

Auteurs

D. Dinkelman & H.E. Dijkstra

Onderwerp

Technische notitie – Berekening duurzaamheid geothermie in warmtenetten

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75

Deze notitie beschrijft de methode die is gebruikt bij het berekenen van de CO₂-emissies van geothermie, en geothermie in verschillende soorten warmtenetwerken in de whitepaper 'Duurzaamheid van geothermie in warmtenetten'.

Datum

December 2020

Onze referentie

060.43834/01.01

E-mail

dorien.dinkelman@tno.nl

1. Introductie

In de whitepaper 'Duurzaamheid van geothermie in warmtenetten' is de CO₂-emissie van een geothermiebron, en een geothermiebron in verschillende soorten warmtenetwerken berekend. In de recent gewijzigde Warmtewet is voor alle leveranciers van warmte die over een vergunning beschikken, de rapportageverplichting opgenomen om de duurzaamheid van de geleverde warmte en koude te rapporteren. Doel hiervan is de inzichtelijkheid in de duurzaamheidsprestatie van warmte- en koudenetten te vergroten. RVO heeft in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat een uniforme rekenmethodiek ontwikkeld waarmee de duurzaamheid van warmtenetten in stedelijk gebied en bronnen berekend kan worden. Geothermie valt hier ook onder⁷. De rekenmethodiek, beschreven in Harmelink (2020), is gebruikt voor de berekeningen in de whitepaper.

Hoofdstuk 2 beschrijft de aannames en berekening van operationele CO₂-emissies van een "gemiddelde" geothermie bron in Nederland.

Hoofdstuk 3 beschrijft de aannames en berekening voor de scenario's die zijn opgesteld voor een geothermiebron in verschillende soorten warmtenetwerken.

2. Aannames en berekening CO₂-emissies geothermiebron

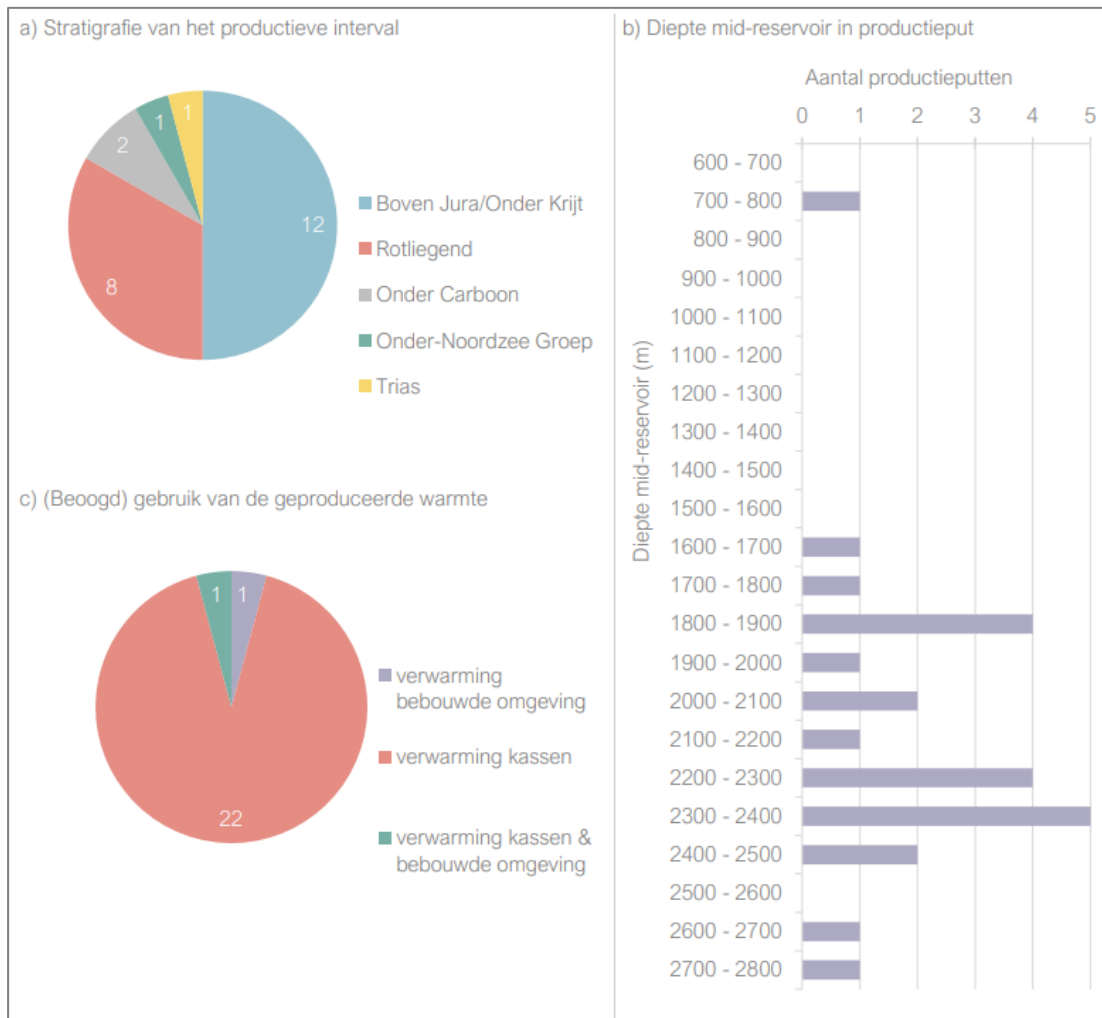
De totale operationele CO₂-uitstoot (N.B. dus geen levenscyclusanalyse) van een geothermiebron bestaat uit de uitstoot van:

- De pompen (elektriciteitsverbruik)
- Het verbranden van het formatiegas, de bijvangst.

Om tot realistische aannames van deze twee factoren te komen, is gekeken naar (productie)data van bestaande geothermiebronnen in Nederland.

Er zijn in totaal 25 aardwarmteproductiesystemen (doubletten) in Nederland in 2019. Dit is ongewijzigd ten opzichte van 2018. Eén van deze systemen, Mijnwater Energiecentrale Heerlen, gerealiseerd in 2006, valt mijnwettelijk gezien deels onder aardwarmte maar is technisch gezien een warmte-koude opslag-installatie (WKO).

Deze installatie wordt in de verdere aannames en berekeningen niet beschouwd. De overige 24 doubletten onttrekken warmte uit de diepe ondergrond, of gaan dat doen, door warm water te produceren, en afgekoeld water te injecteren. Van deze 24 doubletten waren er in 2019 21 operationeel, in de zin dat er warmteproductie is gerapporteerd, volgens de Mijnbouwwettelijke verplichting. Figuur 1 laat het aantal productieputten met de bijbehorende diepte van de watervoerende laag zien, samen met de stratigrafie van het productieve interval en het (beoogd) gebruik van de geproduceerde warmte.



Figuur 1 - a) Stratigrafie van het productieve interval, b) Diepte mid-reservoir en c) (beoogd) gebruik van de geproduceerde warmte. Bron: NLOG¹

Figuur 1 maakt duidelijk dat de meeste doubletten produceren uit watervoerende lagen van het Boven Jura/Onder Krijt (12 doubletten, waarvan 9 langer dan een jaar) operationeel en het Rotliegend (8 doubletten). Voor consistentie wordt in plaats van de stratigrafische naam 'Rotliegend' ook de tijdsperiode waarin het Rotliegend zich bevindt gebruikt: het Perm. Voor de doubletten uit het Boven Jura/Onder Krijt wordt de afkorting 'Jura/Krijt' gebruikt. De eigenschappen van de watervoerende laag en geothermieputten in deze twee stratigrafische intervallen

verschillen van elkaar met betrekking tot gemiddelde productietemperatuur, gemiddeld debiet en hoeveelheid bijvangst van formatiegas (Tabel 1 en Figuur 2). Voor de aannames van een ‘gemiddeld’ geothermie doublet is het onderscheid in deze twee stratigrafieën daardoor behouden.

Datum

December 2020

Onze referentie

060.43834/01.01

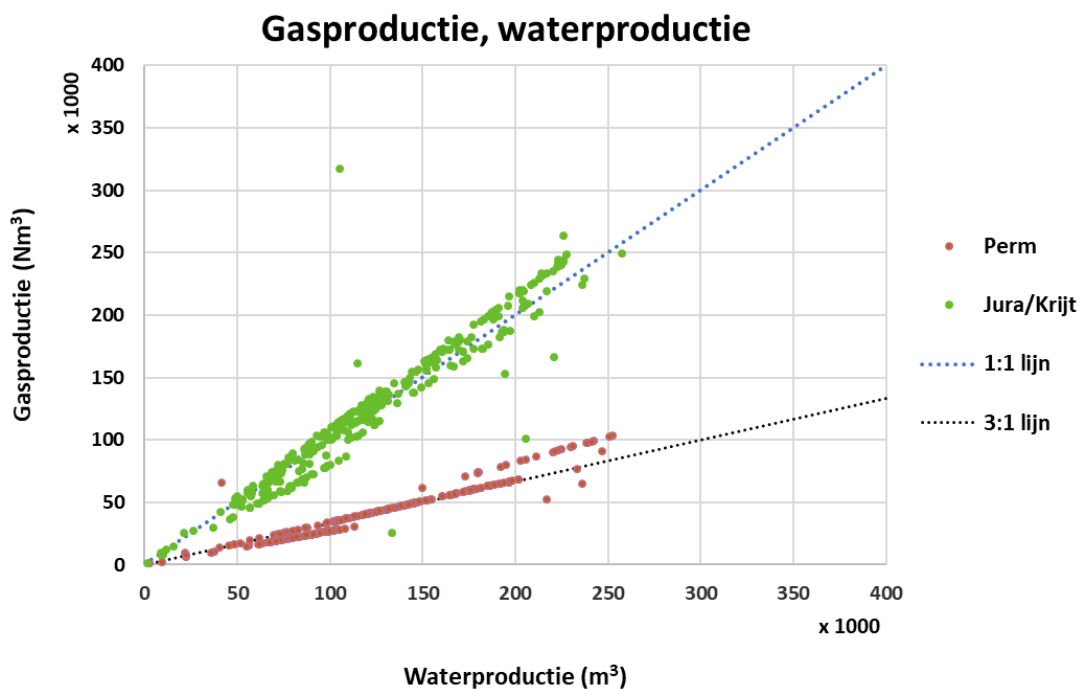
Blad

3/9

Tabel 1 - doubletdata gebruikt voor berekeningen. Bron: Confidentiële data Geologische Dienst Nederland². De data is geaggregeerd en wordt in het figuur geanonimiseerd weergegeven + berekeningen

| | Perm | Jura/Krijt |
|--|-----------|------------|
| Aantal doubletten | 8 | 9 |
| Gemiddelde productietemperatuur [°C] | 82 | 75 |
| Gemiddelde injectie temperatuur [°C] | 32 | 31 |
| Gemiddeld debiet [m3/h] | 213 | 183 |
| Gemiddelde draaiuren [h/jr] | 6657 | 8096 |
| Gemiddelde geconsumeerde elektriciteit per doublet [GJ/jr] | 21545 | 13315* |
| Gemiddelde geproduceerde energie per doublet [GJ/jr] | 337475 | 315966* |
| COP [-] | 16 (15,7) | 24* (23,7) |
| Gemiddelde hoeveelheid bijvangst per geproduceerd water [Nm3/m3] | 0,3 | 1,0 |

* op basis van 6 doubletten, door onvolledige elektriciteitsdata bij andere drie doubletten.



Figuur 2 - Gasproductie per reservoir. De punten geven voor de doubletten de hoeveelheid geproduceerd gas ten opzichte van de hoeveelheid omhoog gebracht water per maand aan. Bron: Confidentiële data Geologische Dienst Nederland³. De data is geaggregeerd en wordt in de figuur geanonimiseerd weergegeven.

Figuur 2 laat het verschil in bijvangst zien tussen de doubletten die produceren uit aquifers uit het Perm versus die uit Jura/Krijt; 1,0 Nm³/m³ gasproductie voor het Jura/Krijt en 0,3 Nm³/m³ voor het Perm.

De Coefficient of Performance (COP) geeft de verhouding aan tussen de geproduceerde geothermische energie en de benodigde pompenergie. Een COP van 20 wordt onder Nederlandse geologische condities als redelijkerwijs haalbaar beschouwd.⁴

Het is in principe mogelijk de COP van het hele geothermiesysteem te berekenen. In deze studie is echter de nadruk gelegd op de COP van de pompen. Dit is gedaan door de gemiddelde jaarlijkse geproduceerde per jaar te delen door de gemiddelde jaarlijkse elektriciteitsconsumptie van de pompen.

Berekening CO₂-emissie pompen

Voor een geothermiedoublet worden de volgende rekenregels gehanteerd conform de rekenmethodiek van Harmelink (2020)⁷. De hulpenergie voor de pompen moet worden berekend conform de berekening 'restwarmte zonder elektriciteitsproductie' (paragraaf 7.6)⁷:

- CO₂-emissie [kg] = Elektriciteitsgebruik uitkoppeling [GJe] * Primair fossiele energie-inzet elektriciteit landelijk net [GJp/GJe] * CO₂-emissie elektriciteit landelijk net [kg/GJp]
- Primair fossiele energie-inzet voor Restwarmte [GJp] = Elektriciteitsgebruik uitkoppeling [GJe] * Primair fossiele energie-inzet elektriciteit landelijk net [GJp/GJe]
- Restwarmtegebruik [GJr] = Warmteproductie [GJth]

Kengetallen voor de CO₂-emissie elektriciteit landelijk net en primair fossiele energie-inzet elektriciteit landelijk zijn verkregen uit de Klimaat- en Energieverkenning 2019 van het Planbureau voor de Leefomgeving⁵ (Tabel 2).

Tabel 2 – Rendement en CO₂-emissiefactor elektriciteit bij gebruiker, volgens integrale methode.

| Projecties Klimaat en Energieverkenning 2019 en 2020 | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 2015 ⁵ | 2017 ^{*5} | 2018 ^{*6} | 2019 [*] | 2020 ⁵ | 2025 ⁶ | 2030 ⁶ |
| Rendement op primair fossiel [%] | 49,1 | 54,5 | 56,4 | | 78,0 | 0,961 | 153,2 |
| CO ₂ -emissiefactor [kg CO ₂ /kWh] | 0,53 | 0,45 | 0,43 | | 0,30 | 0,23 | 0,12 |

** Voorlopige gegevens, 2019 gegevens nog niet beschikbaar.*

De CO₂-emissie van een geothermiebron is uitgerekend voor de jaren 2015, 2020, 2030 en 20XX. De CO₂-emissiefactor van de elektriciteit neemt af naarmate het elektriciteitsnet verduurzaamt⁵. Voor de berekeningen in 20XX is aangenomen dat het net volledig duurzaam is en dat de CO₂-emissie van de pompen als gevolg hiervan nul is.

Berekening CO₂-emissie bijvangst

De rekenmethodiek opgesteld door Harmelink⁷ beschrijft dat de bijvangst op twee manieren kan worden berekend:

1) indien de bijvangst wordt afgefakkeld moeten de CO₂-emissies worden toegekend aan de gewonnen aardwarmte, en geldt de emissiefactor voor aardgas uit de brandstoffenlijst van RVO⁸.

2) indien de bijvangst wordt ingezet voor de productie van warmte in een ketel, worden de uitgangspunten en rekenregels voor een ketel als warmtebron gehanteerd (paragraaf 7.5 Warmtebron: Ketel). In de praktijk is het affakkelen van bijvangst iets wat zelden of nooit gebeurt⁹. In de berekeningen is daarom aangenomen dat de bijvangst wordt ingezet voor de productie van warmte in een ketel.

Rekenregels voor bijvangst:

- CO₂-emissie [kg] = Brandstofinzet [GJp] * CO₂-emissiefactor brandstofinzet ketel [kg/GJ]
- Primair fossiele energie-inzet voor warmte (GJp) = Brandstofinzet [GJp] * Primair fossiele energie-factor brandstof ketel
- Hernieuwbaar energiegebruik [GJh] = Warmteproductie [GJth] * (1- Primair fossiele energiefactor brandstof ketel)

Er moet in alle berekeningen worden gerekend met de energetische bovenwaarde⁷ van de brandstof. De energetische bovenwaarde van een brandstof bestaat uit de warmte die vrijkomt bij de verbranding, inclusief de condensatiewarmte van de verbrandingsgassen. De laatste wordt bij de energetische onderwaarde niet meegenomen. Om de onderwaarde van aardgas (31,65 MJ/m³) om te rekenen naar de bovenwaarde, wordt een factor 1,11 gebruikt (bijlage 1)⁷. Hieruit volgt een calorische bovenwaarde van 35,13 MJ/m³ voor aardgas.

De samenstelling van gas dat geproduceerd wordt door geothermiedoubletten verschilt mogelijk van die van gasvelden (waaronder Gronings aardgas). Een groot deel van de doubletten produceert gas met een hoog percentage methaan (CH₄), wat lijkt op de samenstelling van gas uit gasvelden. Er zijn echter ook doubletten die een grotere hoeveelheid CO₂ bevatten. Er is geen informatie beschikbaar over CO₂-emissiefactoren voor verschillende gassamenstellingen. Daarom is voor de berekeningen van de CO₂-emissie van de bijvangst de CO₂-emissiefactor van 'standaard' aardgas gebruikt; 50,8 kgCO₂/GJ (bovenwaarde, NTA8800¹⁰). Een waardevolle verdiepingsslag kan gemaakt worden door onderzoek te doen naar verschillen van CO₂-emissie van verschillende samenstellingen van het formatiegas.

Voor berekening van de CO₂-uitstoot van de bijvangst moet het rendement van de gasketel in aanmerking worden genomen. De waarde hiervan is 80% (bovenwaarde) conform de NEN 7125:2015¹¹.

3. Aannames en berekening CO₂-emissies geothermiebron in warmtenetwerk

Datum

December 2020

Onze referentie

060.43834/01.01

Blad

6/9

CO₂-emissies in een warmtenetwerk komen voor uit de volgende onderdelen:

- **Bronemissies**
Voor geothermie zijn deze opgebouwd uit emissies samenhangend met het gebruik van pompen en uit bijvangst (hoofdstuk 2). De bijvangst wordt verbrand in een ketel. Deze warmte is onderdeel van de totaal geleverde warmte van de geothermiebron.
- **Emissie uit bijstook**
Dit is in bestaande warmtenetten vaak een ketel op aardgas. Hier is in de berekeningen ook mee gerekend.
- **Warmteverliezen in (distributie)leidingen**
Warmteverlies bij watertransport in het warmtenetwerk is onvermijdelijk, ongeacht de mate van isolatie van de leidingen. Hierdoor moet meer energie in het warmtenet gevoerd worden dan nodig is voor gebruik. De grootte van het verlies is sterk afhankelijk van de samenstelling van de aangesloten klantengroep en dan met name de verhouding tussen groot- en kleinverbruikers (woningen). Een warmtenet met veel grote afnemers heeft relatief weinig dunne leidingen en daardoor minder warmteverlies. Voor het type netwerken waar in deze studie rekening wordt gehouden (relatief klein met vooral individueel aangesloten woningen) ligt het verlies tussen 10 en 30%¹². De warmteverliezen van de huidige warmtenetten (groot, met hoge temperaturen) liggen rond de 30%¹². Het grootste deel van het verlies treedt op bij distributie in de wijk, door de vertakking van de leidingen¹². Voor de berekening van de emissie door warmteverliezen wordt het warmteverlies als een percentage van de totale emissie beschouwd.
- **Hulpenergie voor transportpompen**
De hulpenergie voor de transportpompen die het water rondpompen in het warmtenet is over het algemeen te verwaarlozen ten opzichte van de warmteverliezen in de leidingen. In bestaande warmtenetten ligt is de benodigde hoeveelheid hulpenergie ongeveer 1,26% van de geleverde warmte¹¹. Voor de berekeningen is de bijdrage van pompenergie aan de totale emissies daarom verwaarloosd, en zijn alleen de warmteverliezen in de leidingen meegenomen.
- **Eventuele emissies van een warmtepomp.**
Dit zijn emissies als gevolg van elektriciteitsverbruik dat nodig is voor het opwaarderen van de aanvoertemperatuur uit de bron, indien deze te laag is voor het net, en voor het eventueel verlagen van de retourtemperatuur (extra uitkoeling). Deze emissies zijn niet geëvalueerd in de base case berekeningen, maar uitkoeling door middel van een warmtepomp is wel als een scenario toegevoegd.

Omdat er geen 'standaard' warmtenet bestaat dat waarvan de eigenschappen gebruikt kunnen worden voor de berekeningen, is een aantal scenario's opgesteld voor warmtenetwerken voor de CO₂-emissie berekeningen voor een geothermiebron in een warmtenetwerk:

- Optimaal net (gegevens Eneco)
- Optimaal net, zonder bijvangst (inschatting)
- Optimaal net, met warmtepomp voor uitkoeling (gegevens Eneco)
- Groot net, bijstook op aardgas (gegevens Eneco)
- Groot net, bijstook biomassa geen emissie (gegevens Vattenfall)
- Groot net, bijstook biomassa emissie (gegevens Vattenfall)
- Casestudy toekomstig warmtenet Zwolle (gegevens RESULT, Gemeente Zwolle)

Datum

December 2020

Onze referentie

060.43834/01.01

Blad

7/9

Hiervoor wordt per onderdeel in het warmtenetwerk aangegeven welk percentage van de warmtevraag wordt geleverd door elk onderdeel (bron, warmtepomp, bijstook, netverlies). Aannames hiervoor zijn herleid uit dagwaardeberekeningen van Eneco:

“De inzet van geothermie in een warmtenet is afhankelijk van onder andere de warmtenetwerk-debieten, uitkoeling, geo-water debieten, inzet van formatiegasketels en piekgasketels. Door de sterke variatie in de warmtevraag variëren deze parameters sterk door het jaar heen. Daar waar de inzet en duurzaamheid van aardwarmte in het verleden vaak werd geschat aan de hand van COP-aannames en vollasturen, heeft Maarten Koop (Eneco) een model ontwikkeld om de impact van deze dynamiek beter mee te nemen. Dit model houdt rekening met de daggemiddelde vraag (aangenomen dat dagpieken gedempt worden met een warmtebuffer) en bepaald per dag hoe hard de geo-pomp moet draaien (60%, 80% of 100%). Tevens wordt hierin een eventuele ammoniak warmtepomp gemodelleerd met de daadwerkelijk vloeistofeigenschappen in plaats van jaargemiddelde COP-aannames.”

– Roald Arkestijn, Eneco.

Tabel 3 - Overzicht warmtenetscenario's.

| Scenario | geothermie bron | bijstook biomassa | bijstook aardgas | warmtepomp | warmteverlies |
|-------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|------------|---------------|
| Optimaal net | 80% | | 20% | | 20% |
| Optimaal net zonder bijvangst | 75% | | 25% | | 20% |
| Optimaal met warmtepomp | 90% | | 5% | 5% (COP=5) | 20% |
| Groot net – bijstook aardgas | 60% | | 40% | | 25% |
| Groot net – bijstook biomassa | 70% | 25% | 5% | | 25% |
| Groot net – bijstook biomassa | 70% | 25% | 5% | | 25% |
| Case study Zwolle | 80% | | 20% | | 10% |

De emissies zijn per onderdeel uitgerekend met gebruikmaking van de percentages uit Tabel 3. Tabel 4 geeft de emissiefactoren.

- $E_{\text{geothermiebron}} = \text{aandeel geothermie bron [\%]} * \text{CO}_2\text{-emissie geothermiebron totaal (pompen + bijvangst) [kg/GJ]}$
- $E_{\text{bijstook aardgas}} = \text{aandeel bijstook aardgas [\%]} * \text{emissiefactor bron [kg/GJ]} / \text{rendement [\%]}$

- $E_{\text{bijstook biomassa}} = \text{aandeel bijstook biomassa [\%]} * \text{emissiefactor aardgas [kg/GJ]} / \text{rendement gasketel [\%]}$
- $E_{\text{warmtepomp}} = \text{aandeel warmtepomp [\%]} * (1/\text{COP}_{\text{warmtepomp}}) * (1/\text{rendement op primair fossiel [\%]}) * \text{CO}_2\text{-emissiefactor landelijk net [kg/GJ]}$
- $\text{Totale emissies} = (E_{\text{geothermiebron [kg/GJ]}} + E_{\text{bijstook biomassa [kg/GJ]}} + E_{\text{bijstook aardgas [kg/GJ]}} + E_{\text{warmtepomp [kg/GJ]}}) / (1 - \text{aandeel netverlies [\%]})$
- $E_{\text{netverlies}} = \text{aandeel netverlies [\%]} * \text{Totale emissies}$

Datum
December 2020

Onze referentie
060.43834/01.01

Blad
8/9

Tabel 4 - Overzicht emissiefactoren brandstof, rendement, primaire energie factor en emissiefactor warmtevraag kant.

| | CO2 emissiefactor [kg/GJ] | Rendement /COP [-] | Emissiefactor geproduceerde warmte [kg/GJ] | Bron: |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------------|--|--|
| Aardgasketel (NL) | 50.8 | 0.8 | 63.5 | NEN (2020), rendement 80% uit NEN (2015) |
| Aftapwarmte/WKK MD (aardgas) 2020 | | | 13 | Greenvis ¹³ (2020) |
| Aftapwarmte/WKK MD (aardgas) 2030 | | | 5 | Greenvis (2020) |
| Aquathermie met WP 2020 | | | 21 | Greenvis (2020) |
| Aquathermie met WP 2030 | | | 6 | Greenvis (2020) |
| AVI - forfaitair 2020 | | | 9.8 | Greenvis (2020) |
| AVI - forfaitair 2030 | | | 4.2 | Greenvis (2020) |
| Biogas | 0 | 0.55 | 0 | NEN (2020) |
| Biomassa, geen emissie | 0 | | 0 | NEN (2020) |
| Biomassa, uit NL | 4.8 | 1.08 | 4.4 | RHDHV ¹⁴ (2020) |
| Biomassa, uit VS, pulphout | 15.5 | 1.01 | 15.3 | RHDHV (2020) |
| Biomassa, uit VS, resthout | 11.5 | 1.01 | 11.4 | RHDHV (2020) |
| Restwarmte 2020 | | | 8.3 | Greenvis (2020) |
| Restwarmte 2030 | | | 2.5 | Greenvis (2020) |
| Russisch aardgas | 63.7 | 0.89 | 71.6 | RHDHV (2020) |
| STEG | | | 18.3 | CE Delft ¹⁵ (2016) |

Referenties

- 1 NLOG. <https://www.nlog.nl/geothermie-overzicht>
- 2 Confidentiële data Geologische Dienst Nederland. De data is geaggregeerd en wordt in het figuur geanonimiseerd weergegeven.
- 3 Confidentiële data Geologische Dienst Nederland. De data is geaggregeerd en wordt in het figuur geanonimiseerd weergegeven.
- 4 Lako et al. (2011). Geothermische energie en de SDE. Inventarisatie van de kosten van geothermische energie bij opname in de SDE. ECN/KEMA, februari 2011. Van: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwig07TVsNnsAhVJM-wKHV_kAf4QFjAAegQIBhAC&url=https%3A%2F%2Fpublications.tno.nl%2Fpublication%2F34629099%2F593ZCN%2Fe11022.pdf&usg=AOvVaw22dGOH-ztB1Ee49m_APACmx
- 5 Schoots, K. & P. Hammingh (2019), Klimaat- en Energieverkenning 2019, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving
- 6 PBL, TNO, CBS en RIVM (2020). Klimaat- en Energieverkenning 2020, Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving
- 7 RVO (2019, update 2020). Duurzaamheid van warmte- & koudelevering. Voorstel voor inhoud van de rapportageverplichting onder de Warmtewet. Eindrapport versie 3.
- 8 Zijlema (2020). Jaarlijkse update Nederlandse brandstoffenlijst. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/03/Nederlandse-energiedragerlijst-versie-januari-2020.pdf>
- 9 RIVM (2017). Toets wettelijke controle affakkelen en afblazen aardgas. Onderzoek voor de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom. RIVM Briefrapport 2017-0114.
- 10 NEN (2020). NTA 8800 (nl). Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode.
- 11 NEN (2015). NEN 7125. Energieprestatienorm voor maatregelen op gebiedsniveau (EMG) – Bepalingsmethode.
- 12 Seegers et al. (2019). Warmtemonitor 2019. <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2020/35/warmtemonitor-2019>
- 13 Greenvis (2020). Inventarisatie duurzaamheid warmtenetten, Normstelling CO2-emissie Wet collectieve Warmtevoorziening
- 14 HaskoningDHV Nederland B.V. (2020). Warmte uit aardgas of biomassa? Referentie: BH1516I&BRP001F01. https://www.nvde.nl/wp-content/uploads/2020/03/BH1576-6-mei_def.pdf
- 15 Schepers, B.L. & Scholten, T. (2016). Ketenemissies warmtelevering. CE Delft. Publicatienummer: 16.3H06.06.

Datum

December 2020

Onze referentie

060.43834/01.01

Blad

9/9