

# RAPPORT

## Warmte uit aardgas of uit biomassa?

Klimaatimpact over de keten en effecten op  
luchtkwaliteit vergeleken voor warmtelevering aan  
industrie en bebouwde omgeving

Klant: Nederlandse Vereniging Duurzame Energie

Referentie: BH1516I&BRP001F01

Status: S0/01

Datum: 6 mei 2020

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35  
3818 EX AMERSFOORT  
Industry & Buildings  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**  
+31 33 463 36 52 **F**  
info@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Warmte uit aardgas of uit biomassa?

Ondertitel:  
Referentie: BH1516I&BRP001F01  
Status: 01/S0  
Datum: 6 mei 2020  
Projectnaam: E&E  
Projectnummer: BH1516  
Auteur(s): HaskoningDHV Nederland B.V.

Classificatie

Projectgerelateerd



## Disclaimer

*No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and ISO 45001:2018.*

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Opzet van de uitgevoerde vergelijking</b>	<b>10</b>
2.1	Beschouwde typen warmteketens	10
2.2	Beschouwde milieu-ingrepen	10
2.3	Beschouwde typen brandstoffen	11
2.3.1	Houtsnippers	11
2.3.2	Houtpellets	12
2.4	Aardgas	13
2.5	Aanpak en methodiek	13
<b>3</b>	<b>Vergelijking tussen warmteproductie op basis van biomassa en aardgas</b>	<b>14</b>
3.1	Broeikasgasbalans voor warmtelevering aan huishoudens – biowarmtenet versus combiketel	14
3.2	Broeikasgasbalans voor productie van industriële warmte	16
3.3	Emissies van verzurende stoffen en van fijn stof	17
3.4	Gevoeligheidsanalyse voor gegeneerde schattingen	20
3.5	Discussie en breder kader	24
3.6	Conclusies	28

## Tabellen

Tabel 1.	Vergelijking emissies verzurende/vermestende verbindingen en fijnstof, in g/GJ geleverde warmte.	vii
Tabel 2.	Vergelijking voor warmtelevering aan huishoudens (alle waarden in kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ warmte) over de gehele keten.	14
Tabel 3.	Berekening broeikasgasemissies per eenheid aan eindgebruiker geleverde warmte voor industriële bedrijven (alle waarden in kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ warmte)	16
Tabel 4:	Aangehouden emissies per eenheid brandstof (g/GJ) en per eenheid rookgas (mg/Nm <sup>3</sup> ) voor de hout- en gasgestookte ketels in de gebouwde omgeving en de industrie.	17
Tabel 5.	Overzicht emissies (g/GJ warmte) voor warmtelevering aan huishoudens	18
Tabel 6	Overzicht emissies (g/GJ warmte) voor levering van industriële stoom	19
Tabel 7	Vergelijking broeikasgasemissies per eenheid geleverde warmte voor verschillende thermische rendementen biowarmtecentrale en warmtenet (alle waarden in kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ geleverde warmte)	21
Tabel 8	In deze studie aangehouden restconcentraties en in vergunningen en wetgeving vastgelegde normwaarden (waarden in mg/Nm <sup>3</sup> bij normcondities)	23
Tabel 9	Specificatie-eisen voor industriële houtpellets (EN ISO 17225)	34

Tabel 10	Voor teelt aangehouden gebruiken van bedrijfsmiddelen (gemiddelde van extensieve en gemiddeld intensieve teelt)	39
Tabel 11	Schatting van N <sub>2</sub> O-emissie bij teelt van Loblolly Pine	40
Tabel 12	Indicatieve stikstofbalans voor productie van 194 ton d.s. aan stamhout, gemiddelde van extensief en gemiddeld intensief beheerde Loblolly plantages	41
Tabel 13	Praktijkwaarden voor restconcentraties van beschouwde emissies naar lucht bij houtstof gestookte biowarmte centrales met adequate rookgasreiniging	46
Tabel 14	Praktijkwaarden voor restconcentraties van beschouwde emissies naar lucht bij houtstof gestookte biowarmte centrales met adequate rookgasreiniging	50
Tabel 15	Aangehouden gassamenstellingen	53
Tabel 16	Broeikasgasbalansen genoemd in andere studies	56
Tabel 17	Geschatte broeikasgasemissies voor transmissie en distributie en voor inzet van aardgas in Nederland	58

## Figuren

Figuur 1.	Vergelijking broeikasgasemissies per eenheid geleverde warmte, berekend over de hele keten voor warmte uit houtige biomassa en warmte uit aardgas.	vi
Figuur 2	Milieukosten voor warmteproductie voor huishoudens op basis van biomassa en aardgas (alle waarden in €/GJ geleverde warmte)	viii
Figuur 3	Berekening milieukosten voor warmteproductie voor huishoudens op basis van biomassa en aardgas (alle waarden in €/GJ warmte)	20
Figuur 4.	vergelijking van in verschillende officiële Russische overheidspublicaties opgevoerde cijfers voor methaanemissies	21
Figuur 5	Berekening milieukosten per eenheid aan huishoudens geleverde warmte wanneer de NO <sub>x</sub> -emissiegrenswaarde uit het Activiteitenbesluit worden aangehouden (145 mg/Nm <sup>3</sup> bij 6% zuurstof voor de biomassa-eenheden, 70 mg/Nm <sup>3</sup> bij 3% zuurstof voor de gasketels), €/GJ geleverde warmte	23
Figuur 6	Klassieke theorie van koolstofschuld (links) en een voorbeeld van de ontwikkeling van een uit beheer genomen Nederlands bos (grove den, omloop 100 jaar) volgens bosbouw deskundigen (rechts)	26
Figuur 7	Indicaties van samenstelling van het grondstoffenpalet voor industriële houtpellets voor export	36
Figuur 8	Indicatie van volumes, landeigendom en prijsniveaus van geoogst hout van verschillende diameter in het Zuidoosten van de VS	37
Figuur 9	Overzichtsfoto van een pelletfabriek	43
Figuur 10	Cycloonbrander aangesloten op een trommeldroger	43
Figuur 11	Voorbeeld van het concept van een houtstof gestookte warmtecentrale	45
Figuur 12	Schematische weergave van ketel en rookgasreiniging	49
Figuur 13	Routes van Russisch gas naar Nederland	54

## Bijlagen

### Houtpellets uit het Zuidoosten van de VS

A1 Kwaliteit

A2 Grondstoffenpalet

### Teelt van Loblolly pine

A3 Beschrijving

A3.1 Gebruik van bedrijfsmiddelen

A3.2 Emissies

A3.3 Gevoeligheidsanalyse

### Pelletproductie

A4 Beschrijving op hoofdlijnen

A4.1 Gebruik van bedrijfsmiddelen

A4.2 Pellet logistiek

A4.3 Beschrijving op hoofdlijnen

A4.4 Gebruik van bedrijfsmiddelen en emissies naar lucht

### Houtsnippers uit regionaal landschapsbeheer

A5 Houtsnippers uit regionaal landschapsbeheer

A5.1 Beschrijving op hoofdlijnen

A5.2 Rendement en bedrijfsmiddelen gebruik

### Aardgasketen

A6 Aardgasketen

A6.1 Alternatief 1: Meer gasimport uit Rusland

A6.2 Alternatief 2: Meer LNG-import uit Qatar

A6.2.1 Noors aardgas

A6.3 Emissiecijfers

A6.3.1 Emissies bij productie, opwerking en transmissie

A6.3.2 Broeikasgasemissies

A6.3.3 Emissies bij transmissie, distributie en gebruik in Nederland

### Literatuur

## Managementsamenvatting

### Aanleiding

Houtige biomassa speelt in het overheidsbeleid een belangrijke rol bij de verduurzaming van de warmteproductie in Nederland in zowel de gebouwde omgeving als in de industrie.

Volgens de Klimaat- en Energieverkenning van het Planbureau voor de Leefomgeving<sup>1</sup> neemt de rol van warmtenetten in de gebouwde omgeving toe, en zal een deel van de warmte in deze netten worden opgewekt met duurzame biomassa. PBL verwacht dat de inzet van houtige biomassa voor warmtenetten in de gebouwde omgeving onder invloed van overheidsbeleid zal toenemen van 1,4 petajoule in 2017 naar 11,7 petajoule in 2030<sup>2</sup>. Warmteproductie bij bedrijven in industrie en glastuinbouw op basis van houtige en andere vaste biomassa zal volgens het PBL toenemen van circa 20 PJ/jaar nu tot circa 50 PJ/jaar in 2030. Ter vergelijking, het jaarlijkse energieverbruik voor warmteproductie in de gebouwde omgeving en industrie bedraagt respectievelijk 300 – 310 PJ (waarvan 12 PJ/jaar in de vorm van warmtelevering) en 450 PJ<sup>3</sup>.

Houtige biomassa, afkomstig uit binnen- en buitenland, wordt in toenemende mate gebruikt als brandstof voor warmte. Er is maatschappelijke discussie over verschillende aspecten van deze keten. Het is van belang dat de discussie precies gevoerd wordt, met oog voor de verschillende stappen in de keten, verschillende herkomstlanden en diverse issues, waaronder CO<sub>2</sub>-reductie, uitstoot van stikstofverbindingen en van fijnstof. Ook is een goede vergelijking met aardgas als alternatief waardevol, ook bezien vanuit de hele keten en afkomstig uit diverse landen. Dit onderzoek levert feiten en cijfers, die naar wij hopen de kwaliteit van de maatschappelijke discussie over houtige biomassa kunnen helpen verhogen en de nuance kunnen vergroten<sup>4</sup>.

Op verzoek van de NVDE heeft HaskoningDHV Nederland B.V. een vergelijking uitgevoerd tussen warmtelevering op basis van houtige biomassa en op basis van aardgas. De vergelijking is uitgevoerd voor twee situaties:

- Bij het aardgasvrij maken van woningen middels een nieuw aan te leggen warmtenet gevoed met warmte uit een biomassaketel;
- Bij het vervangen van aardgas voor hoge-temperatuur warmtelevering voor industriële processen.

### Beschouwde brandstoffen en emissies

In beide situaties c.q. vergelijkingen is voor de gehele keten - vanaf beheerd bos of gaswinning, gebruik t.b.v. warmteproductie tot levering – per geleverde eenheid warmte een vergelijking gemaakt tussen ketens op basis van biomassabrandstoffen en op basis van aardgas voor:

- De emissies van broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O);
  - De emissies van verzurende en vermestende stikstofverbindingen (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>) en zwaveloxide (SO<sub>2</sub>).
- Daarnaast is met oog op volledigheid ook een indicatie gegeven voor emissies van fijn stof (PM<sub>10</sub>).

Voor de houtige biomassa zijn drie varianten beschouwd:

- Houtsnippers (en shreds) uit onderhoud aan bos, landschap en stedelijk groen in Nederland;
- Houtpellets uit pulphout uit bos en plantages uit het Zuidoosten van de VS;
- Houtpellets uit bijproducten van houtverwerkende bedrijven uit het Zuidoosten van de VS;
- Houtpellets uit pulphout en bijproducten van houtverwerkende bedrijven uit de Baltische Staten.

<sup>1</sup> <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2019>

<sup>2</sup> zie: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-klimaat-en-energieverkenning-2019-3508.pdf>, paragraaf 4.4, blz. 100

<sup>3</sup> Zie Klimaat en Energieverkenning (KEV), 2019, <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2019>

<sup>4</sup> Zie bijvoorbeeld: <https://bestuurlijknieuws.nl/d66-kamerlid-sienot-als-het-echt-niet-anders-kan-is-gas-betere-brandstof-dan-biomassa-biomassa-d66/>.

Voor aardgas zijn drie mogelijke varianten beschouwd waarmee de afnemende aardgasproductie in Nederland zou kunnen worden opgevangen:

- Per pijpleiding aangevoerd aardgas uit Noorwegen;
- Per pijpleiding aangevoerd aardgas uit Rusland;
- Per schip uit Qatar aangevoerde LNG.

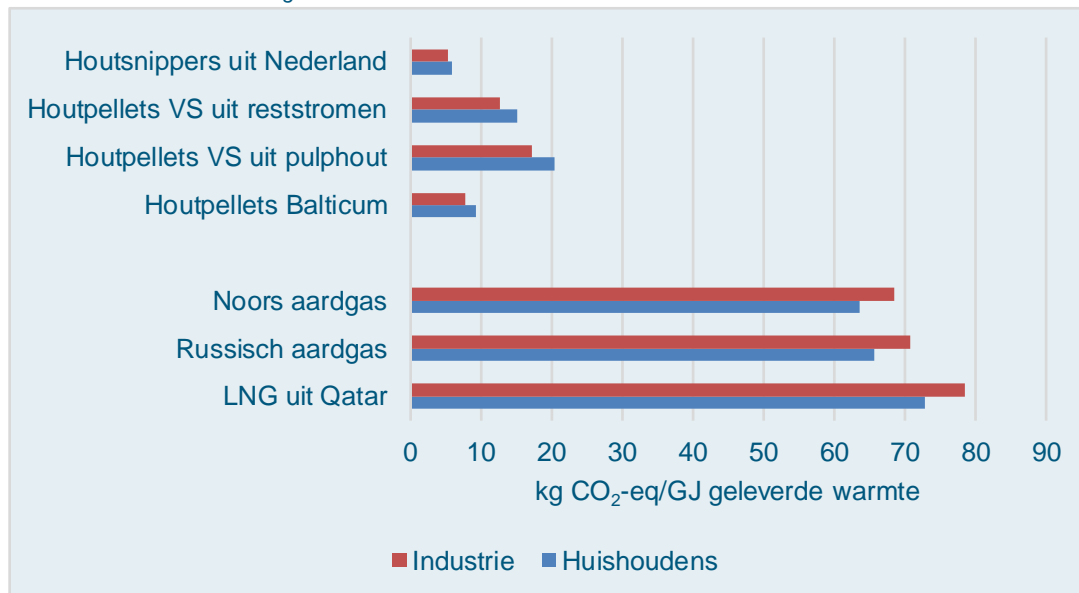
### Conclusies en advies

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat – berekend over de hele keten - warmte op basis van houtige biomassa een significante reductie van broeikasgasemissies per eenheid geleverde warmte geeft in vergelijking met warmte geproduceerd op basis van aardgas. Dit gaat wel gepaard met hogere emissies van NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> en gemiddeld genomen ook NO<sub>x</sub>. Per saldo liggen de totale milieukosten bij de biomassaketens ruimschoots lager dan bij de gasketens.

### Vergelijking van broeikasgasemissies over de hele keten per eenheid geleverde warmte

Warmtelevering aan huishoudens of industrie op basis van biomassa geeft een significant lagere broeikasgasemissie per eenheid geleverde warmte dan levering op basis van aardgas (zie Figuur 1). Gerekend over de hele keten is de broeikasgasemissie per eenheid geleverde warmte bij gebruik van biomassa 70% - 90% lager dan bij gebruik van aardgas uit Noorwegen, Rusland of Qatar. De analyse laat ook zien dat gebruik van aardgas uit Noorwegen, Rusland of Qatar in plaats van Nederlands aardgas een toename geeft van de broeikasgasemissies per eenheid geleverde warmte van 10% - 25%, berekend over de gehele keten.

Figuur 1. Vergelijking broeikasgasemissies per eenheid geleverde warmte, berekend over de hele keten voor warmte uit houtige biomassa en warmte uit aardgas.



Bij warmtelevering op basis van biomassa hebben de aard van de brandstof, herkomst en productiewijze invloed op de uiteindelijke broeikasgasemissie per eenheid geleverde warmte, berekend over de gehele keten:

- De totale broeikasgasemissie per eenheid geleverde warmte is – van de in deze studie beschouwde typen houtige biomassa - het laagst voor houtsnippers uit onderhoud aan bos, landschap en stedelijk groen in dezelfde regio als waar de biowarmtecentrale is gevestigd;
- De totale broeikasgasemissie per eenheid geleverde warmte is het hoogst voor industriële houtpellets uit de VS, die zijn geproduceerd op basis van commercieel pulphout uit beheerd bos en houtplantages.

Bij de gasketens is de regio van herkomst van invloed op de ketenemissies: deze is bij Noors aardgas het laagst en bij LNG uit Qatar het hoogst. De broeikasgasemissies per eenheid geleverde warmte in de gasketens zijn mogelijk groter dan in deze studie is aangenomen, maar dit is door onzekerheid over de emissies bij productie en transport van aardgas in Rusland en Qatar en beperkte transparantie in de landen van herkomst van aardgas niet nader te bepalen. Hogere emissies in de aardgasketens zouden de emissiereducties die met de inzet van biomassa worden gerealiseerd nog verder vergroten.

### Vergelijking van lokale emissies van verzurende, vermestende en toxische stoffen

In deze studie is behalve naar broeikasgasemissies ook vergeleken voor uitstoot van stikstofverbindingen, SO<sub>2</sub> en van fijnstof.

De range van NO<sub>x</sub>-emissies ligt bij biomassaketels hoger dan bij de gasketels (zie Tabel 1). Bij toepassing van de stand der techniek op gebied van rookgasreiniging is het in principe wel mogelijk de NO<sub>x</sub>-emissies per eenheid geleverde warmte bij biomassaketels te beperken tot vergelijkbaar niveau als bij warmteproductie op basis van aardgas. Reduceren van restconcentraties tot dit niveau zal wel hogere investeringen in een uitgebreidere rookgasreiniging vergen. De emissies van SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en NH<sub>3</sub> per eenheid geleverde warmte zijn bij warmteproductie op basis van biomassa per definitie hoger dan bij warmteproductie op basis van aardgas omdat aardgas niet (of nauwelijks) zwavel en as bevat en er geen ammoniak gebruikende DeNO<sub>x</sub>-installatie nodig is om NO<sub>x</sub>-emissies te reduceren.

Tabel 1. Vergelijking emissies verzurende/vermestende verbindingen en fijnstof, in g/GJ geleverde warmte.

	Gebouwde omgeving		Industrie	
	Houtgestookte warmtecentrale + warmtenet	Aardgas HR107-ketel	Houtgestookte stoomketel	Aardgasgestookte stoomketel
NO <sub>x</sub>	13 - 37	9 - 12	12 - 31	11 - 16
NH <sub>3</sub>	0,2 – 0,9		0,2 – 0,8	
PM <sub>10</sub>	0,2 – 1,4		0,2 – 1,2	
SO <sub>2</sub>	1 – 5		1 – 4	

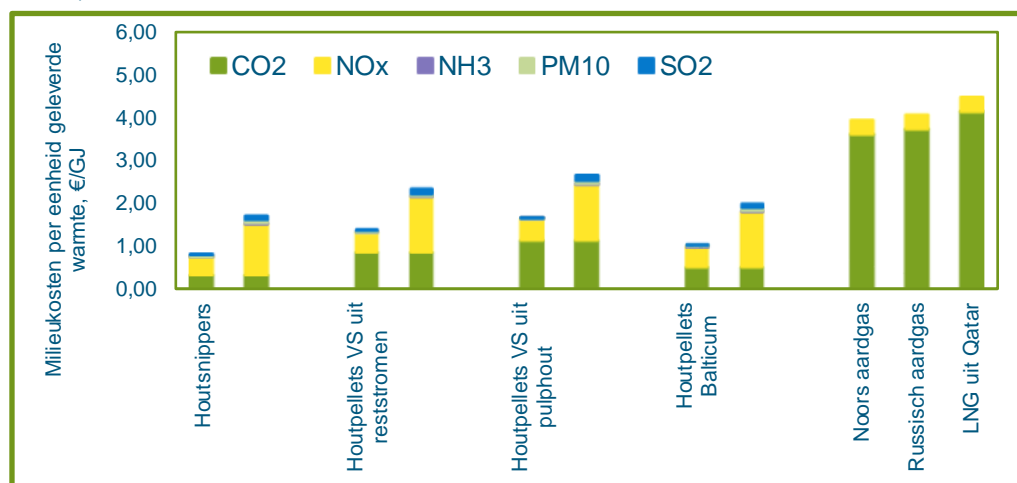
### Weging en vergelijking van broeikasgasemissies en schoorsteenemissies o.b.v. milieukosten

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de broeikasgasemissies over de keten en lokale emissies per eenheid geleverde warmte uit houtige biomassa en uit aardgas zijn beide uitgedrukt in zogenaamde milieukosten<sup>5</sup>. Vergelijking op basis van milieukosten is bijvoorbeeld door de Rijksoverheid gebruikt bij evaluatie van de ISDE-subsidie op houtkachels. Uitgedrukt in milieukosten zijn de baten door reductie van broeikasgasemissies bij warmteproductie op basis van biomassa aanzienlijk groter dan de kosten door de hogere lokale emissies (zie Figuur 2). De opbouw van de milieukosten laat ook zien dat de totale milieukosten vrijwel volledig worden bepaald door de emissies van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>. Los van dit batige saldo in milieukosten is het minimaliseren van de NO<sub>x</sub>-emissies (en andere lokale emissies) nog steeds wenselijk geredeneerd vanuit het Schone Lucht Akkoord en de stikstofproblematiek in Nederland.

<sup>5</sup> Milieuprijzen zijn kengetallen die de maatschappelijke waarde van milieuverving berekenen en uitdrukken in euro's per kilogram vervuulende stof. Milieuprijzen geven daarmee de welvaartsverliezen weer die optreden als er één extra kilogram van de stof in het milieu terecht komt. Voor achtergrondinformatie, zie <https://www.ce.nl/publicaties/1963/handboek-milieuprijzen-2016>



Figuur 2 Milieukosten voor warmteproductie voor huishoudens op basis van biomassa en aardgas (alle waarden in €/GJ geleverde warmte)



### Aanbevelingen

Met oog op maatschappelijk draagvlak en license to operate verdient het de aanbeveling:

- Emissies van toxische en verzurende/vermestende stoffen bij de biowarmtecentrale te minimaliseren, voor zover economisch verantwoordbaar;
- Broeikasgasemissies in de biomassaketens te minimaliseren;
- Het energetisch rendement van warmteproductie en warmtedistributie bij nieuw te ontwikkelen warmtenetten te optimaliseren;
- Beter inzicht te krijgen in de emissies in de voorketen van de alternatieve herkomstregio's voor aardgas uit Nederland; met name bij aardgas uit Rusland zijn daar grote onzekerheden over. Ook in deze ketens dient te worden gestreefd naar minimalisering van broeikasgasemissies

### Beperkingen

De studie focust op de broeikasgasemissies in de ketens van houtige biomassa en aardgas. Andere aspecten van deze vergelijking werden niet in detail beschouwd, zoals de effecten van biomassagebruik op bosbeheer en de leefomgeving in de regio van herkomst, de koolstofbalans en biodiversiteit, en de geopolitieke dimensie van import. De complexiteit van deze onderwerpen en de complexiteit van hun onderlinge samenhang past niet binnen deze beknopte studie. Er is wel een kwalitatieve reflectie gegeven op koolstofschuld in de discussieparagraaf in Hoofdstuk 3.

Wat betreft bosbeheer is aangenomen dat wordt voldaan aan de duurzaamheidseisen gedefinieerd in het 'Besluit Conformiteitsbeoordeling vaste biomassa voor energietoepassingen'. Deze zijn ingesteld ter om te zorgen dat de inzet van biomassa niet leidt tot bijvoorbeeld ontbossing, verschraving van bodems, aantasting van waterkwaliteit en waterbeschikbaarheid of van negatieve invloed op biodiversiteit.

## 1 Inleiding

Houtige biomassa speelt in het overheidsbeleid een belangrijke rol bij de verduurzaming van de warmteproductie in Nederland in zowel de gebouwde omgeving als in de industrie.

Volgens de Klimaat- en Energieverkenning van het Planbureau voor de Leefomgeving<sup>6</sup> neemt de rol van warmtenetten in de gebouwde omgeving toe, en zal een deel van de warmte in deze netten worden opgewekt met duurzame biomassa. PBL verwacht dat de inzet van houtige biomassa voor warmtenetten in de gebouwde omgeving onder invloed van overheidsbeleid zal toenemen van 1,4 petajoule in 2017 naar 11,7 petajoule in 2030<sup>7</sup>. Warmteproductie bij bedrijven in industrie en glastuinbouw op basis van houtige en andere vaste biomassa zal volgens het PBL toenemen van circa 20 PJ/jaar nu tot circa 50 PJ/jaar in 2030.

Houtige biomassa, afkomstig uit binnen- en buitenland, wordt in toenemende mate gebruikt als brandstof voor warmte. Er is maatschappelijke discussie over verschillende aspecten van deze keten. Het is van belang dat de discussie precies gevoerd wordt, met oog voor de verschillende stappen in de keten, verschillende herkomstlanden en diverse issues, waaronder CO<sub>2</sub>-reductie, uitstoot van stikstofverbindingen en van fijnstof. Ook is een goede vergelijking met aardgas als alternatief waardevol, ook gezien vanuit de hele keten en afkomstig uit diverse landen.

Dit onderzoek levert feiten en cijfers, die naar wij hopen de kwaliteit van de maatschappelijke discussie over houtige biomassa kunnen helpen verhogen en de nuance kunnen vergroten<sup>8</sup>.

Op verzoek van de NVDE heeft HaskoningDHV Nederland B.V. een vergelijking uitgevoerd tussen warmteproductie op basis van houtige biomassa en op basis van aardgas. De vergelijking is uitgevoerd voor twee situaties:

- Bij het aardgasvrij maken van woningen middels een warmtenet gevoed met warmte uit een biomassaketel;
- En bij het vervangen van aardgas voor hoge-temperatuur warmteproductie voor industriële processen.

In beide situaties c.q. vergelijkingen is voor de gehele keten - vanaf beheerd bos of gaswinning tot en met warmteproductie – per geproduceerde eenheid warmte een vergelijking gemaakt tussen warmteproductie op basis van biomassabrandstoffen en op basis van aardgas voor:

- De emissies van broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O);
- De emissies van verzurende en vermestende stikstofverbindingen (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>).

Daarnaast is ook een indicatie gegeven voor emissies van fijn stof, een ander belangrijk discussiepunt in het maatschappelijk debat.

<sup>6</sup> <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2019>

<sup>7</sup> zie: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-klimaat-en-energieverkenning-2019-3508.pdf>, paragraaf 4.4, blz. 100

<sup>8</sup> Zie bijvoorbeeld: <https://bestuurlijknieuws.nl/d66-kamerlid-sienot-als-het-echt-niet-anders-kan-is-gas-betere-brandstof-dan-biomassa-biomassa-d66/>.

## 2 Opzet van de uitgevoerde vergelijking

### 2.1 Beschouwde typen warmteketens

Conform de beoogde rol van vaste biomassa zijn in deze studie voor warmteproductie op basis van houtige biomassa zowel productie van warmte voor een warmtenet als productie van warmte voor de industrie beschouwd:

- Productie van warmte voor huishoudens in een biowarmtecentrale en distributie naar huishoudens via een nieuw aan te leggen warmtenet.  
*In deze variant wordt warmteproductie bij individuele huishoudens (ruimteverwarming en tapwater) met een aardgasgestookte HR-combiketel vervangen;*
- Productie van stoom op basis van houtige biomassa voor industriële processen.  
*Stoomproductie op basis van vaste biomassa vervangt stoomproductie op basis van aardgas in een stoomketel.*

De vergelijking 'CV-ketel bij individuele huishoudens' tegenover 'warmtelevering via een nieuw, met biowarmte gevoed warmtenet' sluit ook aan bij de discussie over hoe woningen 'van het gas af' te krijgen. Initiatieven voor aanleg van nieuwe warmtenetten voor levering van biowarmte zijn bijvoorbeeld recentelijk gerealiseerd in Zaanstad en worden bijvoorbeeld ontwikkeld in Amersfoort.

Er is uitgegaan van een biowarmtecentrale of biostoomketel met van 10 – 20 MW ingangsvermogen, zoals ook beschouwd in de SDE+/SDE++.

### 2.2 Beschouwde milieu-ingrepen

Emissies van broeikasgasemissies zijn geschat over de gehele keten – van de productie van de brandstof, via opwerking/bewerking en transport tot warmteproductie en warmtelevering.

Voor verzurende, vermestende en toxische stoffen zijn alleen de emissies bij warmteproductie beschouwd.

Er is in de discussie wel kwalitatief aandacht besteed aan emissies van verzurende, vermestende en toxische stoffen in andere ketenschakels (zie Hoofdstuk 3).

De hele complexiteit rond bosbeheer, productievolumes en ontwikkelingen in staande voorraad, ontwikkelingen in de verschillende markten van verschillende typen producten uit het bos, landgebruik dynamiek en koolstofbalans zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten.

De complexiteit van deze onderwerpen en de complexiteit van hun onderlinge samenhang past niet binnen deze beknopte studie. Er is wel een kwalitatieve reflectie gegeven op koolstofschuld in de discussieparagraaf in Hoofdstuk 3.

## 2.3 Beschouwde typen brandstoffen

Qua houtige biomassa zijn drie varianten beschouwd:

- Houtsnippers (en shreds) uit onderhoud aan bos, landschap en stedelijk groen in Nederland;
- Houtpellets uit pulphout en bijproducten van houtverwerkende bedrijven uit het Zuidoosten van de VS;
- Houtpellets uit pulphout en bijproducten van houtverwerkende bedrijven uit de Baltische Staten.

Voor houtpellets is productie in het Zuidoosten van de VS beschouwd vanwege de grote potentie in die regio voor vergroting van de productie van industriële houtpellets<sup>9</sup>. Productie in de Baltische Staten is beschouwd vanwege de huidige en toekomstige export van houtpellets naar Nederland<sup>10</sup>.

Beide typen biomassa – snippers en pellets - hebben verschillende karakteristieken, zoals de benodigde stappen in de voorketen en de brandstofkwaliteit.

### 2.3.1 Houtsnippers

Productie van houtsnippers in Nederland betreft vooral onderhoud aan openbaar groen en landschap en levert een product met relatief hoog vochtgehalte (35% - 50%) en asgehalte van 1% à 2% voor schone snippers tot 10% voor houtsnippers met aanhangende minerale verontreinigingen (zand, grond)<sup>11</sup>. Vrijkomend snoeisels worden vaak ter plekke versnipperd, waarna de snippers via regionale tussenhandel of rechtstreeks over de weg aan afnemers in Nederland of omliggende landen geleverd en in een roosteroven met nageschakelde rookgasreiniging worden verbrand.

#### Biomassa voor energie in Nederland

Het gebruik van houtsnippers uit Nederlands bos en landschap voor energieproductie bedroeg in Nederland in 2017 / 2018 naar schatting 350 kiloton aan droge snippers (Probos, 2018). Het gebruik aan houtpellets uit Nederland bedroeg een kleine 100 kiloton (CBS, 2019). Houtpellets werden gebruikt in kleinschalige pelletkachels bij bedrijven en particulieren.

Circa 170 kiloton aan Nederlandse pellets en circa 250 kiloton aan houtsnippers (droog) uit Nederlands bos en landschap werden geëxporteerd.

Toename van biomassa voor energie in warmtenetten en bij industrie zal deels zijn gebaseerd op ombuigen van export van houtsnippers naar toepassing in Nederland (Probos, 2018).

Ter vergelijking, particulieren verstoken jaarlijks circa 700 – 900 kiloton (droog) aan hout in open haarden en kachels.

Door de SDE+-subsidies voor meestoken zal import en gebruik aan industriële houtpellets naar verwachting gedurende de looptijd van de subsidies (8 jaar) toenemen van 0 naar circa 2.500 kiloton/jaar.

Met de in het Klimaatakkoord opgenomen plannen voor het vergroten van het areaal aan bos en landschapselementen en het stimuleren van meer vegetatie in stedelijk omgeving<sup>12</sup> kan het aanbod aan houtsnippers in de toekomst toenemen. Daarnaast resulteert meer bos, landschapselementen en stedelijk groen meer koolstofvastlegging, biodiversiteit, waterbergend vermogen en verwijdering van luchtverontreinigende stoffen.

<sup>9</sup> Zie met name de vergelijking tussen verschillende potentiële brongebieden in de 'IWUC-studie' van Pöyry uit 2014. zie website: <https://english.rvo.nl/sites/default/files/2017/07/IWUC-Report-20140728.pdf>,

<sup>10</sup> Zie bijvoorbeeld: <https://www.europoortkringen.nl/baltische-houtpellets-amercentrale/>, [http://www.baltic-course.com/eng2/good\\_for\\_business/?doc=137000&ins\\_print](http://www.baltic-course.com/eng2/good_for_business/?doc=137000&ins_print), <https://www.agro-chemistry.com/news/estonian-woodpellet-producer-switches-to-biochemistry-feedstock/>: Around 30 percent of Granuul Invest's production is sold to Dutch power plants.

<sup>11</sup> Zie: <https://nbkl.nl/sites/nbkl.nl/files/publicaties/Houtchips%20als%20brandstof.pdf>

<sup>12</sup> Zie bijvoorbeeld: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/09/05/kamerbrief-over-groen-in-de-stad>

### 2.3.2 Houtpellets

Houtpellets voor gebruik in industriële ketels<sup>13</sup> - worden geproduceerd in industriële installaties en zijn een certificeerbaar product met garantiewaarden voor wat betreft samenstelling en kwaliteit.

Vanwege de hoge kwaliteitseisen worden gecertificeerde industriële houtpellets gemaakt uit relatief schone houtstromen:

- Bijproducten<sup>14</sup> van industriële houtverwerking (zaagsel, schaafsel en te kleine houtsnippers);
- Zogenaamd pulphout - stamhout van dunnere bomen of het dunnere, bovenste deel van de stam uit semi-natuurlijk bos en/of van naaldhout plantages.

In het Zuidoosten van de VS vormt pulphout uit beheerd bos en van plantages<sup>15</sup> circa 70% van de massa van het totale grondstoffenpalet<sup>16</sup> voor houtpellets, en bijproducten uit de houtverwerkende industrie 30%. Houtpelletproductie in de Baltische Staten is grotendeels geconcentreerd bij één bedrijf – Graanul Invest uit Estland. Bij Graanul is ongeveer 50% van het grondstoffenpalet stamhout van pulphout kwaliteit<sup>17</sup>. De andere helft bestaat uit bijproducten van de houtverwerkende industrie.

Op een beperkt deel van de plantages in de VS worden kunstmest en chemische bestrijdingsmiddelen (of gecontroleerd branden) toegepast om groei te bevorderen en concurrerende vegetatie te onderdrukken. De mate waarin gebruik plaatsvindt hangt af van de vraag naar met name gezaagd hout, de in het bos aanwezige direct oogstbare voorraad en de marktprijs voor stamhout van verschillende kwaliteiten<sup>18</sup>.

**Pulpwood** wordt in de VS gedefinieerd als stamhout met een diameter van circa 10 – 23 cm. Het betreft zowel 'hele bomen' – dunnere bomen - als het dunnere bovenste deel van de stam en komt zowel tijdens dunningen als bij eindkap vrij. Ook stamhout van onvoldoende kwaliteit voor productie van zaaghout (bijvoorbeeld vanwege knoesten en kromming) wordt onder pulpwood gerekend.

Pulpwood wordt gebruikt voor productie van papierpulp, plaatmateriaal (met name OSB), absorptiemateriaal voor bijvoorbeeld luiers en voor een klein deel voor de productie van industriële houtpellets.

Bosbeheer is voornamelijk afgestemd op productie van het meer opleverende zaaghout, maar pulphout draagt meer dan 10% bij aan de totale inkomsten per oppervlak voor de boseigenaar.

Pulpwood is een regulier product van bosbouw en vormt in het Zuidoosten van de VS 1/3 tot meer dan de helft van de totale hoeveelheid geoogst stamhout per hectare.

Bij de pelletfabriek wordt schoon houtig materiaal verhakseld en thermisch gedroogd (met hete lucht), waarna de gedroogde snippers worden verpoederd. Het poeder wordt door een mal geperst, waarna het plastisch geworden hout wordt afgesneden op lengte.

De bij pelletproductie benodigde elektriciteit wordt in de VS ingekocht. In de Baltische Staten wordt de elektriciteit bij een aantal pelletfabrieken geproduceerd in een eigen bio-WKK, die ook warmte levert aan thermisch drogen van houtsnippers en aan warmtenetten voor de omliggende bebouwde omgeving.

De pellets worden geforceerd gekoeld, over de weg naar de exporthaven getransporteerd en per bulkcarrier van Handysize tot Supramax tonnage naar Nederland getransporteerd.

<sup>13</sup> Er zijn ook houtpellets voor huishoudelijk gebruik. De specificatie-eisen voor deze pellets zijn strenger als voor houtpellets voor de industrie.

<sup>14</sup> Bijproducten zijn geen afvalstroom, maar kunnen een hogere marktwaarde hebben als stamhout doordat het materiaal droger is en al verkleind is.

<sup>15</sup> Op plantages wordt één specifieke boomsoort geteeld.

<sup>16</sup> Zie bijvoorbeeld: [http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study\\_final-2017-06.pdf](http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study_final-2017-06.pdf), [https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2019/ja\\_2019\\_brandeis\\_002.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2019/ja_2019_brandeis_002.pdf).

<sup>17</sup> Zie bijvoorbeeld [http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study\\_final-2017-06.pdf](http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study_final-2017-06.pdf) en SBP wood supply base rapporten.

<sup>18</sup> Zie bijvoorbeeld (Albaugh, 2019) voor meer achtergrondinformatie.

In Nederland worden de pellets na tussentransport tussen diepzeehaven en afnemer bij inzet eerst fijngemalen tot stof < 1 mm, waarna het houtstof pneumatisch wordt toegevoerd aan één of meer industriële multi-fuel branders<sup>19</sup> en wordt verbrand.

## 2.4 Aardgas

Productie van aardgas uit de nog in de Nederlandse ondergrond aanwezige aardgasvoorraden zal naar verwachting van EBN en aardgasproducenten in de periode tot 2030 zijn afgenomen tot circa 10 miljard kubieke meter per jaar. De aardgasvraag zal echter volgens PBL (KEV, 2019) in 2030 nog steeds circa 30 miljard kubieke meter per jaar bedragen.

De afname in binnenlandse productie kan naar verwachting maar deels worden opgevangen door vergroting van groen gas productie. Hiermee kan in 2030 waarschijnlijk 10% van de vraag van 30 miljard kubieke meter per jaar worden gedekt, terwijl de binnenlandse productie met 20 miljard kubieke meter per jaar afneemt.

Om de aardgasvraag in Nederland ook in de toekomst te dekken is daarom import nodig.

Voor import zijn drie varianten beschouwd:

- Per pijpleiding aangevoerd aardgas uit Rusland;
- Per pijpleiding aangevoerd aardgas uit Noorwegen;
- Per schip uit Qatar aangevoerde LNG.

Deze drie landen streven volgens geraadpleegde bronnen<sup>20</sup> naar vergroting van de export van aardgas naar de Europese Unie via pijpleidingen of LNG terminals<sup>21</sup>.

## 2.5 Aanpak en methodiek

De vergelijking is uitgevoerd als een LCA of broeikasgasbalans. Er is aangesloten bij de methodiek die voor dit soort berekeningen is voorgeschreven in de Renewable Energy Directive en Besluit conformiteitsbeoordeling vaste biomassa voor energietoepassingen.

Om de spreiding in de broeikasgasemissies voor verschillende typen grondstoffen te illustreren zijn in de analyse voor houtpellets uit het Zuidoosten van de VS twee varianten beschouwd:

- Houtpellets geproduceerd op basis van pulphout uit beheerd bos en van plantages
- houtpellets van resthout (in Biograce II: 'wood pellets/briquettes from industry residues')

Voor houtpellets geproduceerd op basis van pulphout is op basis van oogstgegevens voor het Zuidoosten van de VS<sup>22</sup> uitgegaan van een 1 ÷ 1 mengsel van stamhout uit beheerd bos en stamhout van plantages van Loblolly dennen (wierookdennen). Voor teelt op plantages is uitgegaan van 50% teelt met lage intensiteit (geen kunstmest, bestrijdingsmiddelen) en 50% teelt met gemiddelde intensiteit<sup>23</sup>.

Voor achtergrondgegevens – zoals consumptie van transportbrandstoffen en chemicaliën voor rookgasreiniging – is zoveel als mogelijk gebruik gemaakt van specifieke gegevens uit detailstudies. Aanvullende informatie is ontleend aan de achtergrondgegevens uit Biograce II, het gestandaardiseerde rekenmodel voor het opstellen van broeikasgasbalansen in het kader van de Renewable Energy Directive (RED).

<sup>19</sup> Commercieel beschikbare branders voor houtstof, zoals met name geleverd door WTS, Enviroburners en Petro Bio zijn ontworpen om ook andere brandstoffen te kunnen verbranden om warmte te kunnen produceren wanneer houtstof niet voorhanden is.

<sup>20</sup> Zie bijvoorbeeld: <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/natural-gas/112519-qatar-boosts-lng-expansion-production-target-of-126-million-mt-yr-by-2027>, <https://www.reuters.com/article/us-russia-gazprom-europe/gazprom-grabs-record-share-of-europe-gas-market-despite-challenges-idUSKCN1QF067>, <https://www.hellenicshippingnews.com/norwegian-natural-gas-export-mix-shifts-toward-germany-amid-strong-lng/>.

<sup>21</sup> Ter informatie: de uitzendcapaciteit van de Gate terminal in Rotterdam Maasvlakte II is 12 miljard kubieke meter per jaar en kan worden uitgebreid tot 16 miljard kubieke meter per jaar.

<sup>22</sup> Zie: <https://www.forest2market.com/blog/wood-supply-sources-in-the-us-south>

<sup>23</sup> Zie voor achtergrondgegevens Bijlage 0:

### 3 Vergelijking tussen warmteproductie op basis van biomassa en aardgas

Alle vormen van energie gaan gepaard met een bepaalde mate van keten-emissies. Dat geldt ook voor bijvoorbeeld kolen, wind- en zonne-energie. In deze studie richten we ons specifiek op een aantal biomassa- en aardgasketens.

#### 3.1 Broeikasgasbalans voor warmtelevering aan huishoudens – biowarmtenet versus combiketel

In tabel 2 is de berekening gegeven voor de broeikasgasemissies per eenheid aan eindgebruiker geleverde warmte voor huishoudens.

Ter vergelijking is de referentiewaarde (comparator) uit de Renewable Energy Directive<sup>24</sup> opgenomen.

Tabel 2. Vergelijking voor warmtelevering aan huishoudens (alle waarden in kg CO<sub>2</sub>-eq/GJ warmte) over de gehele keten.

	Houtsnippers uit landschap	Houtpellets VS o.b.v. reststromen (elek inkoop)	Houtpellets VS o.b.v. pulphout (elek inkoop)	Houtpellets Balticum (Bio-WKK)	Noors aardgas	Russisch aardgas	LNG uit Qatar	RED referentie
Broeikasgasemissies per eenheid brandstof, kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ:								
voorketen	2,5	8,9	12,9	4,4	4,4	8,5	15,5	
Inzet	2,3	2,6	2,6	2,6	57,3	55,3	55,3	
	4,8	11,5	15,5	7,1	61,7	63,7	70,8	
Rendement verbranding	108%	101%	101%	101%	97%	97%	97%	
CO <sub>2</sub> -intensiteit <i>geproduceerde</i> warmte, kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ	4,4	11,5	15,5	7,1				80
Rendement distributie	75%	75%	75%	75%	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
CO <sub>2</sub> -intensiteit <i>geleverde</i> warmte, kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ	5,9	15,2	20,4	9,3	63,6	65,7	72,9	

Toelichting: biomassa verbrandingsinstallatie met condensor en absorptiewarmtepomp

Bronnen:

- Rendement biomassaverbranding houtsnippers: ontwerpwaarde BWI Lage Weide
- Rendement houtpellets gestookte ketel: eigen berekeningen
- Rendement HR107-ketel: ACM tariefbesluit 2020<sup>25</sup>
- Rendement warmtedistributie via middentemperatuur warmtenet: Vesta Mais rekenmodel

Het rendement van een CV ketel wordt in de praktijk negatief wordt beïnvloed door frequent start-stop bedrijf ten behoeve van tapwaterproductie en door de vaak hogere retourtemperatuur, waardoor de condensor minder goed werkt en het theoretische rendement van 107% voor ruimteverwarming niet wordt gehaald.

<sup>24</sup> Deze referentiewaarde is gebaseerd op een aardgasgestookte ketel met 90% rendement en op een totale broeikasgasemissie van ongeveer 72 kg CO<sub>2</sub>-eq/GJ.

<sup>25</sup> Zie: <https://www.acm.nl/sites/default/files/documents/2019-12/tarievenbesluit-warmteleveranciers-2020.pdf>, artikel 186

### Warmteproductie op basis van biomassa

De broeikasgas emissiecijfers voor warmteproductie op basis van biomassa zijn berekend met de Biograce II, versie 3 spreadsheet. In de Biograce spreadsheet ingevoerde cijfers zijn deels overgenomen uit diverse LCA's, deels standaardwaarden uit de Renewable Energy Directive.

Bij houtpellets uit de VS op basis van stamhout is als genoemd in paragraaf 2.3.2 een combinatie van pulphout uit seminatuurlijk bos en pulphout van plantages beschouwd.

Voor teelt op plantages is conform de in de Renewable Energy Directive gedefinieerde methodiek voor broeikasgasemissie berekeningen rekening gehouden met N<sub>2</sub>O-emissies uit stikstof-kunstmest, maar ook uit na kap overblijvend strooisel. De N<sub>2</sub>O-emissies en het dieselgebruik bij teelt resulteren in het verschil tussen broeikasgasemissies berekend voor "Houtpellets VS o.b.v. reststromen" en broeikasgasemissies berekend voor "Houtpellets VS o.b.v. pulphout".

Bij houtpelletproductie is als genoemd in paragraaf 2.3.2 voor pelletproductie in de Baltische Staten uitgegaan van gebruik van elektriciteit uit een eigen bio-WKK-installatie en is voor houtpellets uit de VS uitgegaan van elektriciteit inkoop vanaf het openbare net<sup>26</sup>. Dit verschil is mede bepalend voor het verschil tussen broeikasgasemissies berekend voor "Houtpellets Balticum" en broeikasgasemissies berekend voor houtpellets uit de VS.

Broeikasgasemissies bij inzet van biomassa (als brandstof) zijn gerelateerd aan gebruik van chemicaliën in de rookgasreiniging en van elektriciteit voor ventilatoren, het malen van houtpellets en andere randapparatuur.

De broeikasgas emissiecijfers voor warmteproductie op basis van aardgas zijn gebaseerd op recente gezaghebbende Europese studies (zie Bijlage 6). Er is een gemiddelde genomen van de resultaten van deze studies.

Voor met name de aardgasketen voor Russisch aardgas worden uiteenlopende waarden gegeven vanwege onzekerheid over de methaanemissies bij pijpleidingtransport richting Nederland. In de gevoeligheidsanalyse wordt hier nader op ingegaan.

Broeikasgasemissies voor het 'Nederlandse aardgassysteem' hebben vooral betrekking op elektriciteitsgebruik voor N<sub>2</sub>-productie en seizoenopslag.

### Vergelijking

Zoals met de tabel geïllustreerd is de broeikasgasemissie per eenheid geleverde warmte op basis van duurzaam geproduceerde biomassa significant lager dan bij productie met een aardgas gestookte HR-ketel.

Vergeleken met warmteproductie op basis van aardgas bij individuele huishoudens zijn de emissies 90% - 70% lager.

Warmtelevering aan huishoudens via een nieuw warmtenet is daarentegen wel minder energie-efficiënt dan warmteproductie op basis van aardgas vanwege de aangehouden verliezen in het warmtenet.

Het rendement voor warmteproductie kan door grootschaliger vermogen en gelijkmatiger bedrijfsvoering en door combinatie met warmtepomp hoger zijn dan bij warmteproductie met een kleinschalige CV-ketel voor een individueel huishouden. Dit voordeel wordt bij warmtelevering via een warmtenet genivelleerd door warmteverliezen in het warmtenet.

<sup>26</sup> Voor de CO<sub>2</sub> emissies van elektriciteit in de VS is gebruik gemaakt van de meeste recente cijfers van het Amerikaanse Energy Information Administration.



De broeikasgasemissie per eenheid warmte is bij gebruik van biomassa vooral lager door het uitsparen van de CO<sub>2</sub> die bij gebruik van aardgas zou zijn geëmitteerd. Emissies in de voorketen van beide brandstoffen zijn feitelijk van dezelfde orde van grootte. Vooral bij geïmporteerd gas uit Rusland is het mogelijk dat de ketenemissies aanzienlijk hoger zijn dan die van biomassaketens, zie de gevoeligheidsanalyse.

Bij biomassa hebben de aard van de brandstof (snipper of pellet), geografische herkomst en productiewijze invloed op de uiteindelijke broeikasgasemissie per eenheid brandstof en per eenheid geleverde warmte<sup>27</sup>.

### 3.2 Broeikasgasbalans voor productie van industriële warmte

In Tabel 3 is de berekening van de broeikasgasemissies per eenheid industriële warmte gegeven. Ter vergelijking is de referentiewaarde (comparator) uit de Renewable Energy Directive gegeven.

Tabel 3. Berekening broeikasgasemissies per eenheid aan eindgebruiker geleverde warmte voor industriële bedrijven (alle waarden in kg CO<sub>2</sub>-eq/GJ warmte)

	Houtsnippers	Houtpellets VS uit reststromen	Houtpellets VS uit geteelde biomassa	Houtpellets Balticum	Noors aardgas	Russisch aardgas	LNG uit Qatar	Nederlandse aardgasketen	RED referentie
Broeikasgasemissies per eenheid brandstof, kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ:									
• Voorketen	2,5	8,9	12,9	4,4	4,4	8,5	15,5		
• Inzet	2,3	2,6	2,6	2,6	57,3	55,3	55,3		
	4,8	11,5	15,5	7,1	61,7	63,7	70,8	57,2	
Rendement	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	
CO <sub>2</sub> -intensiteit geleverde stoom, kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ	5,3	12,8	17,2	7,8	68,5	70,8	78,6	63,6	80

Bronnen:

- Rendement biomassaverbranding houtsnippers, houtpellets: SDE<sup>+</sup>/SDE<sup>++</sup>;
- Rendement stoomproductie op basis van aardgas: SDE<sup>++</sup>.

De vergelijking geeft eenzelfde beeld als bij warmteproductie voor huishoudens. Conform de uitgangspunten in de berekening van de onrendabele top voor warmteproductie op basis van biomassa in de SDE<sup>+</sup>/SDE<sup>++</sup> is het rendement voor beide typen brandstoffen vergelijkbaar verondersteld.

<sup>27</sup> In het algemeen is er in elke energieketen sprake van milieubelasting, ook bij zon-PV of windvermogen – bijvoorbeeld in de vorm van ruimtebeslag en de effecten daarvan op bijvoorbeeld biodiversiteit..

### 3.3 Emissies van verzurende stoffen en van fijn stof

Er is behalve voor broeikasgasemissies over de keten ook een vergelijking gemaakt tussen emissies van verzurende, vermistende en toxische stoffen bij warmteproductie. De aangehouden emissies per eenheid brandstof en per eenheid rookgas zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Aangehouden emissies per eenheid brandstof (g/GJ) en per eenheid rookgas (mg/Nm<sup>3</sup>) voor de hout- en gasgestookte ketels in de gebouwde omgeving en de industrie.

	Gebouwde omgeving		Industrie	
	Houtgestookte warmtecentrale + warmtenet	Aardgas HR107-ketel	Houtgestookte stoomketel	Aardgasgestookte stoomketel
NO <sub>x</sub> :	10 – 28 g/GJ (30 - 80 mg/Nm <sup>3</sup> )	9 – 12 g/GJ (30 – 40 mg/Nm <sup>3</sup> )	10 – 28 g/GJ (30 - 80 mg/Nm <sup>3</sup> )	11 – 16 g/GJ (34 – 48 mg/Nm <sup>3</sup> )
NH <sub>3</sub> :	0,2 – 0,7 g/GJ (0,5 - 2mg/Nm <sup>3</sup> )		0,2 – 0,7 g/GJ (0,5 - 2mg/Nm <sup>3</sup> )	
PM <sub>10</sub> :	0,2 – 1,0 g/GJ (0,5 – 3 mg/Nm <sup>3</sup> )		0,2 – 1,0 g/GJ (0,5 – 3 mg/Nm <sup>3</sup> )	
SO <sub>2</sub> :	0,7 –3,5 g/GJ (2 - 10 mg/Nm <sup>3</sup> )		0,7 –3,5 g/GJ (2 - 10 mg/Nm <sup>3</sup> )	

De overeenkomstige restconcentraties in de rookgassen zijn tussen haken gegeven,

- voor houtige biomassa in mg/Nm<sup>3</sup> bij 6 vol% O<sub>2</sub> (droog rookgas), voor aardgas in mg/Nm<sup>3</sup> bij 3 vol% O<sub>2</sub> (droog rookgas).
- Emissies biomassa gestookte ketels: o.a. emissie-eisen Amersfoort, Zaanstad, metingen Eindhoven Meerhoven, praktijkwaarden Peka Kroef en BioWarmteCentrale de Purmer.

In het algemeen zullen de restconcentraties van milieuverontreinigende stoffen in de rookgassen onder de vergunde waarden worden gehouden. Overschrijding door bijvoorbeeld fluctuaties in brandstofsamenstelling mogen onder de wetgeving met minimale frequentie optreden. Bij overschrijding kunnen door de vergunningverlener boetes worden opgelegd of kan sluiting volgen.

Aan de andere kant vergen lagere restconcentraties hogere investeringen en/of operationele kosten. In de praktijk moeten daarom afwegingen gemaakt worden tussen kosten en de wens of noodzaak om restconcentraties (beduidend) lager dan de grenswaarden te houden.

De NO<sub>x</sub> emissies per geleverde GJ warmte voor de gebouwde omgeving zijn bij nieuwe biomassa-installaties in het beste geval vergelijkbaar met tot die van aardgasgestookte ketels, tot bijna een factor vier hoger (zie Tabel 5).

Tabel 5. Overzicht emissies (g/GJ warmte) voor warmtelevering aan huishoudens

	Houtsnipper	Houtpellets VS uit reststromen	Houtpellets VS uit pulphout	Houtpellets Balticum	Noors aardgas, nieuwe HR-ketel	Russisch aardgas, nieuwe HR-ketel	LNG uit Qatar, nieuwe HR-ketel
Emissies, g/GJ warmte							
CO <sub>2</sub>	5.903	15.158	20.448	9.314	63.564	65.711	72.939
NO <sub>x</sub> <sup>28</sup>							
- van	13	14	14	14	9	9	9
- tot	34	37	37	37	12	12	12
NH <sub>3</sub>							
- van	0,22	0,23	0,23	0,23			
- tot	0,86	0,92	0,92	0,92			
PM <sub>10</sub>							
- van	0,22	0,23	0,23	0,23			
- tot	1,29	1,38	1,38	1,38			
SO <sub>2</sub>							
- van	0,86	0,92	0,92	0,92			
- tot	4,31	4,61	4,61	4,61			

Bronnen: NO<sub>x</sub>-emissies aardgas: TNO, 2014

<sup>28</sup> Ter vergelijking, de gemiddelde NO<sub>x</sub>-emissiefactor voor ruimteverwarming en tapwaterproductie in Nederland bedroeg in 2015 - 2017 circa 15 g/GJ aardgas. De norm voor nieuwe aardgasketels bedraagt 20 g/GJ.

Bij levering in de industrie varieert dit tussen een kwart lager en bijna een factor drie hoger (zie Tabel 6). Emissies van fijn stof (PM<sub>10</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) en SO<sub>2</sub> treden bij verbranding van aardgas niet of - in geval van SO<sub>2</sub>: nauwelijks – op en zijn daarom per definitie altijd hoger bij gebruik van biomassa.

Tabel 6 Overzicht emissies (g/GJ warmte) voor levering van industriële stoom

	Houtsnippers	Houtpellets VS uit reststromen	Houtpellets VS uit pulp hout	Houtpellets Balticum	Noors aardgas, nieuwe HR-ketel	Russisch aardgas, nieuwe HR-ketel	LNG uit Qatar, nieuwe HR-ketel
Emissies, g/GJ warmte							
CO <sub>2</sub>	5.313	12.758	17.211	7.839	68.508	70.822	78.612
NO <sub>x</sub> <sup>29</sup>							
- van	12	12	12	12	11	11	11
- tot	31	31	31	31	16	16	16
NH <sub>3</sub>							
- van	0,2	0,2	0,2	0,2			
- tot	0,8	0,8	0,8	0,8			
PM <sub>10</sub>							
- van	0,2	0,2	0,2	0,2			
- tot	1,2	1,2	1,2	1,2			
SO <sub>2</sub>							
- van	0,8	0,8	0,8	0,8			
- tot	3,9	3,9	3,9	3,9			

■ NO<sub>x</sub>-emissies aardgas: TNO, 2014 en ECN, 2013

### Vergelijking tussen broeikasgasemissies en andere emissies

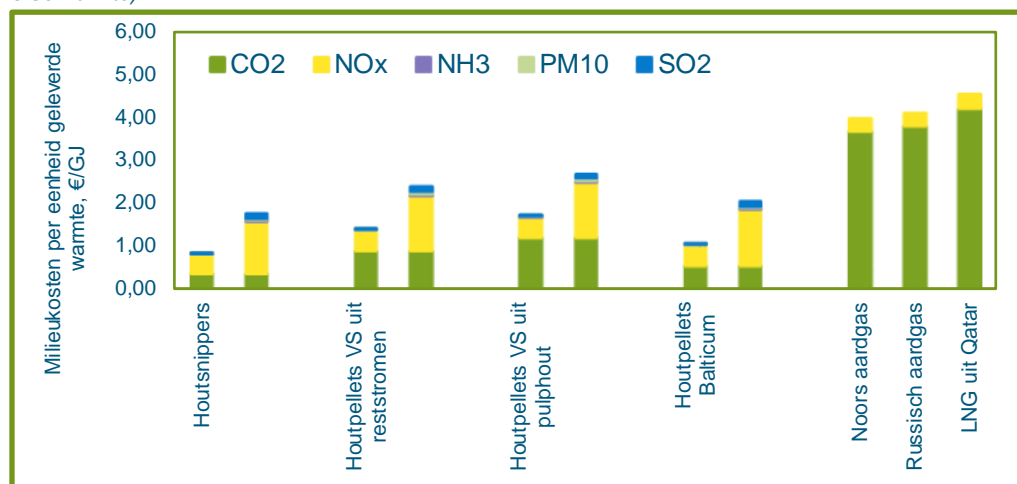
Om een vergelijking te kunnen maken tussen de broeikasgasemissies over de keten en lokale emissies per eenheid geleverde warmte uit houtige biomassa en uit aardgas zijn beide uitgedrukt in zogenaamde milieukosten (zie Figuur 3)<sup>30</sup>. Vergelijking op basis van milieukosten is bijvoorbeeld door de Rijksoverheid gebruikt bij evaluatie van de ISDE-subsidie op houtkachels.

Zoals uit Figuur 3 blijkt worden de milieukosten van de toename in emissies van NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> bij warmteproductie op basis van biomassa ruimschoots gecompenseerd door reductie van broeikasgasemissies).

<sup>29</sup> Ter vergelijking, de gemiddelde NO<sub>x</sub>-emissiefactor voor ruimteverwarming en tapwaterproductie in Nederland bedroeg in 2015 - 2017 circa 15 g/GJ aardgas. De norm voor nieuwe aardgasketels bedraagt 20 g/GJ.

<sup>30</sup> Voor achtergrondinformatie, zie <https://www.ce.nl/publicaties/1963/handboek-milieuprijzen-2016>

Figuur 3 Berekening milieukosten voor warmteproductie voor huishoudens op basis van biomassa en aardgas (alle waarden in €/GJ warmte)



Voor industrie is de balans in milieukosten nog iets sterker ten gunste van de biomassa-ketens.

### 3.4 Gevoeligheidsanalyse voor gegeneerde schattingen

Parameters met een belangrijke invloed op de geschatte broeikasgasemissies over de ketens voor warmteproductie zijn met name:

- Het thermisch rendement voor warmteproductie en warmtedistributie bij levering van biowarmte aan bebouwde omgeving via een warmtenet;
- Onzekerheid in methaanemissies bij productie van aardgas en LNG in Rusland en Qatar.

De totale milieukosten worden verder ook in belangrijke mate beïnvloed door de hoogte van de emissies van met name NO<sub>x</sub>, zoals geïllustreerd door Figuur 3.

#### Wel of geen geoptimaliseerde thermische rendementen bij warmte voor bebouwde omgeving

In de vergelijking tussen warmteproductie voor bebouwde omgeving op basis van aardgas en op basis van houtsnippers of industriële pellets is uitgegaan van een vrijwel geoptimaliseerd thermisch rendement voor warmteproductie op basis van houtige biomassa en een vrij conservatief rendement voor warmtedistributie via een nieuw aan te leggen middentemperatuur warmtenet (70 – 80 °C aanvoertemperatuur).

Door de combinatie van beide rendementen wordt een totaal rendement geschat dat vrijwel gelijk is aan het gemiddelde rendement voor HR-combiketels bij individuele huishoudens.

In de praktijk komt toepassing van een warmtepomp in Nederland nog nauwelijks voor<sup>31</sup> en wordt bij een beperkt aantal nieuwe installaties of geplande installaties alleen een condensor toegepast. Bij gerealiseerde thermische rendementen bedraagt bij toepassing van een condensor bij verstoken van natte houtsnippers (circa 45% vocht) ongeveer 100% - 104%.

Toepassing van enkel een condensor heeft bij industriële houtpellets (5% - 10% vocht) geen toegevoegde waarde. Het hoogste rendement voor een met houtpellets gestookte biowarmteketeel (overigens een roosteroven) gevonden in de geraadpleegde bronnen bedraagt 96%. Voor installaties vergelijkbaar met de in Diemen geplande biowarmtecentrale worden rendementen van 92% - 93% genoemd.

Ook het rendement van warmtedistributie kan sterk afwijken van de in deze vergelijking aangehouden waarde. Warmteverliezen kunnen zowel significant hoger zijn (35%) als lager zijn (10% - 15%). Het praktische rendement is afhankelijk van de energiedichtheid van de warmtevraag – veel of weinig utiliteit,

<sup>31</sup> Het concept van absorptie warmtepomp met condensor is overigens niet nieuw. Voorbeelden uit het buitenland zoals zijn 10 – 15 jaar geleden gerealiseerd.

binnenstad of buitenwijk – maar ook van het ontwerp van het net. Warmteverliezen in het in Ede aangelegde warmtenet schijnen beperkt te zijn tot genoemde 10% - 15% doordat toevoeringen in een omhullende buis zijn gelegd.

Het totale rendement voor warmtelevering aan individuele gebouwen (woonhuizen en utiliteitsgebouwen) kan al met al 15% hoger of lager zijn dan in deze studie aangehouden.

De resulterende broeikasgasemissie per eenheid geleverde warmte is bij minimaal warmteverlies in het warmtenet circa 10% lager, bij hogere warmteverliezen en lager rendement voor warmteproductie circa 25% hoger als bij de beschouwde situatie.

Tabel 7 Vergelijking broeikasgasemissies per eenheid geleverde warmte voor verschillende thermische rendementen biowarmtecentrale en warmtenet (alle waarden in kg CO<sub>2</sub>-eq/GJ geleverde warmte)

	Houtsnippers			Houtpellets, voorbeeld: pellets uit Balticum		
	Maximale rendementen	Minimale rendementen	beschouwd	Maximale rendementen	Minimale rendementen	beschouwd
Broeikasgasemissie per eenheid brandstof (kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ)	4,8			7,1		
Thermisch rendement biowarmtecentrale	108%	101%	108%	101%	92%	101%
rendement warmtenet	85%	65%	75%	85%	65%	75%
Totaal rendement warmtelevering	92%	66%		86%	60%	
Broeikasgasemissie per eenheid geleverde warmte (kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ)	5,3	7,3	6,0	8,2	11,8	9,3

### Onzekerheid in de ketenemissies voor aardgas

Methaanemissies in de aardgasketen worden geschat aan de hand van emissiefactoren. Onbekend is hoe hoog de emissies werkelijk zijn.

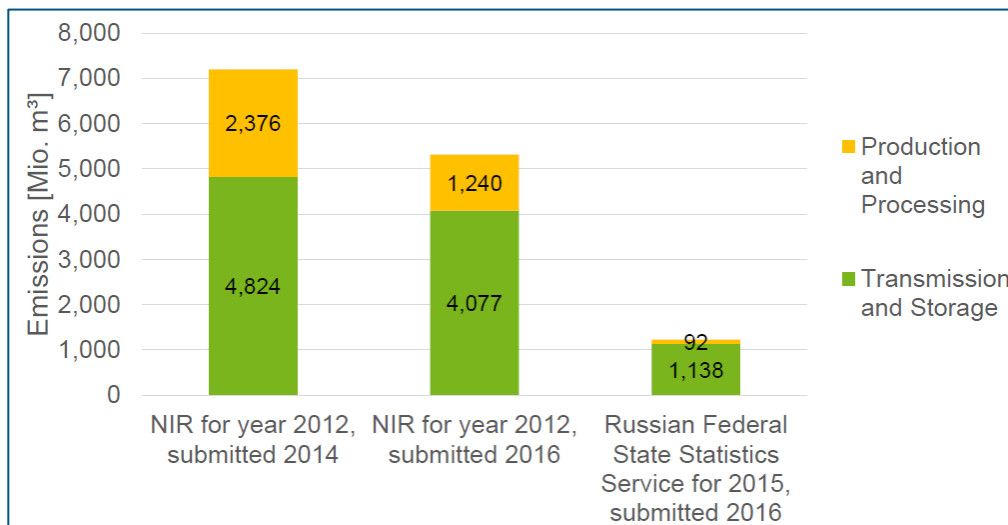
Figuur 4 geeft een indruk van de onzekerheden in de methaanemissies voor Russisch aardgas.

In de aan de UNFCCC gerapporteerde NIR (national inventory report) uit 2014 zijn door de Russische overheid standaard emissiefactoren gebruikt die representatief zijn voor ontwikkelingslanden. In het in 2016 ingediende nationale inventarisatie rapport zijn deze factoren aangepast.

Maar nog steeds is er een significant verschil tussen de in de NIR gebruikte emissiefactoren en de emissiefactoren die door het Federale Russische Bureau voor de Statistiek worden gehanteerd.

Het verschil in gehanteerde emissiefactoren geeft een verschil in broeikasgasemissies per eenheid aardgas van  $(32 - 8) = 24$  kg CO<sub>2</sub>-eq/GJ. Dit komt overeen met 40% van de totale emissie per eenheid verbrand Russisch aardgas.

Figuur 4. vergelijking van in verschillende officiële Russische overheidspublicaties opgevoerde cijfers voor methaanemissies



Bron: DBI, 2016

In deze analyse zijn schattingen gehanteerd vergelijkbaar met de laagste schattingen in Figuur 4.

In de meest recente studies naar broeikasgasemissies in de keten van Russisch aardgas en aardgas uit andere landen wordt uitgegaan van de emissies zoals gerapporteerd door het Federale Russische Bureau voor de Statistiek of door Gazprom zelf.

Tegelijkertijd wordt geconstateerd dat landen als Rusland, maar ook Qatar weinig openheid geven over methaanemissies bij winning, opwerking en transport van aardgas<sup>32</sup>.

Samenvattend zou kunnen worden geconcludeerd dat:

- De broeikasgasemissies bij winning, opwerking en transport van aardgas uit Rusland en Qatar significant zijn, maar ook onduidelijk zijn;
- Warmteproductie op basis van houtige biomassa mogelijk significant grotere reducties van broeikasgasemissies geeft ten opzichte van warmteproductie op basis van aardgas uit deze landen als in deze studie ingeschat.

### Involed van de hoogte van NO<sub>x</sub>-emissies op de totale milieukosten

Voor emissies van NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> en SO<sub>2</sub> is gebruik gemaakt van meetwaarden en garantiewaarden voor in ontwikkeling zijnde of in de afgelopen 5 jaren ontwikkelde biowarmtecentrales in Nederland (zie Tabel 8). De aangehouden emissiewaarden weerspiegelen de actuele stand der techniek op gebied van rookgasreiniging, maar ook de ontwikkelingen in vergunningverlening en de steeds strengere emissie-eisen die in vergunningen worden opgenomen<sup>33</sup>.

Emissies van PM<sub>10</sub>, NH<sub>3</sub> en SO<sub>2</sub> zijn in principe goed te reduceren en zullen (of kunnen) ook bij oudere installaties binnen de aangehouden bereiken liggen of worden gebracht. Emissies van NO<sub>x</sub> zijn moeilijker te bestrijden en kunnen bij kleinere en al langer bestaande installaties (tot 50 MW) hoger zijn dan de bovenwaarde van het aangehouden bereik van restconcentraties – tot 80% à 90% van de emissiegrenswaarde. Daarom is in deze gevoeligheidsanalyse ook een berekening gemaakt van de milieuschadetekosten wanneer de emissiegrenswaarde wordt aangehouden. Dat is bij biomassa alleen gedaan voor de ketel op houtsnippers, waar diverse bestaande systemen van staan in Nederland.

<sup>32</sup> Zie: <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/interview/us-scientist-methane-leakage-reports-have-an-inherent-low-bias/>

<sup>33</sup> De ondergrens van het bereik komt overeen met emissiewaarden van installaties waar bijvoorbeeld innovatieve technieken als de (in Zaanstad toegepaste) Terraosave installatie – een condensor en wasser in één – worden gebruikt.

Bestaande ketels op houtpellets voor stadswarmte bestaan niet in Nederland en zijn daarom hier niet doorgerekend.

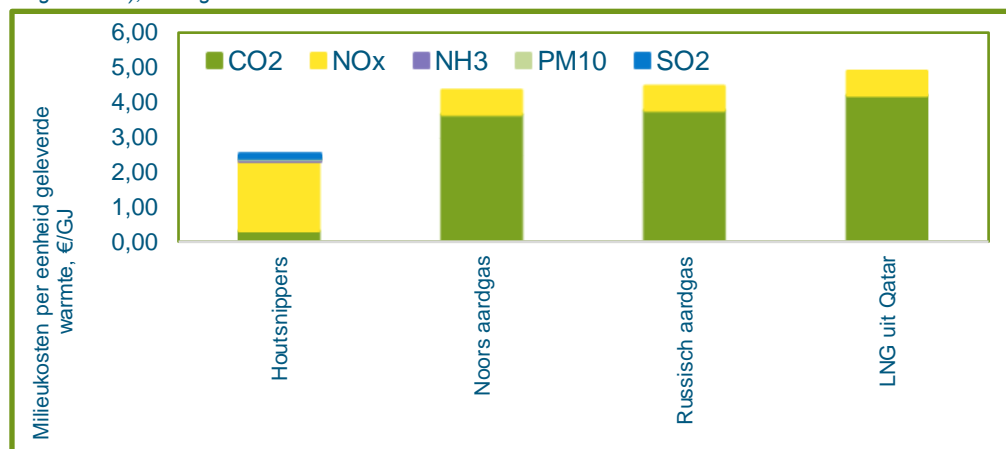
Tabel 8 In deze studie aangehouden restconcentraties en in vergunningen en wetgeving vastgelegde normwaarden (waarden in mg/Nm<sup>3</sup> bij normcondities)

	Aangehouden bereik:	Recent afgegeven vergunningen voor installaties > 50 MW	Activiteiten-besluit: biomassa-centrale > 50 MW	Activiteiten-besluit: biomassa-centrale 5 - 50 MW
• NO <sub>x</sub>	30 – 80	80 - 100	100	145
• NH <sub>3</sub>	< 1 - 2	4	5	5
• PM <sub>10</sub>	0,5 – 3	4,5 - 5	5	5
• SO <sub>2</sub>	2 – 10	30 - 50	60	200

Bronnen: zie Bijlage A5<sup>34</sup>

Hogere restconcentraties voor NO<sub>x</sub> leiden echter niet tot een significant andere uitkomst van de vergelijking in milieukosten tussen warmte geproduceerd op basis van houtige biomassa en warmte geproduceerd op basis van aardgas (zie Figuur 5):

Figuur 5 Berekening milieukosten per eenheid aan huishoudens geleverde warmte wanneer de NO<sub>x</sub>-emissiegrenswaarde uit het Activiteitenbesluit worden aangehouden (145 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% zuurstof voor de biomassa-eenheden, 70 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% zuurstof voor de gasketels), €/GJ geleverde warmte



Los van dit batige saldo in milieukosten is het minimaliseren van de NO<sub>x</sub>-emissies (en andere lokale emissies) sowieso wenselijk geredeneerd vanuit het Schone Lucht Akkoord en de stikstofproblematiek in Nederland.

<sup>34</sup> Genoemde emissieconcentraties zijn gebaseerd op vergunningen, garantiewaarden en verwachtingswaarden voor biomassa-centrales in Amersfoort, Nijmegen en Zaanstad, meetwaarden bij Peka Kroef en Meerhoven.



### Conclusies uit gevoeligheidsanalyse

De in voorgaande subparagrafen uitgevoerde globale gevoeligheidsanalyse illustreert dat:

- Het rendement voor warmtedistributie bij levering van op basis van biomassa geproduceerde warmte aan huishoudens significante invloed heeft op de broeikasgasemissies per eenheid geleverde warmte;
- Onzekerheid in de broeikasgasemissies per eenheid aardgas mogelijk zeer groot is;
- De totale milieukosten per eenheid warmte ook significant lager zijn wanneer de NO<sub>x</sub>-emissie 80% - 90% van de emissie grenswaarde bedraagt.

## 3.5 Discussie en breder kader

In deze globale vergelijking van vooral technische aspecten zijn een groot aantal bredere aspecten niet meegenomen. Enkele daarvan worden hieronder kwalitatief behandeld.

### Emissies in de keten

Niet alleen bij de warmteproductie zelf, maar ook bij winning, opwerking en transport van aardgas en bij oogst, bewerking en transport van houtige biomassa treden emissie van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof op

De emissies in de keten kunnen bij onvoldoende reductiemaatregelen significant zijn, niet alleen bij houtpellets-productie, maar ook in de aardgasketen:

- Volgens milieuorganisaties in de VS wordt bij productie van industriële houtpellets voor export enkele duizenden tonnen per jaar aan NO<sub>x</sub> en fijn stof geëmitteerd<sup>35</sup>. Er zou volgens de auteurs van het rapport bij meer dan de helft van de houtpelletfabrieken niet worden voldaan aan de federale Clean Air Act. Recent heeft de overheid ingegrepen bij één pelletfabriek in Louisiana.<sup>36</sup>;
- Bij aardgasopwerking in Qatar is in 2017 en 2018 220 – 270 kton/jaar aan SO<sub>2</sub> geëmitteerd door langdurige uitval van de zwavel verwijderingsinstallatie;
- NO<sub>x</sub>-emissies bij winning, opwerking en pijpleiding transport van aardgas in Rusland en Noorwegen bedragen circa 150 g/GJ brandstof en bedragen circa 10 maal de wettelijke grenswaarde in het Activiteitenbesluit/BEMS van 50 mg/Nm<sup>3</sup> (3 vol% O<sub>2</sub>).

Hoewel niet direct relevant voor de Nederlandse wetgeving en voor de belasting van het milieu in Nederland geeft dit wel een indicatie van de mogelijke of huidige omvang van de milieubelasting in de voorketens.

Vanuit het perspectief van duurzaamheid verdient het de voorkeur dat deze emissies zijn geminimaliseerd.

### Snoeihout beschikbaarheid

Houtsnippers uit onderhoud aan bos, landschap en bebouwde omgeving hebben de laagste ketenemissie qua broeikasgassen. De mobiliseerbare hoeveelheid is echter beperkt tot circa 350 kton d.s./jaar (Probos, 2018). Hiervan wordt in de praktijk nog zo'n 40% geëxporteerd naar met name Duitsland vanwege hogere subsidies en vanwege gebrek aan verwerkingscapaciteit in Nederland, maar dit zal naar verwachting afnemen naar nul doordat er nieuwe biowarmte-installaties in Nederland zijn gepland of worden gebouwd.

De beschikbare hoeveelheid snoeihout zou kunnen worden vergroot door aanleg van landschapselementen en additioneel bos. Kwalitatieve doelstellingen hiervoor zijn opgenomen in het landbouwhoofdstuk in het Klimaatakkoord:

Het vergroten van het aanbod aan snoeihout in Nederland zou aansluiten bij de afspraak in het Klimaatakkoord om de beschikbaarheid van biomassa te verdubbelen. Het zou ook andere voordelen kunnen bieden, zoals hieronder geschetst.

<sup>35</sup> Zie: <https://www.environmentalintegrity.org/news/biomass-report/>

<sup>36</sup> Zie: <https://www.sierraclub.org/louisiana/blog/2019/02/after-sierra-club-other-groups-file-comments-louisiana-orders-wood-pellet>

Aanleg van additioneel bos en landschapselementen zou ook winst opleveren qua biodiversiteit, koolstofvastlegging in vegetatie en bodem en qua mogelijkheden voor meer natuurinclusieve landbouw. Aanleg kan in principe onder het Gemeenschappelijke Landbouwbeleid worden gesubsidieerd.

### **Bosbeheer en koolstofschild**

In de discussie tussen voorstanders en tegenstanders van gebruik van houtige biomassa als brandstof wordt door tegenstanders onder andere als argument aangevoerd dat bij gebruik van hout als brandstof het tientallen jaren zou duren voordat de door verbranding vrijkomende koolstof weer zou zijn vastgelegd – de zogenaamde koolstofschild volgens de door S.W. Mitchell ontwikkelde theorie.

Bij dit argument zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen:

- In de koolstofschild theorie wordt uitgegaan van een scenario of benadering waarin bos gekapt wordt voor gebruik van het geveld hout brandstof. Dit komt niet overeen met de praktijk waar bossen primair worden gekapt voor het hoogwaardigere zaaghout en enkel een deel van de dunnere delen van de boom, die niet naar een zagerij kunnen, worden gebruikt voor energie. In het klimaatakkoord zijn juist afspraken gemaakt om meer te bouwen met hout, waardoor aannames over het volledig stoppen van oogsten van hout niet realistisch lijken;
- In de eerste plaats is de koolstofschild bij gebruik van houtig materiaal uit landschapsonderhoud volgens de ‘klassieke’ theorie van S.R. Mitchell<sup>37</sup> in de regel sowieso beperkt tot enkele jaren en niet enkele decennia<sup>38</sup>;
- Daarnaast leidt een toenemende vraag naar hout als grondstof of brandstof in landen als Zweden, Finland en de VS tot intensiever beheer om groei te stimuleren, bijvoorbeeld door een hoger gebruik van kunstmest. Als gevolg hiervan groeit het bos sneller terug en is de eventuele koolstofschild beperkt;
- Landen als Zweden en de Verenigde Staten hebben laten zien dat een toename in de productie van houtproducten (inclusief biomassa voor energie) gepaard gaat met een toename in de koolstofvoorraden in bossen. Het blijkt in praktijk dus mogelijk om zowel duurzaam gebruikt te maken van bossen als de koolstofvoorraden in deze bossen te behouden of zelfs vergroten.

Meer algemeen gezien is het concept van koolstofschild zoals ontwikkeld door Mitchell nogal theoretisch en zal de als referentie beschouwde situatie in de praktijk bij een beheerd bos en plantage naar verwachting niet voorkomen (zie ook tekstvak “koolstofschild”).

<sup>37</sup> Zie: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1757-1707.2012.01173.x>

<sup>38</sup> Zie bijvoorbeeld: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-greenhousegas-impact-of-bioenergy-pathways-1907.pdf>, Figure 4.3 Ranges of carbon payback times for wood used in power generation.

### Koolstofschuld

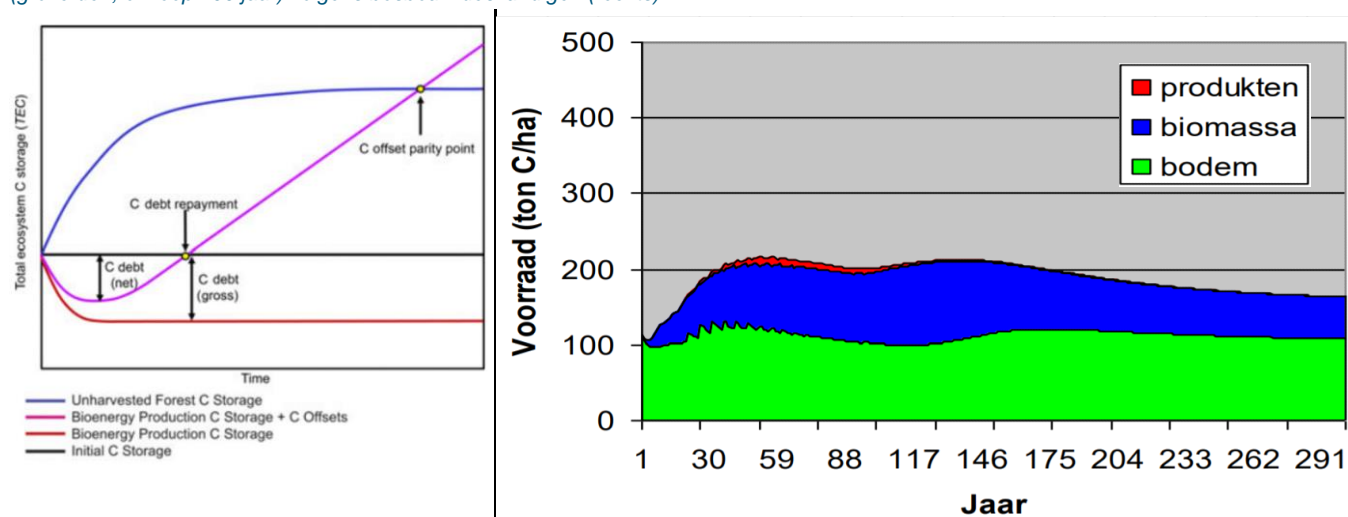
In de 'klassieke' benadering wordt oogst van houtige biomassa voor gebruik als brandstof vergeleken met een situatie waarin bos uit beheer wordt genomen. Het bos zou in deze referentie na uit beheer te zijn genomen doorgroeien en na verloop van tijd een climax vegetatie met maximale hoeveelheid vastgelegde koolstof per oppervlak bereiken.

Het is echter de vraag of die geschetste climax situatie wordt bereikt in beheerd bos. Dit is zeker de vraag bij plantages met een monotone opbouw naar leeftijd en een relatief grote dichtheid aan bomen/individuen per oppervlak. Het is waarschijnlijker dat na verloop van tijd zelfdunning optreedt door concurrentie tussen individuele bomen.

Daarnaast is het waarschijnlijk dat de hoeveelheid vastgelegde koolstof bij het uit productie halen van het bos na initiële toename door doorgroei in tweede instantie sowieso weer afneemt door (zie Schelhaas, 2018):

- Het zwakker worden van de bomen door veroudering, waardoor in toenemende mate schade door storm, ziekte en brand optreedt;
- Het uiteindelijk afsterven van de resterende bomen.

Figuur 6 Klassieke theorie van koolstofschuld (links) en een voorbeeld van de ontwikkeling van een uit beheer genomen Nederlands bos (grove den, omloop 100 jaar) volgens bosbouw deskundigen (rechts)



Voorbeeld uit beheer genomen bos betreft grove den in Nederland, boniteit – teeltgerelateerde grootte - niet gespecificeerd.  
Bronnen: zie (Schelhaas, 2018).

Het bos zal zich in dit proces in toenemende mate ontwikkelen tot een gevarieerder en natuurlijker geheel, qua leeftijdsopbouw en mogelijk ook qua soorten. De per hectare vastgelegde hoeveelheid koolstof zal een bepaald evenwicht bereiken dat echter naar verwachting lager ligt als in de climax situatie van beheerd bos – bijvoorbeeld omdat het bos gedeeltelijk uit jonge aanwas bestaat.

### Biowarmtecentrale en andere hernieuwbare energiebronnen

Warmteproductie op basis van biomassa kan zowel voor huishoudens als industriële processen in een later stadium worden gecombineerd met of worden vervangen door een aantal van deze alternatieve duurzame productietechnieken:

- Aan een biowarmtecentrale gekoppelde warmtenetten kunnen worden gevoed met restwarmte<sup>39</sup>, warmte uit geothermie<sup>40</sup> of warmte geproduceerd met een warmtepomp (bijvoorbeeld warmtepomp RWZI-Utrecht);
- Een met houtige biomassa ondervuurde stoomketel kan in principe ook worden ondervuurd met waterstof of groen gas;
- Biomassa kan ook worden gebruikt voor aandrijving van een absorptiewarmtepomp waarmee relatief lage temperatuur warmte uit geothermische bronnen of restwarmte van bijvoorbeeld datacenters op

<sup>39</sup> Voorbeelden van restwarmte zijn de levering van warmte van Shell aan het warmtenet in Rotterdam en levering vanuit Chemelot aan Het Groene Net in Sittard-Geleen. zie:

<https://expertisecentrumwarmte.nl/kennis/factsheets/techniekfactsheets+energiebronnen/restwarmte/default.aspx>

<sup>40</sup> Meer dan een dozijn projecten in de glastuinbouw in Westland, B-driehoek, Noord-Holland en Overijssel, zie: <https://www.geothermie.nl/index.php/nl/geothermie-aardwarmte/geothermie-in-nederland/projectoverzicht>

een voldoende hoge temperatuur kan worden gebracht voor inzet in middentemperatuur en hoge temperatuur warmtenetten<sup>41</sup>.

Biomassa kan anders gezegd een opstap zijn om de warmtevraag in bebouwde omgeving en industrie te verduurzamen.

#### **Biowarmtecentrale en andere hernieuwbare energiebronnen**

Warmteproductie op basis van biomassa kan zowel voor huishoudens als industriële processen in een later stadium worden gecombineerd met of worden vervangen door een aantal van deze alternatieve duurzame productietechnieken:

- Aan een biowarmtecentrale gekoppelde warmtenetten kunnen worden gevoed met restwarmte<sup>42</sup>, warmte uit geothermie<sup>43</sup> of warmte geproduceerd met een warmtepomp (bijvoorbeeld warmtepomp RWZI-Utrecht);
- Een met houtige biomassa ondervuurde stoomketel kan in principe ook worden ondervuurd met waterstof of groen gas;
- Biomassa kan ook worden gebruikt voor aandrijving van een absorptiewarmtepomp waarmee relatief lage temperatuur warmte uit geothermische bronnen of restwarmte van bijvoorbeeld datacenters op een voldoende hoge temperatuur kan worden gebracht voor inzet in middentemperatuur en hoge temperatuur warmtenetten<sup>44</sup>.

Biomassa kan anders gezegd een opstap zijn om de warmtevraag in bebouwde omgeving en industrie te verduurzamen.

---

<sup>41</sup> Zie bijvoorbeeld diverse projecten in Denemarken op dit gebied: <http://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/CUR-09-Denmark.pdf>

<sup>42</sup> Voorbeelden van restwarmte zijn de levering van warmte van Shell aan het warmtenet in Rotterdam en levering vanuit Chemelot aan Het Groene Net in Sittard-Geleen, zie:

<https://expertisecentrumwarmte.nl/kennis/factsheets/technieksheets+energiebronnen/restwarmte/default.aspx>

<sup>43</sup> Meer dan een dozijn projecten in de glastuinbouw in Westland, B-driehoek, Noord-Holland en Overijssel, zie: <https://www.geothermie.nl/index.php/nl/geothermie-aardwarmte/geothermie-in-nederland/projectoverzicht>

<sup>44</sup> Zie bijvoorbeeld diverse projecten in Denemarken op dit gebied: <http://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/CUR-09-Denmark.pdf>

### 3.6 Conclusies

#### Broeikasgasemissies

Zoals geconstateerd in paragraaf 3.1 en 3.2 heeft warmteproductie voor huishoudens of industrie op basis van biomassa een significant lagere broeikasgasemissie per eenheid warmte dan productie op basis van aardgas. De reductie over de gehele keten bedraagt per eenheid geleverde warmte 90% - 70%.

Met name wanneer aardgas uit Qatar en Rusland wordt ingezet, dat een hogere ketenemissies heeft dan Noors (en Nederlands) aardgas<sup>45</sup>, is de reductie door biomassa relatief hoog. De broeikasgasemissie per eenheid warmte is bij gebruik van biomassa vooral lager door het uitsparen van de CO<sub>2</sub> die bij gebruik van aardgas zou zijn geëmitteerd. Emissies in de voorketen van beide brandstoffen – zoals ingeschat in geraadpleegde studies - zijn feitelijk van dezelfde orde van grootte.

Zoals genoemd in paragraaf 3.1 hebben bij biomassa de aard van de brandstof, herkomst en productiewijze invloed op de uiteindelijke broeikasgasemissie per eenheid brandstof en per eenheid geleverde warmte:

- Doordat het hout bij productie en gebruik van houtpellets meer bewerkingen ondergaat en houtpellets een importproduct zijn, is de broeikasgasemissie per eenheid biomassa per definitie hoger als bij gebruik van houtsnippers. Maar ook met houtpellets kan een CO<sub>2</sub> reductie van 70% - 90% ten opzichte van aardgas worden gerealiseerd.
- De broeikasgasemissie per eenheid houtpellets hangt voornamelijk af van:
  - De gebruikte grondstof – resthout of pulphout;
  - Geografische herkomst;
  - De herkomst van de bij pelletproductie gebruikte elektriciteit – bijvoorbeeld bio-WKK of inkoop van het net.

#### Emissies van verzurende, vermestende en toxische stoffen

Bij toepassing van de stand der techniek op gebied van rookgasreiniging is het in principe mogelijk NO<sub>x</sub>-emissies per eenheid warmte te beperken tot vergelijkbaar niveau of tot bijna een factor 4 hoger dan bij warmteproductie op basis van aardgas. Reduceren van restconcentraties tot waarden in de ondergrens van dit bereik zal wel hogere investeringen in een uitgebreidere rookgasreiniging vergen. Per saldo liggen de totale milieukosten bij de biomassaketens ruimschoots lager dan bij de gasketens.

#### Gevoeligheidsanalyse

De in voorgaande subparagrafen uitgevoerde globale gevoeligheidsanalyse illustreert dat:

- Het rendement voor warmtedistributie bij levering van op basis van biomassa geproduceerde warmte aan huishoudens significante invloed heeft op de broeikasgasemissies per eenheid geleverde warmte. Hanteren van een lager rendement leidt echter niet tot significant andere verhouding in milieukosten tussen warmte op basis van aardgas en warmte op basis van biomassa;
- Onzekerheid in de broeikasgasemissies per eenheid aardgas mogelijk zeer groot is en dat de met vervanging van aardgas door houtige biomassa voor warmteproductie gerealiseerde reductie van broeikasgasemissies hierdoor mogelijk significant wordt onderschat;
- De totale milieukosten per eenheid warmte ook significant lager zijn wanneer de NO<sub>x</sub>-emissie van biomassa 80% - 90% van de emissie grenswaarde bedraagt.

Samenvattend kan worden gesteld dat de resultaten van de vergelijking robuust zijn en warmte uit biomassa tot aanzienlijke lagere milieukosten leidt dan warmte uit aardgas.

<sup>45</sup> Deze conclusie wordt ook getrokken in een recent artikel van den Beukel en Van Geuns, ook al worden daarin oudere bronnen gebruikt voor de broeikasgasemissies in de aardgasketens van Russisch en Noors aardgas en LNG:  
<https://www.knmg.nl/2019/02/hcss-publication-groningen-gas-the-loss-of-a-social-license-to-operate/>

### Aanbevelingen

Met oog op maatschappelijk draagvlak en license to operate verdient het de aanbeveling:

- Emissies van toxische en verzurende/vermestende stoffen bij de biowarmtecentrale te minimaliseren;
- Broeikasgasemissies in de keten van de als brandstof gebruikte biomassa te minimaliseren;
- Het energetisch rendement van warmteproductie en warmtedistributie bij nieuw te ontwikkelen warmtenetten te maximaliseren.

## Acroniemen

Acroniem	Acroniem beschrijving	
<b>BEMS</b>	<b>B</b> esluit <b>e</b> missie- <b>e</b> isen <b>m</b> iddelgrote <b>s</b> tookinstallaties Emissiewetgeving met betrekking tot installaties met een vermogen tot 50 MW brandstof	
<b>LNG</b>	<b>L</b> iquefied <b>N</b> atural <b>G</b> as Vloeibaar gemaakt aardgas	
<b>NEC</b>	<b>N</b> ational <b>E</b> mission <b>C</b> eiling	
<b>NIR</b>	<b>N</b> ational <b>I</b> nventory <b>R</b> eport Jaarlijks nationaal verslag van broeikasgasemissies van een nationale staat onder	
<b>NVDE</b>	<b>N</b> ederlandse <b>V</b> ereniging <b>D</b> uurzame <b>E</b> nergie Organisatie van ondernemers in duurzame energie in Nederland	
<b>PBL</b>	<b>P</b> lan <b>B</b> uro voor de <b>L</b> eefomgeving Het nationale instituut voor strategische beleidsanalyse op het gebied van milieu, natuur en ruimte	
<b>RED</b>	<b>R</b> enewable <b>E</b> nergy <b>D</b> irective Europese wet op gebied van hernieuwbare energie	
<b>RWZI</b>	<b>R</b> iool <b>W</b> ater <b>Z</b> uiverings <b>I</b> nstallatie	
<b>UNFCCC</b>	<b>U</b> nited <b>N</b> ations <b>F</b> ramework <b>C</b> onvention on <b>C</b> limate <b>C</b> hange Een raamverdrag op niveau van Verenigde Naties met als doel om de emissies van broeikasgassen te reduceren en ongewenste gevolgen van klimaatverandering te voorkomen	
<b>KJ</b>	<b>K</b> ilo <b>J</b> oule	10 <sup>3</sup> Joules
<b>MJ</b>	<b>M</b> ega <b>J</b> oule	10 <sup>6</sup> Joules
<b>GJ</b>	<b>G</b> iga <b>J</b> oule	10 <sup>9</sup> Joules
<b>TJ</b>	<b>T</b> era <b>J</b> oule	10 <sup>12</sup> Joules
<b>PJ</b>	<b>P</b> eta <b>J</b> oule	10 <sup>15</sup> Joules

<b>SCR (DeNOx)</b>	<b>Selective Catalytic Reduction</b> Proces voor verwijdering van NO <sub>x</sub> -emissies door een reactie met ammoniak (NH <sub>3</sub> ) over een katalytisch bed.
<b>SNCR</b>	<b>Selective Non-Catalytic Reduction</b> Niet-gekatalyseerd proces voor verwijdering van NO <sub>x</sub> -emissies door een reactie met ammoniak (NH <sub>3</sub> ) bij een temperatuur tussen 800 - 900°C
<b>VS</b>	Verenigde <b>Staten</b> (van Amerika)



## Verklarende woordenlijst

Glossary Term

Glossary Text

**NVDE**

Nederlandse Vereniging Duurzame Energie

**RWZI**

**Bijlage**

**Houtpellets uit het Zuidoosten van de  
VS**

## A1 Kwaliteit

Houtpellets voor gebruik in industriële ketels<sup>46</sup> - worden geproduceerd in grootschalige industriële installaties en zijn een certificeerbaar product met garantiewaarden voor wat betreft samenstelling en kwaliteit (zie Tabel 9).

Tabel 9 Specificatie-eisen voor industriële houtpellets (EN ISO 17225)

Kwaliteitsklasse	Kwaliteitsklasse I1	Kwaliteitsklasse I2	Kwaliteitsklasse I3
Stookwaarde , GJ/ton n.s.	≥ 17	≥ 17	≥ 17
H <sub>2</sub> O (gew% n.s.)	≤ 10%	≤ 10%	≤ 10%
As (gew% d.s.)	≤ 1%	≤ 1,50%	≤ 3%
N (gew% d.s.)	< 0,30%	< 0,30%	< 0,60%
S (gew% d.s.)	< 0,05%	< 0,05%	< 0,05%
Cl (gew% d.s.)	< 0,03%	< 0,05%	< 0,10%

## A2 Grondstoffenpalet

Industriële houtpellets voor export worden in het Zuidoosten van de VS geproduceerd op basis van een grondstoffenpakket dat voor circa 65% - 70% bestaat uit stamhout van 'pulpwood' kwaliteit<sup>47</sup> (stamhout met  $\varnothing$  van 9 – 23 cm) en voor 30% - 35% uit bijproducten van houtverwerkende bedrijven<sup>48</sup>. Pulpwood stamhout zou grotendeels (60% - 75%) weer bestaan uit naaldhout (zie ook Figuur 7).

Een andere reden voor gebruik van pulphout als grondstof voor industriële houtpellets voor export is dat met de toegepaste productietechnologie alleen op basis van schoon hout zonder schors en aanhangend vuil een houtpellet met een voldoende laag asgehalte (< 1,0 – 1,5 gew% d.s.) kan worden geproduceerd<sup>49</sup> (zie ook paragraaf A1).

Het hogere aandeel aan naaldhout in de primair stamhout hangt onder andere samen met de makkelijkere verwerkbaarheid van naaldhout, waardoor bijvoorbeeld energiegebruik per eenheid houtpellets lager is en doorzet per machine hoger<sup>50</sup>.

Bijproducten van houtverwerkende industrie zijn net als pulpwood geen reststromen maar hebben een marktwaarde die iets hoger is dan die van 'pulpwood' (anno september 2019: circa \$30 - \$33 per short ton versus circa \$29 per short ton droge stof)<sup>51</sup>. Ter vergelijking: zaaghout heeft een waarde die gemiddelde 3-8 keer hoger ligt dan de waarde van pulphout, zie Figuur 8.

<sup>46</sup> Er zijn ook houtpellets voor huishoudelijk gebruik. De specificatie-eisen voor deze pellets zijn strenger als voor houtpellets voor de industrie.

<sup>47</sup> [http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study\\_final-2017-06.pdf](http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study_final-2017-06.pdf)

<sup>48</sup> Zie: Forest2Market, 2018,

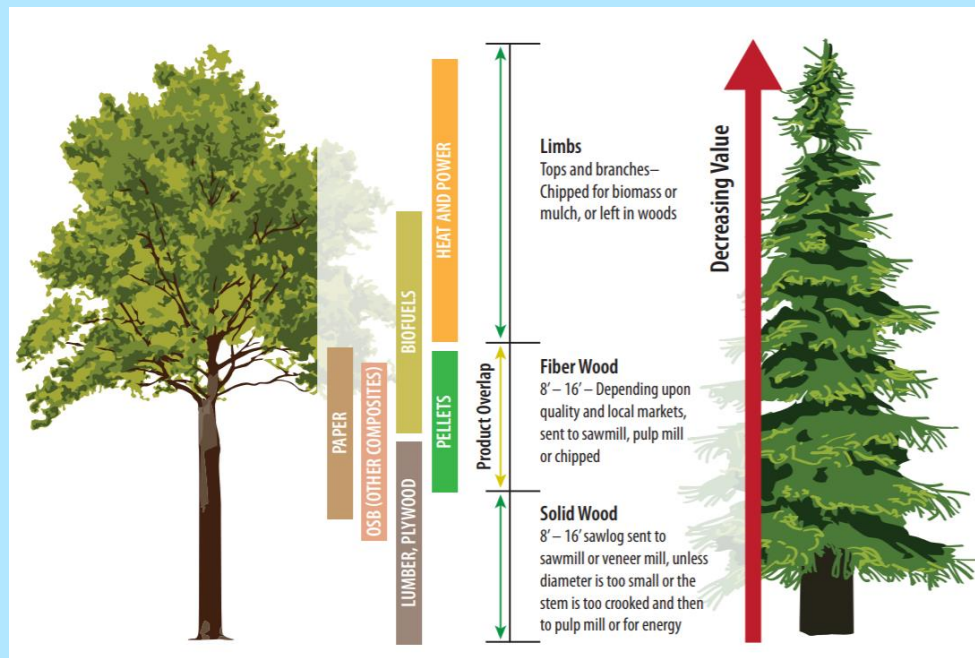
<sup>49</sup> Zie bijvoorbeeld: <http://biomassmagazine.com/articles/8835/raw-material-rationale>

<sup>50</sup> Zie bijvoorbeeld: <http://biomassmagazine.com/articles/8835/raw-material-rationale>

<sup>51</sup> Zie EIA-website.

Pulpwood bestaat uit:

- stamhout van 'hele bomen' met een diameter op borsthoogte van 9 – 23 cm (6-9" DBH) die bij tussentijdse dunning worden geoogst.
- Het hogere deel van de stam van dikkere bomen (zie figuur hieronder) die bij eindkap of dunningen worden geoogst en waarvan het dikkere, onderste deel wordt verwerkt tot gezaagd hout.



Bron: <https://www.inrslc.com/Forest%20Notes%20-%20Low-Grade%20Wood%20Markets%20article.pdf>

Stamhout met diameter 9 – 23 cm is voor de in het Zuidoosten van de VS gevestigde houtverwerkende bedrijven te dun voor de productie van planken en balken, maar worden gebruikt voor productie van papierpulp, plaatmateriaal (met name OSB), absorptiemateriaal voor bijvoorbeeld luiers en voor productie van industriële houtpellets<sup>52</sup>. Van al het pulphout in het Zuidoosten van de VS gaat het merendeel naar papierproductie.

Dunning betreft het tussentijds verwijderen van een deel van de in een bos groeiende bomen.

In beheerd bos met focus op houtproductie (en niet natuurwaarde en/of recreatie) zullen bomen met het grootste potentieel voor de productie van hoogwaardig zaaghout of palen – dikkere, rechte bomen met relatief weinig takken - worden gehandhaafd.

Om deze bomen van hogere kwaliteit te helpen hun volledige potentieel en waarde te bereiken, worden bomen van lagere kwaliteit geselecteerd en verwijderd uit de opstand.

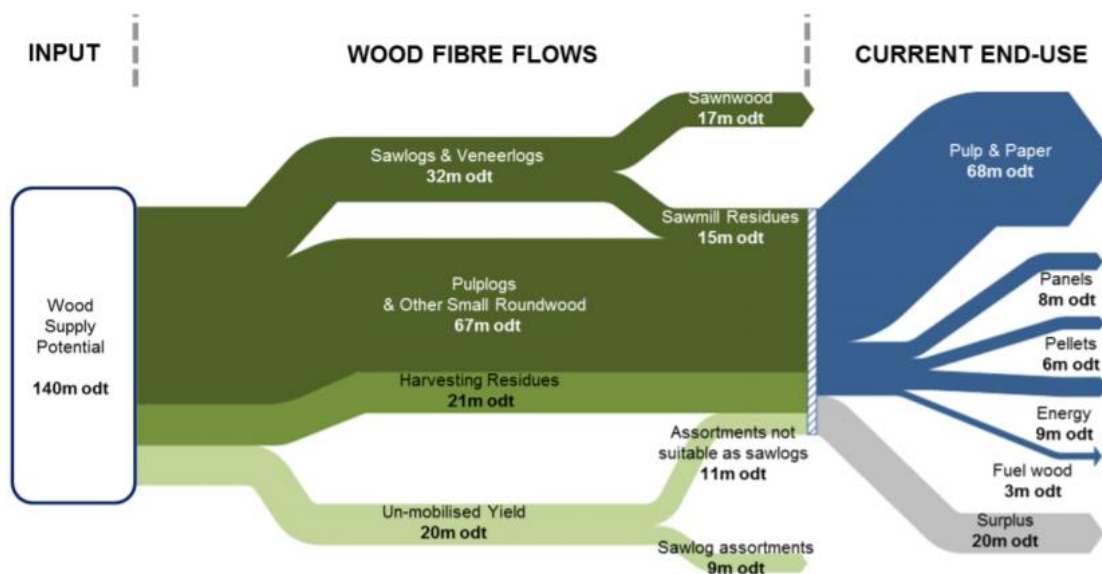
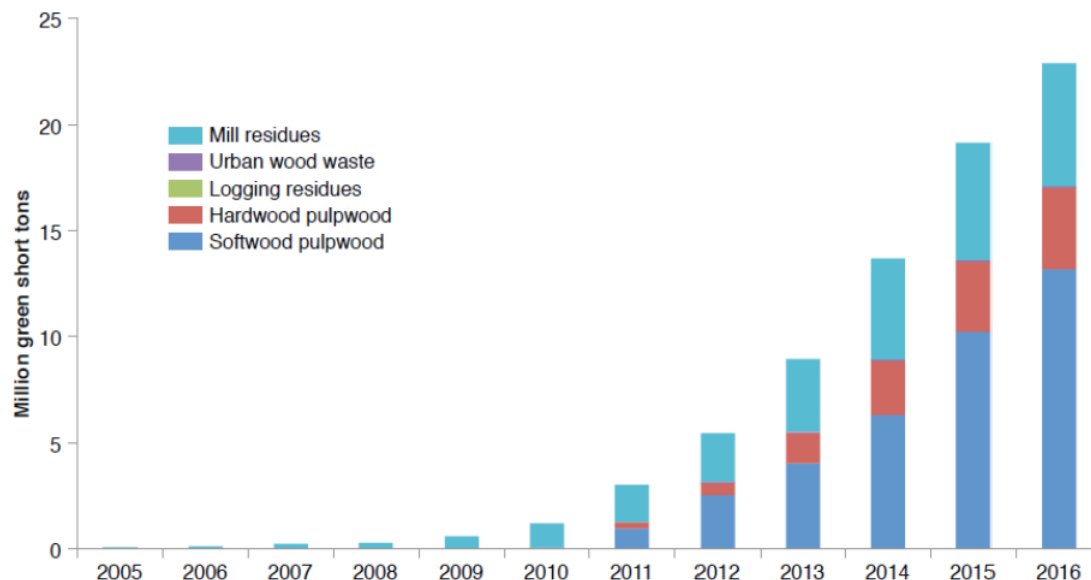
Ongeveer 65% van het in het Zuidoosten van de VS geproduceerde naaldhout is afkomstig van beheerde plantages waarop met name snelgroeiende varianten van Loblolly Pine (Pinus taeda of wierookden) in relatief korte rotaties van 25 – 30 jaar worden verbouwd. De overige 35% is afkomstig van seminatuurlijk beheerd bos.

Hout van particuliere bouseigenaren wordt door houthandelaren opgekocht en doorverkocht aan afnemende houtverwerkende bedrijven. De houthandelaren verzorgen behalve opkoop en verkoop ook oogst en transport. Investeringsbedrijven opereren deels zelf als handelaar en organisator.

Om de bandbreedte van de broeikasgasbalans voor houtpellets aan te geven zijn in deze studie zowel houtpellet productie op basis van bijproducten van houtverwerkende industrie als op basis van 'pulpwood' uit beheerd semi-natuurlijk bos en plantages beschouwd.

<sup>52</sup> Zie bijvoorbeeld: <https://www.forest2market.com/blog/pellets-pulp-the-changing-nature-of-the-southern-residuals-market>

Figuur 7 Indicaties van samenstelling van het grondstoffenpalet voor industriële houtpellets voor export

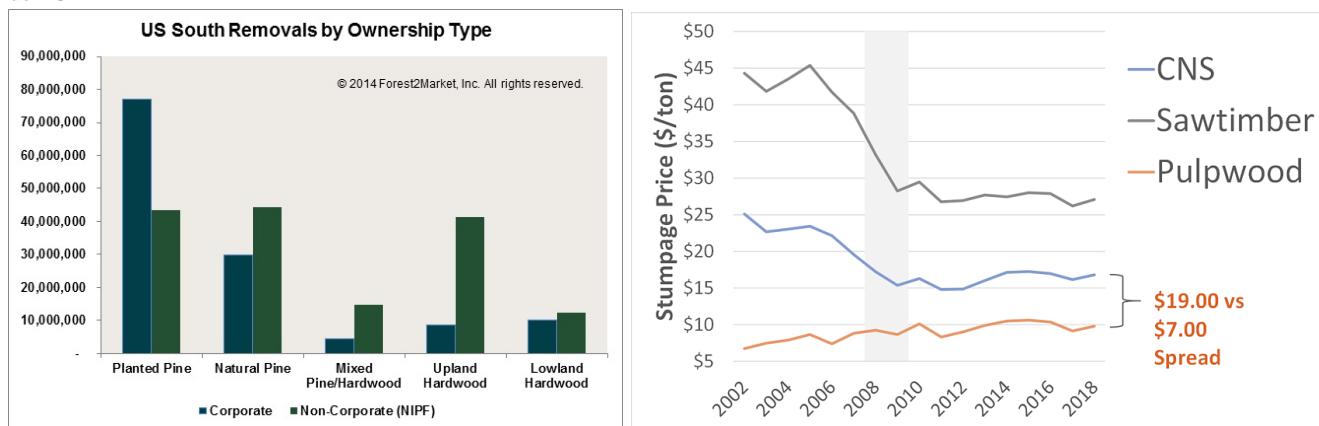


Bronnen: [http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study\\_final-2017-06.pdf](http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study_final-2017-06.pdf)<sup>53</sup> en <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/09/IWUC-Report-20140728.pdf>.

<sup>53</sup> Opmerking: op de EIA-website is informatie over productie van houtpellets en daarbij gebruikte grondstoffen te vinden. Zie: [https://www.eia.gov/biofuels/biomass/#table\\_data](https://www.eia.gov/biofuels/biomass/#table_data), Table 3. Feedstocks and average cost per ton for the manufacture of densified biomass products, 2019.

Deze data heeft echter betrekking op de gehele Amerikaanse productie van houtpellets, inclusief de productie van houtpellets voor huishoudelijk gebruik in de VS zelf, ongeveer 40% van de totale productie. Uit deze data is niet te extraheren wat de samenstelling is van het voor export houtpellets gebruikte grondstoffenpalet.

Figuur 8 Indicatie van volumes, landeigendom en prijsniveaus van geogst hout van verschillende diameter in het Zuidoosten van de VS



Bron: <https://www.forest2market.com/blog/wood-supply-sources-in-the-us-south> en <https://www.forest2market.com/blog/whats-driving-forest-industry-growth-in-the-us-south>

Opmerking: stumpage verwijst naar de inkomsten voor de landeigenaar, niet naar de prijs die de inkoper van het stamhout betaald.

BIJLAGE

**Teelt van Loblolly pine**

## A3 Beschrijving

Bij plantagematige teelt van snelgroeiende dennen wordt het areaal na een eindkap eerst geschikt gemaakt voor herplanting door<sup>54</sup>:

- Verwijderen of doden van nog resterende vegetatie;
- Doorlatend maken van gecompacteerd bodems;
- Beter beschikbaar maken van nutriënten in bodem en houtresten (bijvoorbeeld tak- en top hout).

Toegepaste technieken zijn bijvoorbeeld klepelen, frezen, eggen en ploegen.

Voor doden van vegetatie en achtergebleven zaden van concurrerende vegetatie worden chemicaliën, maar ook gecontroleerd branden toegepast. Houtresten worden gemulchd en achtergelaten maar ook wel verbrand. Mulchen en achterlaten van houtresten heeft als potentieel nadeel dat stikstof in de bodem wordt gebonden.

Na voorbereiding worden stekjes gepland. Voor bevordering van de groei wordt kunstmest gegeven. Tijdens groei wordt concurrerende vegetatie in de vorm van grassen en andere éénjarige gewassen of ongewenste loofhout soorten met landbouwchemicaliën of middels gecontroleerd branden gedood<sup>55</sup>.

Bij intensief beheerde plantages vindt na 12 – 15 jaar een dunning plaats en na 20 – 25 jaar eindkap.

### A3.1 Gebruik van bedrijfsmiddelen

Voor bedrijfsmiddeleengebruik bij teelt (zie Tabel 10) is uitgegaan van cijfers uit (Jonker, 2014). Deze cijfers zijn ook in meer recente broeikasgasbalans studies van de Universiteit Utrecht toegepast (zie bijvoorbeeld (Derks, 2018)).

Tabel 10 Voor teelt aangehouden gebruiken van bedrijfsmiddelen (gemiddelde van extensieve en gemiddeld intensieve teelt)

	Diesel consumptie	Stekjes	N-bemesting	P-bemesting	bestrijdingsmiddelen	Opbrengst aan stamhout
Eenheid	(l/ha)	stuks	kg ureum/ha	kg DAP/ha	kg/ha	ton d.s./ha
jaar						
0	133	1.600				
3	9		179	112		
15	625					20
25	616					100,5
	1.383	1.600	179	112		120,5

<sup>54</sup> Zie: <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-5002.pdf>,

[https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs144p2\\_002293.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs144p2_002293.pdf), [https://www.srs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr\\_se057.pdf](https://www.srs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_se057.pdf)

<sup>55</sup> Brand is in het Zuidoosten van de VS een natuurlijk fenomeen, dat met een frequentie van eens per 2 tot 8 jaar optreedt. Zie: [http://www.southernfireexchange.org/Web\\_Event/etc/Webinar-pdf/Jan17-2019-Kush.pdf](http://www.southernfireexchange.org/Web_Event/etc/Webinar-pdf/Jan17-2019-Kush.pdf). Dennen als Loblolly Pine zijn ook aangepast en goed in staat om vuur te overleven. Regelmatig gecontroleerd branden wordt in de VS aangemoedigd, onder andere met oog op bestrijding van plagen en het voorkomen van ophoping van brandstof in het bos waardoor ongecontroleerde branden met grote intensiteit zouden kunnen optreden: <https://www.fs.usda.gov/managing-land/prescribed-fire>



### A3.2 Emissies

Emissies bij teelt worden onder andere veroorzaakt door vervluchtiging en uitspoeling van stikstof uit houtresten en kunstmest. Vervluchtiging geeft emissies van NH<sub>3</sub> en van N<sub>2</sub>O.

De emissie van N<sub>2</sub>O is geschat aan de hand van de verfijnde IPCC methodologie (2019) voor het opstellen van broeikasgasbalansen. De berekening is weergegeven in onderstaande tabel. Er is rekening gehouden met de massaverhouding tussen N<sub>2</sub>O (moleculair gewicht 44 g/mol) en stikstof (N<sub>2</sub>, moleculair gewicht 28 g/mol).

Tabel 11 Schatting van N<sub>2</sub>O-emissie bij teelt van Loblolly Pine

	N in houtresten (wortels, takken)	N in ureum kunstmest <sup>56</sup>	N-ammoniak in depositie en in DAP kunstmest	N-nitraat in depositie	SOM
Toegevoerd aan stikstof (kg/ha/rotatie)	460	83	64	160	
Emissiefactor N <sub>2</sub> O conform IPCC, 2019					
• direct	0,60%	1,60%	1,60%	1,60%	
• Indirect	0,56%	0,47%	0,38%	0,28%	
	1,16%	2,07%	1,98%	1,88%	
N <sub>2</sub> O-emissie (kg/ha/rotatie)	8,4	2,7	2,0	4,7	17,8

### A3.3 Gevoeligheidsanalyse

Ter controle van de gehanteerde cijfers is vergeleken met twee andere literatuurbronnen (Chapagain, 2012), (BEAC, 2014) en is voor stikstof een indicatieve balans opgesteld.

In beide andere bronnen worden vergelijkbare cijfers gegeven voor dieselgebruik en bestrijdingsmiddelenconsumptie per hectare.

Het in (Jonker, 2014) gegeven specifieke kunstmestgebruik (kg/ton stamhout) is vergelijkbaar met de cijfers genoemd in (Chapagain, 2012), maar is lager als de cijfers gegeven in (BEAC, 2014).

Een indicatieve stikstofbalans (zie Tabel 12) voor de in (Jonker, 2014) en (Jonker, 2018) genoemde gemiddelde opbrengst van 120 ton d.s./ha/rotatie aan stamhout per rotatie van 25 jaar geeft de sterke indruk dat de balans niet sluitend is en dat de toegevoerde hoeveelheid stikstof en gerelateerde N<sub>2</sub>O-emissies worden onderschat met circa 40% van de in deze studie aangehouden emissiewaarde.

In geen van de drie geraadpleegde rapporten wordt gerefereerd aan eventueel gecontroleerd branden van houtresten van dunningen of eindkap en van ondergroei en van de met het branden gepaard gaande emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub>, terwijl gecontroleerd branden in (BEAC, 2014) wel wordt genoemd als onderdeel van areaal voorbereiding<sup>57</sup>.

<sup>56</sup> In geraadpleegde literatuur worden voor ureum hogere N<sub>2</sub>O-emissiefactoren van 2% - 4% gegeven. Zie bijvoorbeeld:

<sup>57</sup> In <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/qcbb.12445> wordt aangegeven dat zowel achterlaten van gemulchde houtresten als branden voorkomt.

Tabel 12 Indicatieve stikstofbalans voor productie van 194 ton d.s. aan stamhout, gemiddelde van extensief en gemiddeld intensief beheerde Loblolly plantages

	N-org	N-ureum	N-ammoniak	N-nitraat	Som
A: percentageel verlies van gegeven stikstof in een nat klimaat					
- verdampt (als NH <sub>3</sub> ), omgezet in N <sub>2</sub> <sup>58</sup>	21%	15%	8%	1%	
- afgespoeld (als NO <sub>3</sub> ) <sup>59</sup>	24%	24%	24%	24%	
totaal	45%	39%	32%	25%	
B: toegevoerd aan stikstof (kg/ha) <sup>60</sup>					
- als kunstmest of in houtresten	460	83	24		
- depositie <sup>61</sup>			40	160	
	460	83	64	160	767
c = B x (1 – A) Beschikbaar voor gewas (kg/ha/rotatie)	253	51	43	120	467
Nodig voor gewas (kg/ha/rotatie)					685
Verschil (kg/ha/rotatie)					218

<sup>58</sup> Voor percentages, zie e bijgestelde IPCC methodiek voor opstellen van broeikasgasbalansen, deel 4, hoofdstuk 11, tabel 11.1: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch11\\_Soils\\_N2O\\_CO2.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf)

<sup>59</sup> Voor indicatie van percentage dat afspoelt, zie:

<sup>60</sup> Stikstof uit vertering is gelijk gesteld aan stikstof uit houtresten, conform het duurzaamheidsprincipe dat de nutriëntenbalans in stand gehouden moet worden.

<sup>61</sup> Zie Zhang, 2012

BIJLAGE

**Pelletproductie**

## A4 Beschrijving op hoofdlijnen

Stamhout wordt vanuit beheerd bos per vrachtwagen vervoerd naar de pelletfabriek over circa 80 kilometer afstand.

*Figuur 9* Overzichtsfoto van een pelletfabriek



Bron: Canadese LCA-studie uit 2006

Het stamhout worden eerst met een hamermolen verkleind, waarna de snippers worden gedroogd. Drogen vindt typisch plaats in een trommeldroger met hete rookgassen als droogmiddel. De gedroogde houtsnippers worden opnieuw gemalen waarna het poeder in de pelletmachine door een mal onder hoge druk wordt geperst, waardoor het hout plastificeert. De geplastificeerde massa wordt in pellets gesneden, die op grootte worden afgezeefd, gekoeld en vervolgens opgeslagen en naar havens.

*Figuur 10* Cycloonbrander aangesloten op een trommeldroger



Bron: [www.theonixcorp.com/combustion.html](http://www.theonixcorp.com/combustion.html)

Bij drogen worden gedroogde<sup>62</sup> schors en houtsnippers als brandstof gebruikt. De brandstof wordt vermalen en in een cycloonoven verbrand.

Bij malen, drogen en warmteproductie ontstaan ondermeer emissies van NO<sub>x</sub>, PM10 en vluchtige organische stoffen (VOS). In principe moet rookgasreiniging worden geplaatst om deze emissies te reduceren. VOS-emissies kunnen bijvoorbeeld worden gereduceerd met een naverbrander, met aardgas als steunbrandstof.

#### A4.1 Gebruik van bedrijfsmiddelen

Voor het bedrijfsmiddelengebruik bij pelletproductie zijn volgende waarden in de geraadpleegde bronnen gevonden:

- a) Elektriciteit: 180 kWh<sub>e</sub>/ton pellets
- b) Diesel voor intern transport, op- en overslag: 35 MJ/ton pellets
- c) Aardgas voor naverbrander: 280 MJ/ton pellets

Het elektriciteitsgebruik betreft zowel pelletiseren als ook drogen, malen van stamhout en gedroogde houtsnippers en koelen van geproduceerde pellets. Conform geraadpleegde broeikasgasbalans studies wordt de voor pelletproductie benodigde elektriciteit ingekocht vanaf het openbare net<sup>63</sup>.

Voor het schatten van het houtgebruik voor drogen bij pelletproductie is gebruik gemaakt van de module in Biograce II voor een 'wood chip boiler'. Daarbij zijn de volgende vochtgehalten aangehouden:

- Laagwaardig rondhout: 45%;
- Reststromen: 40%
- Geproduceerde pellets: 7%.

In de praktijk wordt voor drogen voornamelijk houtig restmateriaal zoals schors ingezet.

Er is additioneel rekening gehouden met een aardgasgebruik van 300 MJ/ton pellets voor de naverbrander waarmee VOS-emissies van drogen, malen en pelletproductie worden beperkt. Een naverbrander van vluchtige organische stoffen is bij een beperkt aantal pelletfabrieken geïnstalleerd.

#### A4.2 Pellet logistiek

Voor logistiek van gereede pellets wordt voorgesteld de volgende afstanden aan te houden:

- Afstand wegtransport in VS (pelletfabriek - haven) = 150 km;
- Afstand scheepstransport over zee = 7.300 km;
- Afstand in NL, binnenvaart = 50 km;
- Afstand in NL, weg = 10 km.

Voor energiegebruik en verliezen bij transport en op- en overslag is Biograce II gevolgd. Inzet van houtpellets in stoomproductie

#### A4.3 Beschrijving op hoofdlijnen

Aangevoerde houtpellets worden in silo's opgeslagen. De pellets worden verbrand in een stofwolkoven of een vlampijpvoven. In beide gevallen worden de pellets met een hamermolen fijngemalen tot stof (deeltjesgrootte < 1mm) en dan pneumatisch getransporteerd naar de branders waarbij de brandstof met lucht in de oven wordt geblazen. De bij de verbranding ontstane warmte wordt in ketel en economizer overgedragen aan het water in een warmtenet of gebruikt voor stoomproductie.

<sup>62</sup> Zie brandstofspectificaties genoemd op: <http://www.theonixcorp.com/products/solid-fuel-combustion-systems/>

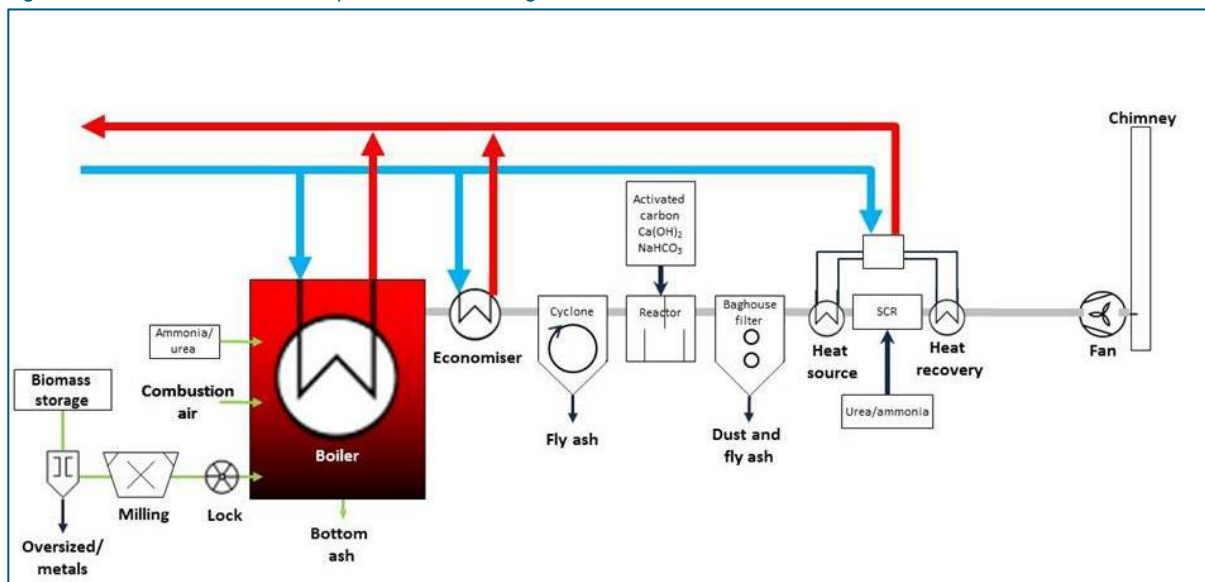
<sup>63</sup> Zie bijvoorbeeld (Derks, 2018), (BEAC, 2014)

Als gevolg van het verbrandingsproces zal vorming van luchtverontreinigende stoffen plaatsvinden. De voor afvang van deze stoffen benodigde rookgasreiniging zal onder de Nederlandse emissiewetgeving bijvoorbeeld bestaan uit:

- Primaire maatregelen, zoals low-NO<sub>x</sub> branders, rookgasrecirculatie en toepassing van over fire air (OFA)<sup>64, 65</sup>.
- Een combinatie van selectieve non-katalytische reductie (SNCR) en selectieve katalytische reductie (SCR), waarin (toch) gevormde NO<sub>x</sub> door reactie met ammoniak wordt omgezet in onschadelijk N<sub>2</sub>.
- Bij SNCR wordt ammonia (of ureum) rechtstreeks bij 800 – 900 °C in de ketel geïnjecteerd. Bij SCR wordt ammoniak bij 350 – 200 °C geïnjecteerd en wordt de reactie bevorderd door een katalysator. De combinatie van SNCR en SCR wordt bijvoorbeeld toegepast bij WI Lage Weide en Bio Energie Centrale Cuijk.
- Een cycloon, multicycloon of elektrofilter voor een eerste verwijdering van fijn stof.
- Een droog of semidroog chemisch absorptieproces met nageschakelde doekenfilter voor verwijdering van zwavel en halogenen, dioxines, zware metalen en laatste resten fijn stof.
- Voor afvang van zwavel en halogenen wordt voor het doekenfilter droge calciumhydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>) of natriumbicarbonaat (NaHCO<sub>3</sub>) of een slurry van calciumhydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>) in water geïnjecteerd. De gevormde zouten van zwavel en halogenen met Ca of Na worden droog afgevangen in het doekenfilter. Voor afvang van zware metalen en dioxines wordt actief kool geïnjecteerd.

Het vereenvoudigde processchema in onderstaande figuur geeft een indicatie van de configuratie van een houtstof gestookte warmtecentrale met nageschakelde rookgasreiniging.

Figuur 11 Voorbeeld van het concept van een houtstof gestookte warmtecentrale



Bron: Wabo-aanvraag biomassaketel Nuon

<sup>64</sup> OFA wordt bijvoorbeeld toegepast in de 33 MWth houtstof gestookte installatie van Tampereen Energiantuotanto Oy in Tampere Finland. Deze installatie wordt als deellast/peiklast installatie gebruikt op het warmtenet in Tampere. Zie: [www.wtsab.com/case/tampere-energy-finland-2/](http://www.wtsab.com/case/tampere-energy-finland-2/).

<sup>65</sup> Zie bijvoorbeeld: [www.modernpowersystems.com/features/featurewroclaw-retrofit-demonstrates-benefits-of-the-rofa-system/](http://www.modernpowersystems.com/features/featurewroclaw-retrofit-demonstrates-benefits-of-the-rofa-system/), [www.cibo.org/wp-content/uploads/2014/05/Mobotec\\_RS\\_Jun-15-2014.pdf](http://www.cibo.org/wp-content/uploads/2014/05/Mobotec_RS_Jun-15-2014.pdf), [www.aecomprocesstechnologies.com/wp-content/uploads/2016/08/AECOM-Process-Technologies-NOx-Control-Using-Mobotec-Technology.pdf](http://www.aecomprocesstechnologies.com/wp-content/uploads/2016/08/AECOM-Process-Technologies-NOx-Control-Using-Mobotec-Technology.pdf).

In principe is het mogelijk de rookgasreiniging en het energetisch rendement verder te optimaliseren. Voorbeelden van opties toegepast bij afvalverbrandingsinstallaties in Nederland en installaties in het buitenland zijn:

- Toepassen van luchtvoorverwarming, bijvoorbeeld met de heat matrix technologie;
- Toepassing van een absorptiewarmtepomp bij warmtelevering aan een warmtenet (zie bijvoorbeeld BWI Lage Weide);
- Injectie in de vuurhaard van absorbens zoals geleverd door bijvoorbeeld Lhoist en Carmeuse<sup>66</sup> voor verwijdering van SO<sub>2</sub>;
- Een katalytische oxidator, die bijvoorbeeld kan worden geïntegreerd in de SCR<sup>67</sup>, voor oxidatie van dioxines, CO en vluchtige organische stoffen;
- Oxidatie met ozon voor betere afvang van NO<sub>x</sub> en kwik met Linde's LoTox<sup>68</sup> technologie.

Alle optimalisatieopties vergen investeringen en operationele kosten, hoewel er in principe ook in sommige gevallen mogelijk investeringen achterwege kunnen blijven. Nadere analyse is nodig om vast te stellen of additionele opties kosteneffectief zijn.

#### A4.4 Gebruik van bedrijfsmiddelen en emissies naar lucht

Voor conversie is uitgegaan van een houtpoeder gestookte ketel met 90% - 96% energetisch rendement<sup>69</sup>.

Voor het eigen verbruik aan elektriciteit wordt uitgegaan van 0,03 GJ<sub>e</sub>/GJ<sub>biomassa</sub>.

Voor additieven voor rookgasreiniging worden volgende specifieke gebruiken aangehouden:

- Ammonia (<25% NH<sub>4</sub>OH): 0,2 kg/ton houtpellets;
- Natriumbicarbonaat (NaHCO<sub>3</sub>): 5 kg/ton houtpellets;

Op basis van meetwaarden uit de praktijk en garantiewaarden bij reguliere en stabiele bedrijfsvoering zijn de volgende restconcentraties aangehouden (zie Tabel 13):

Tabel 13 *Praktijkwaarden voor restconcentraties van beschouwde emissies naar lucht bij houtstof gestookte biowarmte centrales met adequate rookgasreiniging*

	Restconcentraties in praktijk mg/Nm <sup>3</sup> ;	Wettelijke norm (Activiteitenbesluit en installatie-specifieke waarden)
• NO <sub>x</sub>	40 – 60	80 - 100
• NH <sub>3</sub>	< 1	4
• PM <sub>10</sub>	0,5 – 2,5	4 - 5
• SO <sub>2</sub>	1 – 4	20 -30

<sup>66</sup> Zie: <http://www.carmeuse-fluegascleaning.com/process/hot-side-sorbent-injection>, [https://www.lhoist.com/sites/lhoist/files/brochure\\_sorbacalr\\_sps\\_-\\_en\\_6.pdf](https://www.lhoist.com/sites/lhoist/files/brochure_sorbacalr_sps_-_en_6.pdf)

<sup>67</sup> Zie bijvoorbeeld Haldor Topsoe (<https://www.topsoe.com/processes/nox-and-co-removal/co-removal>), Rentech ([https://rentechboilers.com/wp-content/uploads/2017/03/RENTECH\\_SCR\\_Insert.pdf](https://rentechboilers.com/wp-content/uploads/2017/03/RENTECH_SCR_Insert.pdf)) en Innova (<http://innova-gl.com/solutions/air-emissions/catalyst-oxidation-systems.html>)

<sup>68</sup> Zie: [https://www.linde-gas.com/en/images/LOTOX%20datasheet\\_tcm17-130449.pdf](https://www.linde-gas.com/en/images/LOTOX%20datasheet_tcm17-130449.pdf)

<sup>69</sup> Door technologieleveranciers worden maximale rendementen van 92% - 96% genoemd, zie bijvoorbeeld: <https://www.linka.dk/en/products/steam-plant/wood-pellets-400---15000-kw/>

Alle waarden betreffen concentraties bij normcondities (6 vol% O<sub>2</sub>, droog rookgas). Waarden in g/GJ worden verkregen door vermenigvuldiging met een factor 0,35 Nm<sup>3</sup>/MJ.

Zoals door de tabel geïllustreerd kunnen de restconcentraties bij een adequate rookgasreiniging ver onder de wettelijke grenswaarden liggen. Lagere waarden als genoemd voor de praktijk zijn ook haalbaar. De garantiewaarde voor de NO<sub>x</sub>-emissie bij afvalverbrandingsinstallatie Amager Bakke in Kopenhagen bedraagt bijvoorbeeld – omgerekend – 22,5 mg/Nm<sup>3</sup>.



**Bijlage**

**Houtsnippers uit regionaal  
landschapsbeheer**

## A5 Houtsnippers uit regionaal landschapsbeheer

### A5.1 Beschrijving op hoofdlijnen

Houtsnippers uit landschap worden ingezameld bij onderhoud aan bos, landschapselementen en houtige groenvoorzieningen in de bebouwde kom door gemeentelijke groenvoorzieningsorganisatie of door hoveniersbedrijven.

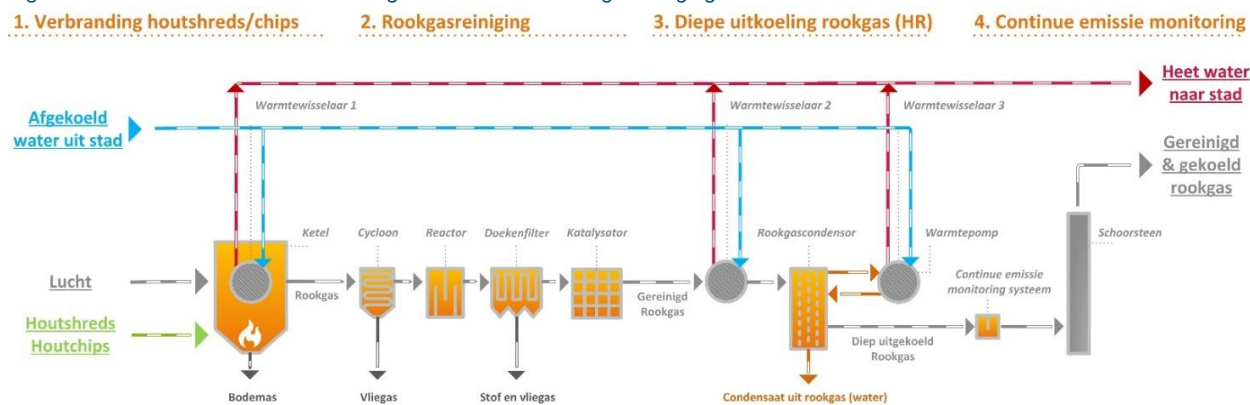
De houtige biomassa komt vrij bij snoeien of bij kap c.q. verwijdering van houtige aanplant – boom of struik. Het vrijkomende materiaal wordt vaak ter plekke versnipperd, waarna de snippers tussentijds worden opgeslagen op het erf van hoveniersbedrijf of gemeentelijke groendienst of worden geleverd aan een tussenhandelaar.

Vanaf erf of tussenhandelaar worden de snippers over de weg in opleggers of vrachtwagencombinaties (vrachtwagen + aanhanger) naar de afnemer getransporteerd.

Bij de afnemer worden de snippers verbrand voor warmteproductie. De verbrandingsinstallatie is in de regel een roosteroven, soms (zoals Bio Energie Centrale Cuijk) een wervelbedoven. De rookgasreiniging kan bijvoorbeeld bestaan uit (zie Figuur 12):

- multicycloon;
- doekenfilter met injectie van natriumbicarbonaat (BiCar) in voor;
- rookgasrecirculatie voor beperken NO<sub>x</sub>-vorming;
- hybride SNCR/SCR DeNox;
- quench, geïntegreerd in de rookgascondensator.

Figuur 12 Schematische weergave van ketel en rookgasreiniging



Bron: Website BWI Lage Weide (Eneco, 2017b).

## A5.2 Rendement en bedrijfsmiddelen gebruik

Voor transport van houtsnippers tussen locatie van versnipperen en afnemer is op basis van bekende gegevens voor praktijkinitiatieven een afstand van 80 kilometer.  
Energiegebruik voor inzamelen en versnipperen van geroid en gesnoeid houtig materiaal – in totaal zijn overgenomen uit Biograce II

Voor conversie en warmtelevering aan de bebouwde omgeving is uitgegaan van een roosteroven met rookgascondensor en eventueel ook absorptie warmtepomp met een totaal thermisch rendement van 100% (Lelystad) - 108% (BWI Lage Weide). Bij recente initiatieven in Zaandam, Lelystad, Eindhoven en Utrecht wordt een condensor toegepast, net als bij diverse biowarmteinstallaties in de glastuinbouw. Eneco heeft daarnaast in de BWI Lage Weide een absorptie warmtepomp opgenomen, zoals in met name Zweden en Denemarken bij enkele biowarmte-installaties of afvalverbrandingsinstallaties is toegepast. In Zweden en Denemarken wordt bij enkele installaties ook bevochtiging van de verbrandingslucht toegepast om het thermisch rendement verder te maximaliseren.

Voor het eigen verbruik van de roosteroven aan elektriciteit wordt uitgegaan van 0,02 GJ<sub>e</sub>/GJ<sub>biomassa</sub> (o.b.v. BWI). Voor additieven voor rookgasreiniging worden (obv BWI) volgende specifieke gebruiken aangehouden (voor shreds, snippers):

- Ammonia (<25% NH<sub>4</sub>OH): 0,4 kg/GJ biomassa;
- Natriumbicarbonaat (NaHCO<sub>3</sub>): 0,4 kg/GJ biomassa;
- Natriumhydroxide / natronloog (30% NaOH): 0,02 kg/GJ biomassa.

Op basis van meetwaarden uit de praktijk en garantiewaarden bij reguliere en stabiele bedrijfsvoering zijn de volgende restconcentraties aangehouden (zie Tabel 14):

Tabel 14 *Praktijkwaarden voor restconcentraties van beschouwde emissies naar lucht bij houtstof gestookte biowarmte centrales met adequate rookgasreiniging*

	Restconcentraties in praktijk mg/Nm <sup>3</sup> ;	Wettelijke norm (Activiteitenbesluit en installatie-specifieke waarden)
• NO <sub>x</sub>	30 – 70	80 - 100
• NH <sub>3</sub>	< 1	4
• PM <sub>10</sub>	0,3 – 2,0	4 - 5
• SO <sub>2</sub>	1 – 4	20 -30

Alle waarden betreffen concentraties bij normcondities (6 vol% O<sub>2</sub>, droog rookgas). Waarden in g/GJ worden verkregen door vermenigvuldiging met een factor 0,35 Nm<sup>3</sup>/MJ. Voor NH<sub>3</sub> zijn ook lagere waarden bekend, die echter vanwege betrouwbaarheid niet kunnen worden meegenomen.

Zoals door de tabel geïllustreerd kunnen de restconcentraties ook bij roosterovens bij een adequate rookgasreiniging ver onder de wettelijke grenswaarden liggen.

Lagere waarden als genoemd voor de praktijk zijn ook haalbaar. De garantiewaarde voor de NO<sub>x</sub>-emissie bij afvalverbrandingsinstallatie Amager Bakke in Kopenhagen bedraagt bijvoorbeeld – omgerekend – 22,5 mg/Nm<sup>3</sup>.

De hoogte van de restconcentraties wordt mede bepaald door integratie van een condensor. De uitvoering van de condensor is daarbij mede bepalend voor het rendement waarmee vervuilende stoffen worden afgescheiden. De in de in opstart zijnde installatie in Zaandam toegepaste Terraosave condensor annex wasser vormt daarbij de nieuwste ontwikkeling.



**Bijlage**

**Aardgasketen**

## A6 Aardgasketen

Bij substitutie moet rekening worden gehouden met de specificatie-eisen voor levering van aardgas aan het G-gas netwerk. Om dit soort gas op een vergelijkbare kwaliteit te krijgen als Groningen gas moet het gas worden verdund met stikstof. Dit gebeurt in Nederland bijvoorbeeld in Ommen en Muntendam en in Wieringermeer. De hoeveelheid energie die dat kost - en daarmee ook de milieu- en klimaateffecten die ermee samenhangen - wordt bepaald door de samenstelling van het gas. De in deze studie aangehouden gassamenstellingen zijn gegeven in Tabel 15.

Tabel 15 Aangehouden gassamenstellingen

	Groningen gas	Russisch aardgas	LNG uit Qatar	Noors aardgas
Samenstelling, vol%				
CO <sub>2</sub>	0,9%	0,1%		2%
N <sub>2</sub>	14,4%	0,8%	2,50%	1%
CH <sub>4</sub>	81,3%	97,6%	88,20%	88%
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2,9%	1,0%	6,10%	8%
C <sup>3</sup> H <sub>8</sub>	0,4%	0,3%	2,30%	1%
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,1%	0,1%	0,9%	0,2%
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0%	0,0%		0,02%
C6+	0,1%	0,0%		0,02%
	100%	100%	100%	100%
Dichtheid, kg/m <sup>3</sup>	0,83	0,73	0,81	0,71
Stookwaarde, MJ/Nm <sup>3</sup>	31,5	36,0	38,6	35,7
Calorische bovenwaarde, MJ/Nm <sup>3</sup>	34,9	39,9	42,6	39,6
Wobbe-index, MJ/Nm <sup>3</sup>	43,6	53,0	53,8	53,3
N <sub>2</sub> -benodigd voor verdunnen, m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> gas		16,0%	18,6%	16,4%
Miljard m <sup>3</sup> pseudo G-gas bij vervanging van 10 miljard m <sup>3</sup> Groningen aardgas		10,2	9,7	9,8

Toelichting: pseudo G-gas betreft het mengsel van alternatief aardgas ongemengd met stikstof

### A6.1 Alternatief 1: Meer gasimport uit Rusland

Russisch gas bestemd voor de Europese markt komt voornamelijk uit Siberië. Het wordt door Gazprom geproduceerd en naar de EU getransporteerd via het bedrijfseigen netwerk en in joint ventures aangelegde en beheerde infrastructuur. Russisch gas moet worden omgewerkt naar G-gas kwaliteit. Daarvoor is het nodig om het te mengen met stikstof.

Inkoop van Russisch aardgas uit brengt een geopolitiek dilemma met zich mee, want Rusland stelt zich meer en meer op als een tegenstander van NAVO en EU, bondgenootschappen waarvan Nederland (oprichtend) lid is.

Figuur 13 Routes van Russisch gas naar Nederland



Bron: (COWI, 2015).

## A6.2 Alternatief 2: Meer LNG-import uit Qatar

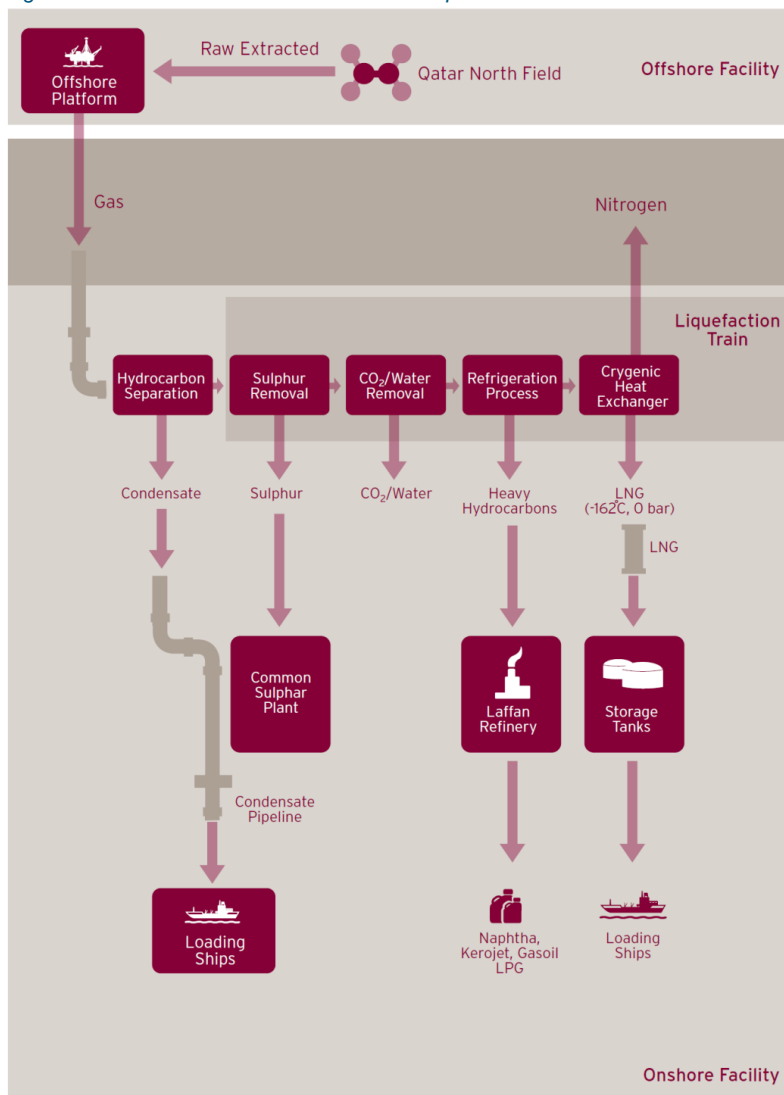
LNG uit Qatar is afkomstig uit het reusachtige South Pars/North Dome gasveld in de Perzische Golf. Dit grootste gasveld ter wereld strekt zich uit onder zowel het Qatarese als het Iraanse deel van de Golf. Qatar levert ruim de helft van alle aan de EU geleverde LNG.

Via offshore putten wordt een mengsel van gassen en condenseerbare koolwaterstoffen geproduceerd dat via een pijpleiding naar land wordt getransporteerd. Op land wordt het mengsel gescheiden in aardgas en aardgascondensaat (zie Figuur 14).

De bij kamertemperatuur gasvormige koolwaterstoffen worden – afgezien van een kleine in de regio zelf afgezette fractie – tot zeer lage temperatuur gekoeld en gecondenseerd tot LNG.

LNG wordt met tankers van producent Qatar Petroleum via de Straat van Hormoes, Suez Kanaal en Middellandse Zee naar Nederland getransporteerd. De moderne tankers van Qatar Petroleum gebruiken als brandstof laagzwavelige stookolie en zijn de grootste tankers voor LNG ter wereld. Tijdens de reis verdampt LNG (boil off) wordt met een mini-LNG-installatie weer vloeibaar gemaakt.

Figuur 14 Stroomschema voor LNG-productie in Qatar



Bron: Qatargas, 2011<sup>70</sup>.

In Nederland wordt het gas bij de GATE Terminal op de Maasvlakte aangeland en tussentijds opgeslagen in een aantal grote geïsoleerde tanks. De LNG wordt bij uitzenden naar het aardgas transmissienet met pompen op druk gebracht en hervergast met restwarmte van de aanpalende kolencentrale. Het gas wordt op G-gas kwaliteit gebracht met stikstof geleverd door GasUnie Transport Services. Gezien de samenstelling van de LNG is hiervoor 0,22 kg N<sub>2</sub>/kg pseudo G-gas nodig.

Inkoop van LNG uit brengt een geopolitiek dilemma met zich mee, want Qatar wordt de afgelopen tijd regelmatig geassocieerd met financiële steun aan Islamitische terroristen in het Midden Oosten en Noord-Afrika<sup>71</sup>.

<sup>70</sup> Qatargas Sustainability Report 2011.

<sup>71</sup> Zie bijvoorbeeld:

- <http://www.theguardian.com/world/2010/dec/05/wikileaks-cables-saudi-terrorist-funding>
- <http://www.washingtontimes.com/news/2014/dec/10/qatar-allows-money-flow-isis-other-terrorists-repo/?page=all>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/State-sponsored\\_terrorism](https://en.wikipedia.org/wiki/State-sponsored_terrorism)
- <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/islamic-state/11233407/Terror-financiers-are-living-freely-in-Qatar-US-discloses.html>
- <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/middleeast/qatar/11110931/How-Qatar-is-funding-the-rise-of-Islamist-extremists.html>



### A6.2.1 Noors aardgas<sup>72</sup>

Noors aardgas wordt geproduceerd uit off shore gasvelden en olievelden en betreft deels associated aardgas. Na afscheiding van olie en condensaat wordt 'rich gas' per pijpleiding naar het vaste land getransporteerd. Drie gasverwerkingsfabrieken aan land - Kårstø, Kollsnes en Nyhamna - zijn geïntegreerd in het pijpleiding netwerk en ontvangen rijk gas uit de velden. Droog gas wordt gescheiden van rijk gas voor verder transport van onderzeese pijpleidingen naar ontvangende terminals in het buitenland. Er zijn vier ontvangende terminals voor Noors gas in continentaal Europa (twee in Duitsland, één in België en één in Frankrijk) en nog eens twee in het VK.

## A6.3 Emissiecijfers

### A6.3.1 Emissies bij productie, opwerking en transmissie

#### A6.3.2 Broeikasgasemissies

Cijfers voor de broeikasgasemissies bij productie, opwerking en transmissie richting Nederland zijn ontleend van recente broeikasgas analyses van Thinkstep, BDI en COWI-consortium. De cijfers hebben betrekking op 2012 en op 2014 – 2015.

Voor Russisch aardgas is ter vergelijking ook een broeikasgasemissie per eenheid aardgas berekend op basis van informatie uit het milieujaarverslag voor 2018. Voor Statoil – tegenwoordig Equinor – is een door het bedrijf zelf opgestelde broeikasgasbalans gepresenteerd

Tabel 16 Broeikasgasbalansen genoemd in andere studies

Bron	Noors aardgas			Russisch aardgas					LNG Qatar
	Thinkstep, 2017	Statoil, voor 2016	Exergia (voor 2012)	Thinkstep, voor 2017	Gazprom, 2018	DBI, Belarussia corridor (2014)	DBI, Nord Stream (2014)	Exergia (2012)	Thinkstep, 2017
Zichtjaar	2015	2016	2012	2015	2018	2014	2014	2012	2015
• exploratie + productie	4,0	1,5		1,5	7,7				1,9
• opwerking en vervloeiing	0,2	0,3							
• pijpleiding transmissie of transport met LNG-tanker	0,2	1,6		5,9					
• transmissie door Duitsland heen				0,4	0,4				
	4,4	3,4	6,7	7,7	8,1	11,8	7,5	31,7	14,9

De verschillen in uitkomsten tussen de diverse bronnen hangen deels samen met verschillende zichtjaren, verschillende afbakeningen van de beschouwde ketens en verschillende achtergronddata voor indirecte emissies, gerelateerd aan ingekochte elektriciteit en andere ingekochte bedrijfsmiddelen.

<sup>72</sup> zie: <http://www.cbn.com/cbnnews/world/2014/October/Shady-Ally-Qatar-Accused-of-Sponsoring-Terror/>  
<https://www.norskpetroleum.no/en/production-and-exports/the-oil-and-gas-pipeline-system/>

Zoals geïllustreerd door de broeikasgasemissie voor Russisch aardgas aangevoerd via Nord Stream pijpleiding of via Witrussische corridor kunnen broeikasgasemissies per eenheid aangeleverd aardgas verschillen tussen specifieke productielocaties en specifieke pijpleidingsystemen.

De verschillen tussen de broeikasgasbalansen voor Russisch aardgas opgesteld door het COWI-consortium en dat in andere bronnen hangt voornamelijk samen met verschillen in aangehouden lekverliezen aan aardgas bij productie, opwerking en transmissie:

- Door het COWI-consortium is uitgegaan van de emissiewaarden zoals door Rusland gerapporteerd aan de UNFCCC;
- In de andere bronnen wordt uitgegaan van de emissies zoals gerapporteerd door Gazprom zelf. Het verschil tussen de door Gazprom en door de Russische overheid gerapporteerde emissiecijfers is weer terug te voeren op een verschil in methodiek voor het schatten van lekverliezen. De Russische overheid hanteert de IPCC-methodologie, terwijl Gazprom een eigen methodologie hanteert<sup>73</sup>.

Meer algemeen zijn beschikbare emissiegegevens (in openbare bronnen) vaak geaggregeerd over verschillende individuele installaties en pijpleidingen en vaak ook over verschillende ketenschakels binnen de aardgasketen en – vanwege verknoping van aardgasproductie met aardoliewinning middels geassocieerd gas en condensaat – de aardolieketen. Daardoor is het vaak alleen mogelijk om een broeikasgasemissie per gemiddelde eenheid koolwaterstoffen (aardgas, condensaat, aardolie) te bepalen.

De gegeven broeikasgas emissiecijfers zijn al met al vooral een schatting van de broeikasgasemissies per eenheid aardgas.

In deze studie zijn als schatting de volgende gemiddelden gebruikt:

- Noors aardgas: 4 kg CO<sub>2</sub>-eq/GJ;
- Russisch aardgas: 8 kg CO<sub>2</sub>-eq/GJ;
- LNG uit Qatar: 15 kg CO<sub>2</sub>/GJ.

Bij wijze van gevoeligheidsanalyse zijn daarnaast voor Rusland en Noorwegen de door het Exergia consortium gegeven ketenemissies meegenomen.

---

<sup>73</sup> Gedurende het project is geen bevestiging gevonden dat de door Gazprom ontwikkelde methodiek is geaccrediteerd door de IPCC. De methodiek lag wel in 2017 voor ter beoordeling:  
[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2017%20ARR%20of%20Russia\\_complete.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2017%20ARR%20of%20Russia_complete.pdf)

### A6.3.3 Emissies bij transmissie, distributie en gebruik in Nederland

Voor transmissie en opslag van geïmporteerd aardgas zijn onderstaande broeikasgasemissies per eenheid aardgas bepaald.

Tabel 17 Geschatte broeikasgasemissies voor transmissie en distributie en voor inzet van aardgas in Nederland

	Noors aardgas	Russisch aardgas	LNG uit Qatar
Aardgassysteem in Nederland			
- transmissie, distributie in NL	0,1	0,1	0,1
- opslag	0,3	0,3	0,3
- N <sub>2</sub> -productie	0,4	0,6	0,6
	0,8	1,0	1,0
Inzet van aardgas	57,3	57,3	57,3

De voor opslag en N<sub>2</sub>-productie gegeven broeikasgasemissies hebben betrekking op respectievelijk het elektriciteitsgebruik bij compressie van aardgas bij opslag (0,274 GJ<sub>e</sub>/1.000 Nm<sup>3</sup>) en productie van stikstof middels luchtscheiding (1,04 GJ<sub>e</sub>/1.000 Nm<sup>3</sup> N<sub>2</sub>).

In de afgelopen jaren is ongeveer 25% van het jaarlijks in Nederland geconsumeerde aardgas geproduceerd uit aardgasbuffers – voorafgaand aan consumptie eerst opgeslagen in seizoenopslag. Er is aangenomen dat dit percentage ook van toepassing op geïmporteerd aardgas uit Noorwegen of Rusland of op LNG uit Qatar.

De per eenheid geïmporteerd aardgas benodigde hoeveelheid N<sub>2</sub> voor productie van pseudo G-gas – aardgas van Groningen gas kwaliteit - is geschat uitgaande van een Wobbe-index van 46,7.

Voor hervergassing van LNG bij de GATE terminal zijn geen emissies toegerekend.

Voor hervergassing benodigde warmte wordt geleverd door de MPP3 kolencentrale. De door de centrale geleverde warmte betreft restwarmte zonder verdere nuttige energie-inhoud anders dan voor hervergassing van LNG. Er zijn daarom geen emissies aan de warmtelevering toegerekend.

## Literatuur

Manfred Russ

GHG Intensity of Natural Gas Transport - Comparison of Additional Natural Gas Imports to Europe by Nord Stream 2 Pipeline and LNG Import Alternatives  
Thinkstep, Leinfelden-Echterdingen, 24/03/2017

O. Schuller, St. Kupferschmid, J. Hengstler, S. Whitehouse

Life Cycle GHG Emission Study on the Use of LNG as Marine Fuel  
Thinkstep, Leinfelden-Echterdingen, 10/04/2019

Anonymus

Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas Final Report  
EXERGIA S.A. – E3M-Lab – COWI A/S, Brussels, JULY 2015

Lorenzo Cremonese, Alexander Gusev

The Uncertain Climate Cost of Natural Gas - Assessment of methane leakage discrepancies in Europe, Russia and the US, and implications for sustainability  
Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS)  
Potsdam, December 2016

Gert Müller-Syring, Charlotte Große, Josephine Glandien, Melanie Eyßer

Critical Evaluation of Default Values for the GHG Emissions of the Natural Gas Supply Chain  
DBI-GUT, Leipzig, 15-12-2016

Thrän et al. 2017.

Global Wood Pellet Industry and Trade Study 2017.

IEA Bioenergy Task 40. June 2017.

[http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study\\_final-2017-06.pdf](http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study_final-2017-06.pdf)

[https://www.forest2market.com/hubfs/2016\\_Website/Documents/20181130\\_Forest2Market\\_Residuals\\_Market\\_Assessment\\_Final.pdf?utm\\_campaign=Residuals%20Study%20Promotion&utm\\_source=hs\\_automation&utm\\_medium=email&utm\\_content=68924779&hsenc=p2ANqtz--g400yLtgwv8AmP-\\_5RCUu2fZm1Z2XLn1-OZNgPVs3PIEFYWcMATuCi3xUcL3wNJyvKvwdkZjBwZLMUY711uuGnSFjA&hsmi=68924779](https://www.forest2market.com/hubfs/2016_Website/Documents/20181130_Forest2Market_Residuals_Market_Assessment_Final.pdf?utm_campaign=Residuals%20Study%20Promotion&utm_source=hs_automation&utm_medium=email&utm_content=68924779&hsenc=p2ANqtz--g400yLtgwv8AmP-_5RCUu2fZm1Z2XLn1-OZNgPVs3PIEFYWcMATuCi3xUcL3wNJyvKvwdkZjBwZLMUY711uuGnSFjA&hsmi=68924779)

Carbon payback period and carbon offset parity point of wood pellet production in the South-eastern United States

JAN GERRIT GEURT JONKER, MARTIN JUNGINGER and ANDRE FAAIJ

Copernicus Institute of sustainable development, University Utrecht, Utrecht, The Netherlands  
GCB Bioenergy (2014) 6, 371–389, doi: 10.1111/gcbb.12056

Life Cycle Impacts of Biomass Electricity in 2020

Scenarios for Assessing the Greenhouse Gas Impacts and Energy Input Requirements of Using North American Woody Biomass for Electricity Generation in the UK

Dr Anna L Stephenson, Professor David J C MacKay FRS

Department of Energy & Climate Change, London, July 2014

Co-firing white or torrefied wood pellets in the Netherlands?

An assessment of GHG emissions and emission savings

M.E.A. Derks

Copernicus Institute, Utrecht, 25 May 2018

B.P. Chapagain

Life Cycle Impact of Loblolly Pine (*Pinus taeda*) Management on Carbon Sequestration in the Southeastern United States

University of Florida, 2012

Understanding the Fate of Applied Nitrogen in Pine Plantations of the Southeastern United States Using <sup>15</sup>N Enriched Fertilizers

Jay E. Raymond \*, Thomas R. Fox and Brian D. Strahm

Forests 2016, 7, 270; doi:10.3390/f7110270

Carbon balance and economic performance of pine plantations for bioenergy production in the Southeastern United States

J.G.G. Jonker, F. van der Hilst, D. Markewitz, A.P.C. Faaij, H.M. Junginger

Biomass and Bioenergy 117 (2018) 44–55

Nitrogen deposition to the United States: distribution, sources, and processes

L. Zhang, D. J. Jacob, E. M. Knipping, N. Kumar, J. W. Munger,

C. C. Carouge, A. van Donkelaar, Y. X. Wang, and D. Chen

Atmos. Chem. Phys. Discuss., 12, 241–282, 2012

[www.atmos-chem-phys-discuss.net/12/241/2012/](http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/12/241/2012/)

doi:10.5194/acpd-12-241-2012

New Forests (2019) 50:733–753, <https://doi.org/10.1007/s11056-018-09696-4> 1 3

Individual tree and stand-level carbon and nutrient contents across one rotation of loblolly pine plantations on a reclaimed surface mine

Hannah Z. Angel · Jeremy S. Priest · Jeremy P. Stovall · Brian P. Oswald · Yuhui Weng · Hans M. Williams

Received: 18 March 2018 / Accepted: 11 December 2018 / Published online: 17 December 2018

Co-firing white or torrefied wood pellets in the Netherlands?

An assessment of GHG emissions and emission savings

M.E.A. Derks

Utrecht University, 25 May 2018

Dirty deception: How the Wood Biomass Industry Skirts the Clean Air Act

Patrick Anderson and Keri Powell of Powell Environmental Law

on behalf of Environmental Integrity Project. April 26, 2018

STREAM Freight transport 2016 - Emissions of freight transport modes

Matthijs Otten Maarten 't Hoen Eelco den Boer

CE Delft, January 2017

Morten Winther, Chris Dore

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019

Non-road mobile sources and machinery

Houtpelletverbranding  
Presentatie gegeven tijdens de bijeenkomst "Projectgroep biomassa & WKK"  
BLUE TERRA 26 JUNI 2018  
M. van Bommel.

Depositie verzurende stoffen en metalen Vattenfall Diemen  
Referentie: BF8334I&BRP004F03  
Royal HaskoningDHV, 15 november 2019

Luchtkwaliteitsonderzoek biomassaketel Diemen, Bijlage bij aanvraag omgevingsvergunning  
Referentie: BF8334I&BR002F03  
Royal HaskoningDHV, 15 mei 2019

Wabo-aanvraag biomassaketel Nuon  
Royal HaskoningDHV, Amersfoort, 1 augustus 2018

Ammonia and nitrous oxide gas loss with subsurface drainage and polymer-coated urea fertilizer in a poorly drained soil  
P. Nash, P. Motavalli, K. Nelson, and R. Kremer  
Journal of Soil and Water Conservation · July 2015, JULY/AUGUST 2015—VOL. 70, NO. 4, page 267 – 275

Berekening van de CO<sub>2</sub> emissies, het primair fossiel energiegebruik en het rendement van elektriciteit in Nederland  
Mirjam Harmelink, Lex Bosselaar, Joost Gerdes, Piet Boonekamp, Reinoud Segers, Hans Pouwelse, Martijn Verdonk  
Gezamenlijke publicatie van Agentschap NL, Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) en Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)  
September 2012

Anonymus  
Rendement HR-ketel - nader onderzoek tbv Warmteregeling  
Energy Matters, Driebergen, 2014

Mike Muller en Sander Lensink  
Conceptadvies SDE++ CO<sub>2</sub>-reducerende opties: Industriële restwarmte  
PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 26 juli 2019

Drs. Johan G. Vollenbroek  
College van B&W van Zaanstad  
Gemeenteraad van Zaanstad  
referentie: 8564956  
ZaandamVerzoekActBMCvergunning  
Biomassacentrale van Bio Forte BV aan de Pascalstraat te Zaandam  
Nijmegen, 26 maart 2019

Voor de Baltische Staten zijn meerdere bio-WKK's met pellet productie gekoppeld, zoals:

- Nelja Energia in Brocēni, Letland, <https://news.err.ee/602288/nelja-energia-opens-first-cogeneration-plant-pellet-factory-in-latvia>.

- LIAA, Rezekne in Letland <http://www.turbinen-technik.de/nc/news/details/news/m-m-turbines-in-increasing-demand-in-the-baltic-region/>, <https://www.host.nl/nl/case/rezekne/>
- Granuul's WKK's: <https://www.graanulinvest.com/eng/news/79/graanul-invest-group-has-finished-osula-combined-heat-and-power-plant-chp>
- <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/interview/us-scientist-methane-leakage-reports-have-an-inherent-low-bias/>

Mart-Jan Schelhaas

Klimaat-slim bosbeheer - Welke opties heb je als bosbeheerder?

29 oktober 2018

<https://bosgroepen.nl/bosgroep-noordoost-nederland/wp-content/uploads/sites/2/2018/10/Klimaat-slim-bosbeheer-OPG.pdf>

Albaugh, 2016

T. J. Albaugh, Th. R. Fox, R. L. Cook, J. E. Raymond, R. A. Rubilar, O. C. Campoe

Forest Fertilizer Applications in the Southeastern United States from 1969 to 2016

Sci. 65(3):355–362

doi: 10.1093/forsci/fxy058



Regional Office Locations

With its headquarters in Amersfoort, The Netherlands, Royal HaskoningDHV is an independent, international project management, engineering and consultancy service provider. Ranking globally in the top 10 of independently owned, nonlisted companies and top 40 overall, the Company's 6,000 staff provide services across the world from more than 100 offices in over 35 countries.

### **Our connections**

Innovation is a collaborative process, which is why Royal HaskoningDHV works in association with clients, project partners, universities, government agencies, NGOs and many other organisations to develop and introduce new ways of living and working to enhance society together, now and in the future.

### **Memberships**

Royal HaskoningDHV is a member of the recognised engineering and environmental bodies in those countries where it has a permanent office base.

All Royal HaskoningDHV consultants, architects and engineers are members of their individual branch organisations in their various countries.

### **Integrity**

Royal HaskoningDHV is the first and only engineering consultancy with ETHIC Intelligence anti-corruption certificate since 2010.



[royalhaskoningdhv.com](http://royalhaskoningdhv.com)

