de 'BioGrace-II GHG calculation tool'.

3.3 Nederlands snoeihout als brandstof

Als tweede optie voor de voorketen van een biomassacentrale is verondersteld dat de biocentrale gebruik maakt van Nederlands snoeihout. Het snoeihout wordt voor transport versnipperd tot zogenaamde 'chips'. Hiervoor is gebruik gemaakt de data van 'Wood industry residues' case 2a uit Tabel 92 van 'Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions' (EU, 2015). Hierbij worden de volgende aannames gedaan:

- de houtchips worden ingezet voor de productie van warmte;
- de houtchips worden getransporteerd over een afstand van 1-500 km.

De emissies van de chipsproductie en -transport worden meegenomen⁷. De totale broeikasgasemissies voor deze voorketen komen uit op **9,2 kg/GJ brandstofinput** in CO₂-equivalenten. 6,4 kg/GJ is toe te schrijven aan de verwerking van het hout tot chips en 2,8 kg/GJ aan het transport.

Voor specifieke berekeningen kan gebruik worden gemaakt van de 'BioGrace-II GHG calculation tool'.

3.4 Indirecte emissies van elektriciteitsproductie

Ook bij de productie van elektriciteit vinden indirecte emissie plaats. Deze zijn reeds opgenomen in de CO₂-prestatieladder. De indirecte emissies voor elektriciteit uit de categorie 'stroometiket' bedragen 0,054 kg/kWh, ofwel **15 kg/GJ per gebruikte GJ elektriciteit**. Deze waarde is van toepassing op de hulpenergie en voor geothermie en restwarmte.

In het geval van derving van elektriciteitsproductie (STEG en AVI) moet ook aan de gederfde elektriciteit die elders geproduceerd moet worden, indirecte emissies worden gekoppeld. Per geleverde GJ moet 1,18 GJ geproduceerd worden (met 15% transportverlies), wat betekent dat per geleverde GJ_{th} elders 0,21 GJ_e geproduceerd moet worden (met 0,18 GJ_e/GJ_{th}).

3.5 Totale indirecte emissies

Om de indirecte emissies op te kunnen tellen bij de directe emissies, moet eerst nog een kleine verrekening worden gemaakt, omdat de directe emissies zijn uitgedrukt in het finale verbruik (output) en indirecte emissies in het primaire verbruik (input). Dit is met name relevant voor de opties die rechtstreeks gebruik maken van aardgas (bijstook en HR-referentie) of biomassa (biocentrale). In Tabel 5 wordt voor de twee opties berekend

⁷ Omdat het hier residuen betreft, zijn er voor cultivatie geen emissies.



hoeveel brandstof hierbij nodig is als input voor de warmteproductie om te bepalen wat de indirecte emissie zijn.

Tabel 5 Energiestromen per optie

	Bijstook	Biocentrale	HR-ketel
	Aardgas	Biomassa	Aardgas
Input GJ	1,38	1,31	1,14
Conversieverlies	15%	10%	12%
Geproduceerde GJ	1,18	1,18	1,00
Transportverlies	15%	15%	n.v.t.
Geleverde GJ	1,0	1,0	1,0

Per geleverde GJ warmte uit de bijstook, is dus 1,38 GJ aardgas nodig. Voor biomassa 1,31 GJ. In Tabel 6 staan de resulterende indirecte emissies voor een geleverde GJ warmte. Hierbij zijn de indirecte emissies per GJ brandstof uit de voorgaande paragrafen vermenigvuldigd met de benodigde hoeveelheid brandstof (input) in Tabel 5.

Tabel 6 Totale indirecte emissies per geleverde GJ (in kg/GJ_{th})

	Aardgas (bijstook)	Aardgas (HR-referentie)	Biomassa (Nederlands)	Biomassa (Canadees)	STEG & AVI
Gaswinning	3,2	2,6			
Gastransport	0,7	0,6			
Biomassawinning			8,4	16,7	
Biomassatransport			3,7	5,8	
Elektriciteitsderving					3,2
Indirecte emissies	3,9	3,2	12,0	22,5	3,2



4 Totale ketenemissies

4.1 Overzicht

De directe en indirecte emissies kunnen bij elkaar opgeteld worden om de totale ketenemissies te krijgen.

In Tabel 7 worden de totale emissies van de keten weergegeven.

Tabel 7 Totale ketenemissies per geleverde GJ warmte (in kg/GJ_{th})

	STEG	AVI	Geothermie	Biocentrale (Nederlands, snippers)	Biocentrale (Canadees, pellets)	Restwarmte	Referentie: HR-ketel
Indirecte emissies	3,4	3,4	1,6	10,5	18,9	0,9	3,7
- Gaswinning	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	2,6
- Gastransport	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6
- Biomassawinning				6,7	13,4		
- Biomassatransport				2,9	4,6		
- Elektriciteitsgebruik	0,1	0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	0,4
- Elektriciteitsderving	2,5	2,5					
Directe emissies	32,5	23,1	23,4	15,3	15,3	20,6	62,7
- Conversie hoofdbron (80%)	14,6	6,6	6,9	0,0	0,0	4,5	57,7
- Conversie bijstook (20%)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	
- Transportverlies	4,7	3,3	3,3	2,1	2,1	2,9	
- Hulpenergie	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	5,0
Totaal	36,0	26,5	25,1	25,8	34,2	21,5	66,4
Besparing t.o.v. referentie	46%	60%	62%	61%	48%	68%	

Kijkend naar de totale emissies, is duidelijk zichtbaar dat de huidige 'conventionele' warmtebronnen in Nederland (STEG, AVI en restwarmte) ten opzichte van de HR-referentie 45-70% lagere emissies hebben. De duurzame opties scoren wisselend. Nederlandse biomassa en geothermie scoren met ongeveer 60% reductie goed. De Canadese biomassa scoort minder, maar nog steeds goed.

Als nader wordt ingezoomd op de opbouw van de emissies, valt op waardoor deze uitkomsten worden veroorzaakt. Bij alle opties heeft met name het aandeel **bijstook** een grote invloed op de totale emissies. In deze rapportage is aangenomen dat dit 20% is. Hoewel dit een gangbaar aandeel is, worden in praktijk reeds aanzienlijk lagere percentages gehaald (met name bij STEG, AVI en Restwarmte). Een lager aandeel bijstook leidt tot een lagere totaal-emissie voor alle opties.

Hoewel biomassa bij de directe emissies de laagste waarden heeft (volledig veroorzaakt door de bijstook), leiden de indirecte emissies tot hogere totaalwaarden. In het geval van biomassa is niet zo zeer de herkomst van belang, als wel de **vorm** van de biomassa: met name het maken van houtpellets heeft een grote invloed op de indirecte emissies voor biomassa. Het maken van houtchips heeft aanzienlijk minder emissies.

Met uitzondering van warmtelevering uit biomassa, kan bij de overige opties voor warmtelevering worden geconcludeerd dat de indirecte emissies beperkt zijn in verhouding tot de directe emissies



4.2 Rekenvoorbeeld

Ter illustratie van de werking de lijst met emissies wordt het volgende voorbeeld gegeven:

Voorbeeld A

Bedrijf A is aangesloten op een warmtenet en verbruikt op jaarbasis 2.500 GJ warmte. Dit warmtenet wordt gevoed door een AVI met bijstook op aardgas. De bijstook levert 20% van het volume. In dit geval heeft het bedrijf een directe CO₂-emissie van 57.500 kg en indirecte CO_{2eq}-emissie van 8.500 kg. Gemiddeld 26,5 kg/GJ.



5 Bibliografie

ACM, 2015. Model voor de berekening van de maximumprijs en de eenmalige aansluitbijdrage warmte 2016. [Online]

Available at: <https://www.acm.nl/nl/download/bijlage/?id=12736>
[Geopend maart 2016].

AgentschapNL, 2013. Warmte en koude in Nederland, Den Haag: AgentschapNL.

BioGrace-II, 2015. The BioGrace-II GHG calculation tool for electricity, heating and cooling products. [Online]

Available at:

http://biograce.net/app/webroot/biograce2/content/ghgcalculationtool_electricityheatingcooling/overview
[Geopend januari 2016].

CBS, 2015. Rendementen en CO2-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland, update 2013. [Online]

Available at: <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/publicaties/artikelen/archief/2015/2015-rendementen-co2-emissie-update-2013-mw.htm>
[Geopend september 2015].

ECN, 2011. Geothermische energie en de SDE, Petten: ECN.

ECN, 2015. Developments of Heat Distribution Networks in the Netherlands, Petten: ECN.

Ecofys, 2014. Warmteladder - Afwegingskader warmtebronnen voor warmtenetten, Utrecht: Ecofys/Eneco.

EU, 2015. Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions, Ispra, Italië: Joint Research Centre.

MilieuCentraal, sd Gemiddeld energieverbruik. [Online]

Available at: www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/
[Geopend januari 2016].

MilieuCentraal, sd Huishoudelijke apparaten. [Online]

Available at: www.milieucentraal.nl/energie-besparen/apparaten-en-verlichting/huishoudelijke-apparaten/
[Geopend januari 2016].

Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014. Standaard CO2-emissiefactor aardgas voor emissiehandel 2014, Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Staatscourant, 15 januari.

NEa, 2015. Publicatie Staatscourant standaard emissiefactor aardgas 2015. [Online]

Available at:

<http://www.emissieautoriteit.nl/documenten/publicatie/2015/01/20/publicatie-staatscourant-standaard-emissiefactor-aardgas-2015>



[Geopend september 2015].

NEN, 2011. NVN 7125 (nl) Energieprestatienorm voor maatregelen op gebiedsniveau (EMG), Delft: NEN.

NEN, 2012. NEN 7120+C2 (nl) Energieprestatie van gebouwen, Delft: NEN.

RVO, 2011. 'RVO CO2-tool electricity gas and heat from biomass (v.1.0.1)'.
[Online]

Available at: www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/CO2-tool%20electricity%20%20gas%20and%20heat%20from%20biomass%20-%20version%201.0.1.xls

Staatscourant, 2014. Besluit tot vaststelling van het percentage duurzame elektriciteit van de totale hoeveelheid elektriciteit die wordt opgewekt door middel van niet-zuivere biomassa in een afvalverbrandingsinstallatie. Staatscourant, 24 december, pp. 1-2.



Bijlage A SimaPro-processen en uitkomsten voor ketens

A.1 Gas naar warmtebron

Product:	1 GJ Natural gas, high pressure, at consumer/NL Warmtenet NO			
Process				
Category type	Materiaal			
Type	Unit process			
Process name	natural gas, high pressure, at consumer/MJ/NL			
Infrastructure	No			
Date	25-7-2003			
Record	Data entry by: Niels Jungbluth Telephone: 0041 44 940 61 32; E-mail: esu-services@ecoinvent.org; Company: ESU; Country: CH			
Generator	Generator/publisher: Mireille Faist Emmenegger Telephone: 0041 44 940 61 35; E-mail: esu-services@ecoinvent.org; Company: ESU; Country: CH			
Literature references	Erdgas/2007/Faist Emmenegger, M. Data has been published entirely in Copyright: true; Page: Kapitel Verteilung			
Collection method	Sampling procedure: statistics			
Verification	Proof reading validation: Passed. Validator: Michael Spielmann Telephone: 0041 44 632 49 83; E-mail: eth.uns@ecoinvent.org; Company: ETH-UNS; Country: CH			
Comment	Translated name: Erdgas, Hochdruck, an Abnehmer Included processes: This dataset describes the energy requirements and the emissions of the high pressure distribution network in the Netherlands. Remark: Total network losses are based on published data, repartition of losses on high and low pressure network on calculations with data for other countries.; Geography: Energy requirements is based on environmental report of Italian company. Total leakages are specific for NL, HD-leakages are calculated out of the total with German data. Technology: The quantity of gas delivered in the HD and MD network is estimated. Industry, power plants and half of commercial and of others are assumed to be HD/MD. Time period: Total leakage data is from 1997, energy requirements and proportion of leakage from 2000 Version: 2.2 Energy values: Undefined Production volume: 1593 PJ at 39 MJ/m3 Local category: Erdgas Local subcategory: Brenn- und Treibstoffe Source file: 01325.XML			
Allocation rules				
System description	Ecoinvent			
Products				
Natural gas, high pressure, at consumer/NL Warmtenet NO	1 MJ			100 niet gedefinieerd 3.H06 War Aangepast voor project warmtenet
Avoided products				
Resources				
Materials/fuels				
Electricity, medium voltage, at grid/NL U	7,58E-05 kWh	Lognormaal	1,51	(1,3,1,3,1,3); environmental report of Italian company
Natural gas, production NL, at long-distance pipeline/RER U	0,0237 m3	Lognormaal	1,57	(4,1,1,1,1,3); leakage estimated for EU
Natural gas, production NO, at long-distance pipeline/RER S	0,00496 m3	Lognormaal	1,57	(4,1,1,1,1,3); leakage estimated for EU
Transport, natural gas, pipeline, long distance/NL U	0,00431 tkm	Lognormaal	2,34	(4,4,1,1,1,5); calculated on the basis of German data
Electricity/heat				
Emissions to air				
Methane, fossil	low. pop.	9,76E-06 kg	Lognormaal	2,25 (3,1,1,1,1,3); calculated based on gas mix and leakage
Ethane	low. pop.	4,57E-07 kg	Lognormaal	2,25 (3,1,1,1,1,3); calculated based on gas mix and leakage
Propane	low. pop.	8,29E-08 kg	Lognormaal	2,25 (3,1,1,1,1,3); calculated based on gas mix and leakage
Butane	low. pop.	2,68E-08 kg	Lognormaal	2,25 (3,1,1,1,1,3); calculated based on gas mix and leakage
Carbon dioxide, fossil	low. pop.	1,27E-07 kg	Lognormaal	1,53 (3,1,1,1,1,3); calculated based on gas mix and leakage
NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified	low. pop.	4,97E-09 kg	Lognormaal	2,25 (3,1,1,1,1,3); calculated based on gas mix and leakage
Mercury	low. pop.	1,44E-13 kg	Lognormaal	1,79 (3,1,1,1,1,3); calculated based on gas mix and leakage
Heat, waste	low. pop.	0,000273 MJ	Lognormaal	1,53 (3,1,1,1,1,3); environmental report of Italian company

