



Verduurzaming bronnen voor warmtenetten

Opgave, onrendabele top en
knelpunten richting 2030



Committed to the Environment

Verduurzaming bronnen voor warmtenetten

Opgave, onrendabele top en knelpunten richting 2030

Dit rapport is geschreven door: Marianne Teng en Katja Kruit

Delft, CE Delft, juli 2023

Publicatienummer: 23.230169.106

Opdrachtgever: NVDE

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Marianne Teng (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 45 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	6
	1.1 Aanleiding	6
	1.2 Onderzoeksvragen	6
	1.3 Scope	7
	1.4 Leeswijzer	7
2	Opbouw analyse	8
	2.1 Aanpak in het kort	8
	2.2 Huidige warmteaanbod	9
	2.3 Toekomstige bronnenmix	10
	2.4 Berekenen onrendabele top	13
	2.5 Projecten in de pijplijn	15
3	Huidig warmteaanbod	16
	3.1 Warmteproductie in 2022	16
	3.2 Huidige warmtenetten	17
4	Ontwikkelingen richting 2030	20
	4.1 Randvoorwaarden 2030	20
	4.2 Ontwikkelingen bestaande warmtebronnen	20
	4.3 Groei van warmtenetten	22
	4.4 Ontwikkelingen nieuwe warmtebronnen	23
5	Resultaten	26
	5.1 Bronnenmix 2030	26
	5.2 CO ₂ -emissies	27
	5.3 Onrendabele top en benodigde SDE-middelen	29
	5.4 Knelpunten	34
6	Conclusies	38
7	Literatuur	40
A	Betrokken partijen	41
B	Gebruikte rekenwaarden	42
	B.1 Ontwikkeling bestaande warmtebronnen	42
	B.2 Ontwikkeling nieuwe warmtebronnen	42
	B.3 Ontwikkelingen specifieke netten	43
	B.4 Verdeling basis-, midden- en pieklast	43
	B.5 CO ₂ -intensiteit warmtebronnen	44
	B.6 Onrendabele top	45



Samenvatting

Om de gebouwde omgeving te verduurzamen zullen de komende jaren veel meer woningen op een warmtenet worden aangesloten. Door duurzaamheidseisen in de Wet collectieve warmte en ambities uit het Klimaatakkoord zal het leeuwendeel van de warmte uit duurzame bronnen moeten komen, zoals restwarmte en geothermie. Veel van deze bronnen kennen naar verwachting in de komende jaren een onrendabele top. Voor het dekken van de onrendabele top bestaat de SDE++-subsidiereregeling, maar het is op dit moment nog onduidelijk welk budget hiervoor in totaal vereist is. In dit rapport is onderzocht, hoe groot de totale onrendabele top is van de duurzame warmtebronnen die nodig zijn om de verduurzamingsdoelen voor warmtenetten in 2030 te behalen.

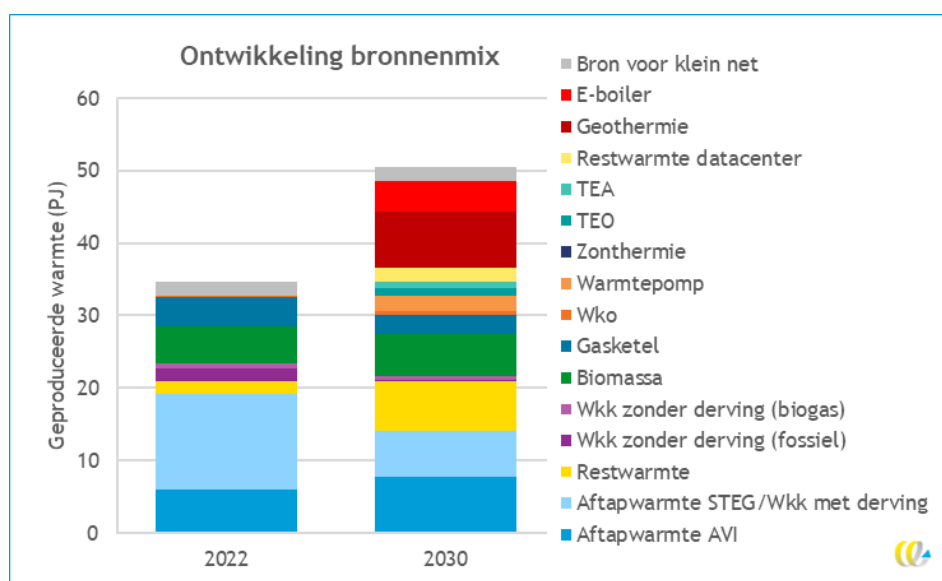
Huidige warmtebronnenmix

De duurzaamheidsrapportages van de Nederlandse warmtebedrijven geven inzicht in de huidige bronnenmix en CO₂-intensiteit van de warmtenetten. In de huidige warmtenetten wordt voor het merendeel aftapwarmte van stoom- en gascentrales (STEG), afvalverbrandingsinstallaties (AVIs) en biomassacentrales gebruikt. De gemiddelde CO₂-intensiteit van de totale Nederlandse warmtebronnenmix is 26,5 kg CO₂/GJ. Dit is substantieel hoger dan de doelstelling in 2030 van 18,9 kg CO₂/GJ uit het Klimaatakkoord. Daarnaast staat er een eis voor de CO₂-intensiteit per afzonderlijk warmtenet in het wetsvoorstel collectieve warmte (Wcw) van 25 kg CO₂/GJ. Ruim twee derde van de grote en ruim 15% van de middelgrote warmtenetten voldoet nu al aan deze eis.

Verduurzaming bronnenmix

Op basis van de data over de huidige situatie, de groeiambities uit het Klimaatakkoord en de duurzaamheidseisen voor 2030 hebben we ingeschat welke warmtebronnenmix in 2030 verwacht kan worden. Voor elk type hoofdbron is een voorkeurslijst van realistische duurzame alternatieven opgesteld rekening houdend met de potentie en kosten, welke is getoetst bij warmtebedrijven. Figuur 1 geeft de huidige bronnenmix en de resultaten van deze analyse.

Figuur 1 - De warmteproductie per warmtebron in 2022 en de verwachting voor 2030



In Figuur 1 is te zien dat verduurzaming van de warmtebronnenmix leidt tot een sterke diversificatie van warmtebronnen. Vooral de productie van aftapwarmte uit STEG of wkk met derving neemt sterk af, omdat deze installaties door lage elektriciteitsprijzen minder uren zullen draaien. Restwarmte uit industrie heeft de grootste toename. Warmte uit AVIs neemt ook toe, ondanks landelijk beleid gericht op het verminderen van afval, waardoor AVIs mogelijk minder warmte kunnen gaan produceren. De warmteproductie van AVIs, die nu al als warmtebron worden ingezet, neemt af of blijft gelijk. Daarnaast wordt naar verwachting een aantal AVIs die nu nog geen warmte leveren, op een warmtenet aangesloten. Hierdoor neemt de totale warmteproductie uit AVIs toe. Ook de productie van warmte uit biomassa neemt toe in de geprognostiseerde bronnenmix, ondanks de maatschappelijke discussie rond biomassa. Dit komt door de aanname dat biomassa projecten in de pijplijn doorgang vinden.

De kenmerken van een warmtebron bepalen welke rol een warmtebron heeft in de warmteproductie: basislust, middenlast of pieklust. De verduurzaming van de warmtelevering tot 2030 wordt vooral bereikt door verduurzaming van de basislust. Volgens de warmtebedrijven is hogetemperatuuropslag op grote schaal voor 2030 nog niet haalbaar en is verduurzaming van de midden- en pieklust, met de duurzame bronnen die nu beschikbaar zijn, een grote uitdaging. Uit de analyse blijkt dat zonder hogetemperatuuropslag en met beperkte verduurzaming van de middenlast, de doelen voor 2030 gehaald kunnen worden. Het verduurzamen van de middenlast heeft hogere kosten (per GJ) dan het verduurzamen van de basislust. Maar het inzetten van biomassa in de middenlast beperkt deze kosten zeer.

Met de verwachte bronnenmix in 2030 is de gemiddelde CO₂-intensiteit van warmte voor warmtenetten 10,5 kg CO₂/GJ. Hiermee wordt de doelstelling uit het Klimaatakkoord van 18,9 kg CO₂/GJ ruimschoots gehaald. Ook halen bijna¹ alle warmtenetten de CO₂-eis van 25 kg CO₂/GJ uit de Wcw. Dat het doel voor de gemiddelde warmtelevering zo ruim wordt behaald ligt enerzijds aan de eis voor individuele netten, die ook het gemiddelde omlaag haalt, en anderzijds aan autonome ontwikkelingen, zoals de afname van emissiefactoren en het afschalen van warmteproductie uit AVIs en STEGs.

Onrendabele top

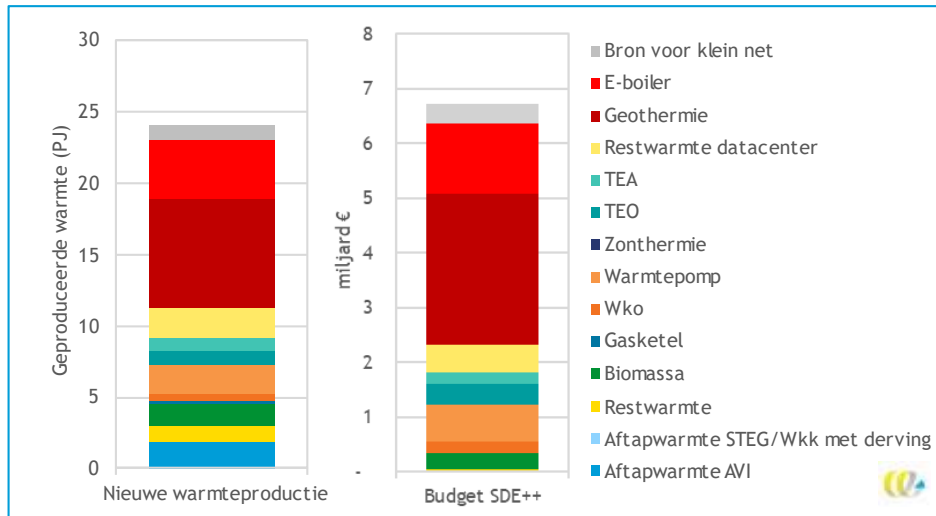
In 2030 is 24 PJ warmteproductie uit nieuwe warmtebronnen nodig om de doelen voor 2030 te halen. De onrendabele top van de nieuwe warmtebronnen in 2030 is 374 (252-500) miljoen euro per jaar. Voor het afdekken van deze onrendabele top bestaat de SDE++-subsidie. Het totaal benodigde SDE++-budget dat gereserveerd zou moeten worden² voor de looptijd van de subsidie (meestal vijftien jaar) is 6,7 miljard euro. Dit is het bedrag voor de nieuw te ontwikkelen bronnen, dus exclusief SDE++-beschikkingen die doorlopen voor bestaande bronnen.

¹ Twee netten voldoen net niet aan de CO₂-eis. Dit komt door relatief hoge warmteverliezen in deze netten.

² In de praktijk hoeft dit SDE++-budget nooit volledig aan subsidies te worden uitgekeerd. Zie ook het antwoord op vraag 5 van Ministerie van EZK, 2023.



Figuur 2 - Nieuwe warmteproductie en bijbehorende budgetreservering voor de SDE++



Knelpunten

Uit interviews met vijf warmtebedrijven volgt dat zij de doorlooptijd van het ontwikkelen van nieuwe warmtebronnen niet als knelpunt zien om de verduurzaamde warmtebronnenmix te realiseren. De warmtebedrijven hebben al voldoende projecten in de pijplijn. Wel zien zij, naast financiële knelpunten die kunnen worden weggenomen met behulp van de SDE++, enkele andere knelpunten voor de verduurzaming van de warmtelevering in 2030:

- Verduurzaming van netten met een wkk zonder derving³ als hoofdbron is zeer lastig. Het is een grote uitdaging alternatieve duurzame warmtebronnen te vinden, vanwege gebrek aan fysieke ruimte voor een alternatieve bron en hoge investeringskosten voor alternatieve bronnen.
- Netcongestie en hoge nettarieven zorgen voor uitvoeringsproblemen bij het installeren van e-boilers en ontsluiten van nieuwe warmtebronnen die een warmtepomp nodig hebben. Zonder deze warmtebronnen zal het waarschijnlijk niet mogelijk zijn voldoende duurzame warmte te produceren om de doelen voor 2030 te halen.
- Seizoensopslag van warmte is nog niet ver genoeg ontwikkeld om een aanzienlijke bijdrage te leveren in de verduurzaming van warmtenetten. Tot 2030 kunnen warmtenetten verduurzamen met een beperkte inzet van seizoensopslag.
- Duurzame bronnen beperken zich vooralsnog tot een rol in de basislast. Dit knelt vooral wanneer de midden- en pieklast volledig verduurzaamd moeten worden na 2030.
- Het feit dat warmtenetten in publiek eigendom komen (wetsvoorstel voor de Wet collectieve warmte), zorgt voor onzekerheid voor commerciële warmtebedrijven. Dit maakt dat zij op dit moment terughoudend zijn met het doen van nieuwe investeringen in de warmtenetten en aansluitingen. Dit leidt ook tot vertraging bij het ontwikkelen van nieuwe warmtebronnen.

³ Bij een wkk zonder derving gaat de warmte niet ten koste van een deel van de elektriciteitsproductie.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Om de gebouwde omgeving te verduurzamen zullen warmtenetten in de komende jaren sterk uitgebreid worden en moet de warmtelevering duurzamer zijn. Door duurzaamheidseisen uit de Wet collectieve warmte en ambities uit het Klimaatakkoord zal het leeuwendeel van de warmte uit duurzame bronnen komen.

Veel van deze bronnen kennen (naar verwachting) in de komende jaren een onrendabele top. Voor het dekken van deze onrendabele top is onder andere SDE++ beschikbaar, maar het is op dit moment nog onduidelijk hoeveel budget daarvoor nodig zal zijn. Daarom heeft de NVDE, namens de Samenwerkingstafel Bronnen en Systemen, vallend onder het Uitvoeringsoverleg Gebouwde Omgeving van het Klimaatakkoord, aan CE Delft gevraagd te onderzoeken hoeveel budget nodig is om de onrendabele top te dekken van warmtebronnen die nodig zijn om het verduurzamingsdoel voor warmtebronnen in warmtenetten te kunnen halen. De inhoudelijke begeleiding hiervan is verzorgd door NVDE, Vattenfall en het ministerie van EZK.

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat warmtebedrijven een groei in aansluitingen op warmtenetten realiseren oplopend naar circa 80.000 woningequivalenten per jaar in 2025. Dit resulteert in 40 PJ warmtelevering in 2030 (Rijksoverheid, 2019). Ook noemt het Klimaatakkoord dat de gemiddelde CO₂-intensiteit van de geleverde warmte daalt naar 18,9 kg CO₂/GJ (Rijksoverheid, 2019). Daarnaast geldt, volgens de conceptversie van de Wet collectieve warmte, voor elk individueel warmtenet in 2030 een maximale CO₂-intensiteit van 25 kg CO₂ per GJ geleverde warmte (Rijksoverheid, 2020). Om deze doelen en eisen te halen, moeten nieuwe duurzame warmtebronnen ontwikkeld worden. In deze studie onderzoeken we wat het budget van de SDE++ zou moeten zijn, om de onrendabele top voor deze nieuwe warmtebronnen te dekken.

1.2 Onderzoeksvragen

De hoofdvraag luidt: *'Hoeveel subsidiebudget is nodig om de onrendabele top te dekken voor de nieuwe warmtebronnen die nodig zijn om de doelen in 2030 te halen?'*

Deze vraag beantwoorden we aan de hand van een aantal deelvragen:

1. **Huidig warmteaanbod:** Wat is de huidige bronnenmix en CO₂-intensiteit van de warmtenetten?
2. **Toekomstige bronnenmix:** Hoe kan de warmtebronnenmix in 2030 eruit zien, om aan de duurzaamheidseisen voor 2030 te voldoen?
3. **Berekenen onrendabele top:** Wat is de onrendabele top van de nieuwe bronnen?
4. **Projecten in de pijplijn:** In hoeverre volstaan projecten die momenteel bij marktpartijen in voorbereiding zijn om de voorziene bronnenmix voor 2030 te realiseren? En welke knelpunten spelen daar mogelijk een rol bij?

1.3 Scope

Dit onderzoek richt zich op de ontwikkeling van duurzame warmtebronnen tussen nu en 2030 en wat er nodig is om de gestelde doelen te bereiken. Als indicatie van de bijbehorende onrendabele top maken we gebruik van de methodiek en kostendata die in de SDE++ worden gebruikt, hoewel er ook andere methoden denkbaar zijn om deze onrendabele top te dekken. Het doel is niet om de bronnenmix van energie in 2030 te voorspellen, maar om de relatie tussen financiële middelen en groei/duurzaamheidsdoelstellingen voor warmtenetten te laten zien. De in deze studie ingeschatte bronnenmix moet dan ook als niet meer dan indicatief worden gezien.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft hoe de analyse voor dit onderzoek is opgebouwd. **Hoofdstuk 3** geeft een beeld van de huidige warmtelevering en warmtebronnenmix. **Hoofdstuk 4** beschrijft welke ontwikkelingen in de warmtebronnenmix verwacht worden tussen 2022 en 2030. Dit leidt tot een warmtebronnenmix en bijbehorend subsidiebudget als resultaat in **Hoofdstuk 5**. **Hoofdstuk 6** geeft vervolgens de conclusies.

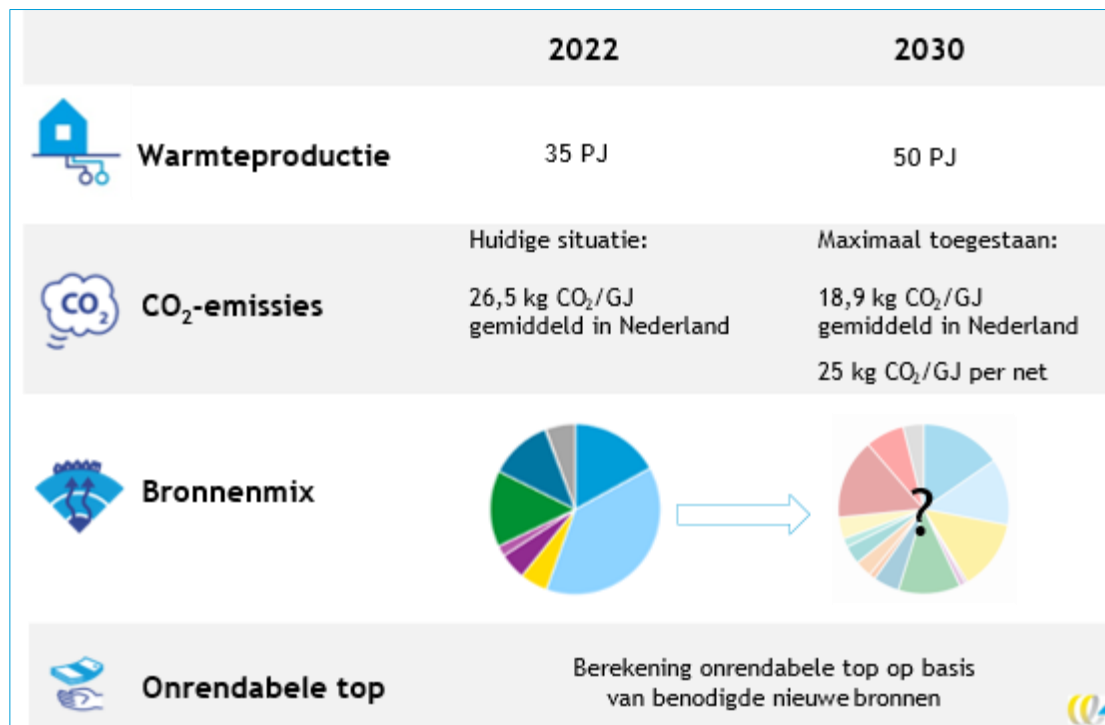
2 Opbouw analyse

In dit hoofdstuk beschrijven we de onderzoeksaanpak.

2.1 Aanpak in het kort

Dit onderzoek beantwoordt de vraag ‘Hoeveel subsidiebudget is nodig om de onrendabele top te dekken voor de nieuwe warmtebronnen die nodig zijn om de doelen in 2030 te halen?’ Figuur 3 geeft een overzicht van de situatie in 2022, de gewenste situatie in 2030 en de aanpak om de onderzoeksvraag te beantwoorden. De basis is de huidige duurzaamheidsrapportages van warmtebedrijven. De groei naar 40 PJ benodigde warmtelevering uit het Klimaatakkoord vertalen we in deze studie, rekening houdend met verliezen, naar 50 PJ warmteproductie⁴. Deze groei en de duurzaamheidseisen beschouwen we als een gegeven. Vervolgens maken we op basis van rekenregels een projectie van hoe de warmtebronnenmix in 2030 eruit ziet. Met het verschil tussen de warmtebronnenmix in 2030 en 2022 berekenen we het benodigde budget om de onrendabele top van de nieuwe warmtebronnen te dekken, conform de systematiek in de SDE++.

Figuur 3 - Overzicht van de situatie in 2022, de gewenste situatie in 2030 en de aanpak om de onderzoeksvraag te beantwoorden. De CO₂ emissies zijn in kg CO₂ per geleverde GJ warmte



⁴ De 50 PJ-productie is meegegeven vanuit de opdracht. In 2022 was het gemiddelde warmteverlies van alle warmtenetten 25%. Door uit te gaan van 50 PJ nemen we dus aan dat de totale warmteverliezen afnemen naar 20%.

Het onderzoek bestaat uit een aantal stappen:

1. **Huidige warmteaanbod:** We brengen de huidige bronnenmix en CO₂-intensiteit van de warmtenetten in kaart aan de hand van de duurzaamheidsrapportages van warmtebedrijven.
2. **Toekomstige bronnenmix:** We maken een indicatieve inschatting van de warmtebronnenmix in 2030. Dit doen we op basis van de data over de huidige situatie, de groeiambities en duurzaamheidseisen voor 2030 en andere ontwikkelingen die invloed hebben op de warmtebronnenmix. Gesprekken met warmtebedrijven zijn een belangrijke bron van input.
3. **Berekenen onrendabele top:** Op basis van de opgestelde warmtebronnenmix in 2030 berekenen we de verwachte onrendabele top van nieuwe bronnen.
4. **Projecten in de pijplijn:** Door middel van interviews met warmtebedrijven onderzoeken we in hoeverre een bronnenmix, zoals opgesteld voor 2030, in de praktijk te verwachten valt. Welke projecten zitten al in de pijplijn? Welke obstakels zijn er?

2.2 Huidige warmteaanbod

Sinds 2020 zijn warmtebedrijven verplicht om te rapporteren over de duurzaamheid van hun warmtenetten volgens artikel 12a lid 3c (Rijksoverheid, 2022) van de warmtewet. Deze duurzaamheidsrapportages bevatten onder andere informatie over de CO₂-emissies in kg per eenheid geleverde warmte in GJ berekend volgens de methode beschreven in Harmelink, (2023a), warmteverliezen per warmtenet en de hoeveelheid geproduceerde warmte per warmtebron. Op basis van de duurzaamheidsrapportages⁵ geven we inzicht in de huidige situatie van de warmtenetten (bronnenmix en CO₂-emissies).

Dit doen we voor grote en middelgrote warmtenetten. Als definitie voor de grootte van het warmtenet hanteren we de definities van RVO en het CBS:

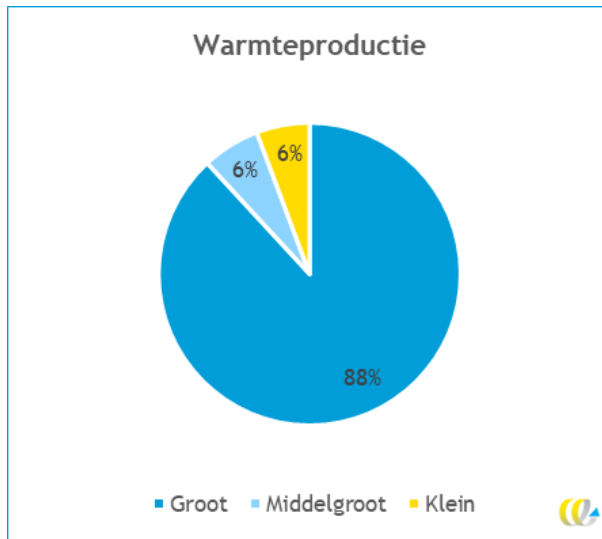
- grote warmtenetten zijn netten die meer dan 150 TJ warmte leveren (CBS & TNO, 2020);
- middelgrote warmtenetten leveren minder dan 150 TJ warmte, maar hebben meer dan 500 aansluitingen (RVO, 2017);
- kleine warmtenetten hebben minder dan 500 aansluitingen (RVO, 2017).

Deze studie focust op de grote en middelgrote netten. Ten eerste omdat voor kleine warmtenetten de duurzaamheidsrapportage minder uitgebreid is. Daardoor is voor kleine netten minder informatie beschikbaar. Ten tweede is in Figuur 4 te zien dat veruit het grootste aandeel van warmteproductie op dit moment voor de grote warmtenetten is. De grote en middelgrote netten dekken samen 94% van de huidige warmteproductie. Met de grote en middelgrote netten dekken we dus het overgrote aandeel van de totale warmteproductie.

⁵ RVO heeft een overzicht van de duurzaamheidsrapportages verstrekt voor dit onderzoek.



Figuur 4 - Warmteproductie van warmtebronnen die leveren aan grote, middelgrote en kleine warmtenetten



2.3 Toekomstige bronnenmix

We maken een inschatting van de warmtebronnenmix in 2030. Dit doen we op basis van de data over de huidige situatie, de groeiambities en duurzaamheidseisen voor 2030 en andere ontwikkelingen die invloed hebben op de warmtebronnenmix. Gesprekken met warmtebedrijven en de toekomstige CO₂-emissies zijn belangrijke input.

2.3.1 Ontwikkelingen warmtebronnen

Om tot een indicatieve warmtebronnenmix te komen tot 2030, bepalen we hoe de bestaande en nieuwe warmtebronnen ontwikkelen richting 2030. Onderdeel van deze studie zijn een werksessie met betrokken partijen en vijf interviews met warmtebedrijven. Deze werksessie en de interviews zijn een belangrijke informatiebron voor de ontwikkeling van warmtebronnen. Daarnaast nemen we in de ontwikkelingen van de warmtebronnen mee, dat de warmtenetten in 2030 moeten voldoen de CO₂-eis uit de conceptversie van de Wet collectieve warmte.

Door afname van warmteproductie uit niet-duurzame warmtebronnen en de benodigde opschaling van warmteproductie voor de groei van bestaande en ontwikkeling van nieuwe warmtenetten, zijn nieuwe duurzame warmtebronnen nodig. Bij de mogelijkheden voor nieuwe warmtebronnen houden we rekening met een aantal factoren:

- de beschikbaarheid van warmtebronnen op een bepaalde locatie op basis van de Warmteatlas en gesprekken met warmtebedrijven (RVO, lopend-a);
- geschat totaal praktisch potentieel van de warmtebronnen, op basis van een inventarisatie van het ministerie van EZK (Ministerie van EZK, 2023a);
- de rol van de warmtebron in het productieprofiel (basislast, middenlast of pieklast).

Elk type warmtebron heeft zijn eigen kenmerken en geschiktheid voor de rol in het productieprofiel. We onderscheiden basislast, middenlast en pieklast (zie Figuur 5):

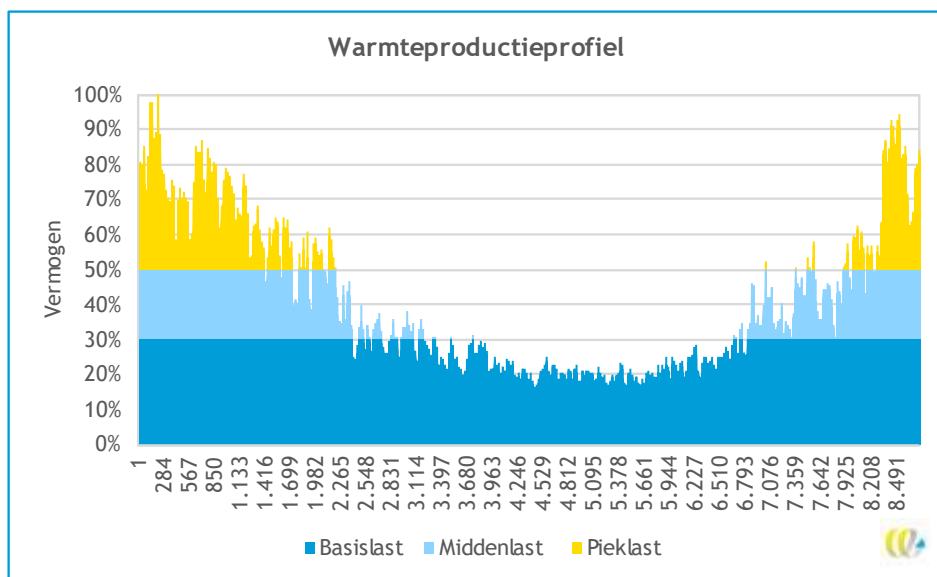
- Basislastwarmtebronnen leveren een constante en stabiele warmteproductie. Deze bronnen hebben vaak een hoog rendement en functioneren technisch en/of bedrijfs-

economisch het best wanneer ze continu warmte leveren. Voorbeelden van basislast-warmtebronnen zijn geothermie, bepaalde vormen van restwarmte (uit continue processen of datacenter) of afvalverbrandingsinstallaties. Ze zijn in staat om gedurende lange perioden een constante hoeveelheid warmte te leveren en kunnen efficiënt worden ingezet om te voldoen aan de constante warmtevraag van het netwerk. Een basislast-bron heeft vaak relatief hoge investeringskosten en relatief lage operationele kosten.

- Middenlastwarmtebronnen zijn flexibeler inzetbaar dan basislastbronnen. Deze bronnen worden vaak gebruikt om te voorzien in de warmtebehoefte tijdens periodes van verhoogde vraag (bijvoorbeeld de winter). Ten opzichte van basislastbronnen zijn de investeringskosten vaak lager en de operationele kosten vaak hoger. Daarnaast is het mogelijk dat andere factoren bijdragen aan het feit dat een middenlastbron niet continu draait. Dat is bijvoorbeeld het geval bij een wkk, waar de elektriciteitsmarkt een factor speelt. Ook biomassaketels kunnen relatief kosteneffectief middenlast-warmte leveren. Basislastbronnen kunnen veelal ook als middenlastbron worden ingezet maar deze hebben dan wel relatief hoge kosten, omdat de investering in minder draai-uren moet worden terugverdiend.
- Pieklastwarmtebronnen zijn bedoeld om te voorzien in de maximale warmtevraag, bijvoorbeeld tijdens koude winterdagen. Deze bronnen zijn ontworpen om grote hoeveelheden warmte te produceren en kunnen snel opschalen om aan de piekvraag te voldoen. Piekbronnen zijn vaak ook de back-upvoorziening voor het warmtenet als er geen warmte uit de andere bronnen beschikbaar is. Een pieklastbron heeft typisch lage investeringskosten en hoge operationele kosten (voor brandstof). De meest voorkomende pieklastwarmtebron is momenteel een gasketel. Biomassaketels of ketels op hernieuwbaar gas kunnen ook als piekbron worden ingezet.

Door het gebruik van een combinatie van basislast-, middenlast- en pieklastwarmtebronnen werken warmtenetten efficiënt en betrouwbaar, waarbij ze kunnen voldoen aan zowel de constante als variabele warmtevraag. Het juiste evenwicht tussen deze bronnen is belangrijk voor de leveringszekerheid van een warmtenet.

Figuur 5 - Illustratie van een warmteproductieprofiel voor een groot bestaand warmtenet

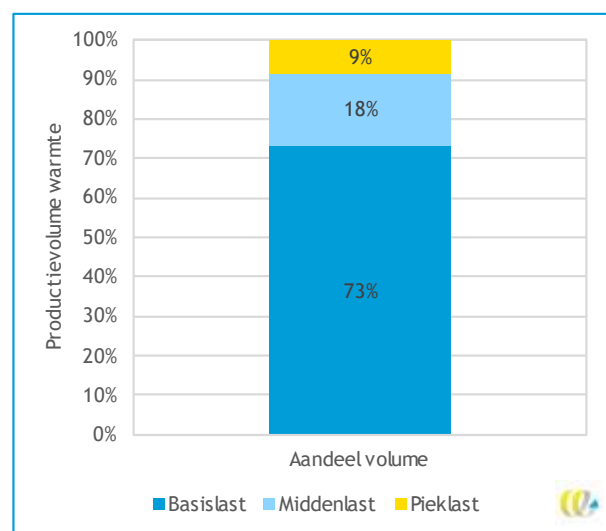


In Figuur 5 hebben we aangenomen dat de basislast 30% van het maximale vermogen kan invullen, de middenlast tot 50% en de pieklast het volledige maximale vermogen. Met het productieprofiel in Figuur 5 leidt dat tot de productievolumes in Figuur 6. Tabel 1 geeft een overzicht van de aanname in het vermogen en bijbehorende aandeel in volume en vollasturen.

Tabel 1 - Overzicht van de aanname in het vermogen en bijbehorende aandeel in volume en vollasturen

	Aandeel vermogen	Aandeel volume	Vollasturen
Basislast	30%	73%	7.027
Middenlast	50%	18%	1.056
Pieklast	100%	9%	249

Figuur 6 - Het aandeel van de totale warmteproductie dat de basislast, middenlast en pieklast invullen in het bovenstaande productieprofiel



In dit onderzoek maken we gebruik van een bottom-up-benadering om een prognose te maken van de toekomstige warmtebronnenmix. Op basis van verwachte ontwikkelingen voor verschillende warmtebronnen, bepalen we de verwachte warmtebronnenmix voor elk individueel warmtenet in het jaar 2030, waarbij we ons baseren op een reeks rekenregels (zie Paragraaf 4.2 en Bijlage B). Om tot een totale bronnenmix voor 2030 te komen, voegen we de individuele warmteproducties van alle warmtenetten samen. Zo komen we tot een overzicht van de geschatte totale warmtebronnenmix voor het jaar 2030.

De bottom-up-methode stelt ons in staat om een gedetailleerd beeld te krijgen van de toekomstige warmtebronnenmix. Terwijl we tegelijk rekening houden met de individuele kenmerken en beschikbaarheid van warmtebronnen in elk warmtenet. Zo kunnen we een realistische inschatting maken van de te verwachten warmtebronnenmix in 2030.

2.3.2 CO₂-emissies toekomstige bronnenmix

De maximale CO₂-intensiteit van de warmtenetten in 2030 is een randvoorwaarde om de warmtebronnenmix in 2030 te bepalen. De CO₂-intensiteit per warmtenet en van de totale warmtebronnenmix is ook een resultaat voor de warmtebronnenmix in 2030.

We berekenen de CO₂-intensiteit van de warmtenetten in kg CO₂ per geleverde GJ warmte volgens de volgende formule:

$$\frac{\text{Totale_CO}_2\text{emissies}}{\text{Warmteproductie} * (1 - \text{warmteverlies})}$$

De totale CO₂-emissies volgen uit de warmteproductie per warmtebron en de bijbehorende emissiefactoren. De emissiefactoren berekenen we volgens de methode uit Harmelink, (2023a). Zie Bijlage B.4 voor de gebruikte waarden van de emissiefactoren.

Voor de berekening van bepaalde emissiefactoren wordt gebruik gemaakt van meetgegevens. Deze meetgegevens zijn niet beschikbaar voor 2030. In de berekeningsmethodiek staat aangegeven welke data gebruikt kan worden als de meetgegevens niet beschikbaar zijn. In dit onderzoek hebben we deze standaardwaarden gebruikt. De gebruikte waarden zijn terug te vinden in Bijlage B.4. Over het algemeen zijn standaardwaarden een conservatieve inschatting. Door te rekenen met standaardwaarden overschatten we mogelijk de CO₂-intensiteit van de warmtenetten enigszins. We hanteren de warmteverliezen per net zoals in 2022 gerapporteerd door de warmtebedrijven. Het gemiddelde warmteverlies van de warmtenetten in 2022 was 25%⁶.

Kleine netten

Voor kleine netten hebben we geen informatie beschikbaar over de warmteproductie per warmtebron. We nemen aan dat kleine netten wel verduurzamen, maar we doen in dit onderzoek geen inschatting van welke bronnen daarvoor precies worden ingezet. Om de CO₂-emissies van de kleine netten in 2030 te bepalen, doen we de aanname dat alle netten die niet aan de CO₂-eis uit de conceptversie van de warmtewet voldoen in 2030 precies aan de CO₂-eis voldoen. Deze netten hebben volgens onze aanname in 2030 een CO₂-intensiteit van 25 kg CO₂/GJ. Als gevolg van deze aanname hebben de kleine warmtenetten gemiddeld een relatief hoge CO₂-intensiteit. Hoofdstuk 5 laat zien dat, ondanks de relatief hoge emissies van kleine netten, de doelstelling voor de gemiddelde CO₂-intensiteit van de warmtebronnenmix van 18,9 kg CO₂/GJ gehaald wordt.

2.4 Berekenen onrendabele top

Op basis van de opgestelde warmtebronnenmix in 2030 berekenen we de onrendabele top van nieuwe bronnen. We doen dit volgens de methode uit de SDE++ met behulp van het OT-model 2023 (PBL, 2023).

De onrendabele top is sterk afhankelijk van de referentiegasprijs. Zeker de laatste tijd is duidelijk gebleken dat deze erg onzeker is. Om die onzekerheid een plek te geven in dit onderzoek beschouwen we drie energieprijsscenario's:

1. **Basisscenario:** in dit scenario gebruiken we de langetermijnprijzen uit het OT-model 2023⁷. Dit is de beste inschatting die we hebben voor energieprijzen voor de lange termijn.

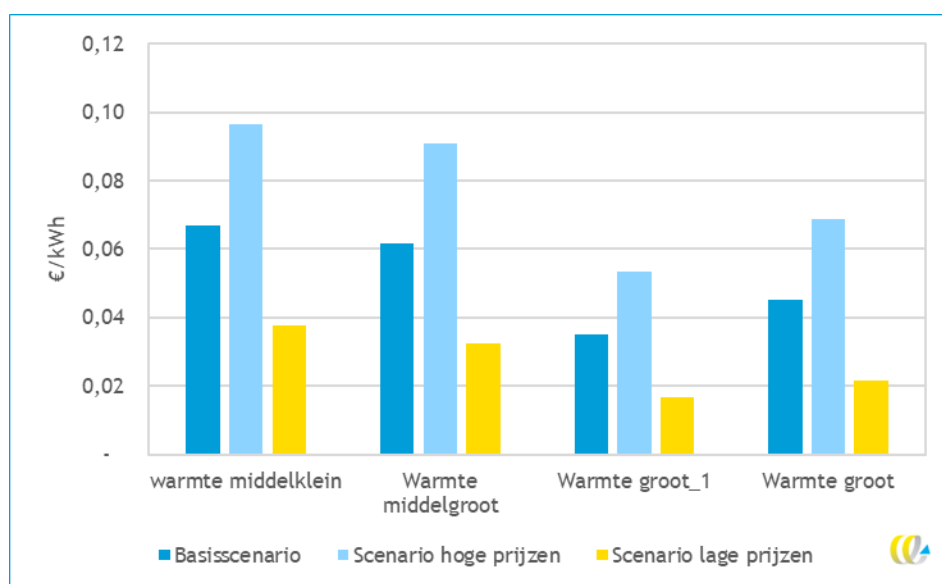
⁶ In de onderzoeksvraag is impliciet rekening gehouden met een verlies van 20% (50 PJ productie voor 40 PJ levering, zie Hoofdstuk 1). Door te rekenen met dit hogere verlies overschatten we CO₂-emissies lichtelijk. Deze beperkte overschatting heeft geen invloed op de conclusies van dit onderzoek.

⁷ Gebaseerd op de KEV 2022.



2. **Scenario lage energieprijzen:** in dit scenario gebruiken we de langetermijnprijzen uit het OT-model 2022⁸. Dit zijn energieprijzen die tot 2021, voor de energiecrisis, als realistische langetermijnprijzen werden gezien.
3. **Scenario hoge energieprijzen:** in dit scenario gebruiken we prijzen berekend door het verschil tussen de prijzen uit het basisscenario en het scenario met lage energieprijzen op te tellen bij de prijzen uit het basisscenario. De berekende prijzen liggen erg dicht bij de voorlopige correctiebedragen uit het OT-model 2023 en zijn dus vergelijkbaar met de huidige marktprijzen.

Figuur 7 - Referentieprijzen voor de drie prijsscenario's



Kleine netten

Voor de kleine warmtenetten schatten we niet in hoe de warmteproductie in 2030 er uit ziet. Het is daardoor niet mogelijk om op dezelfde manier als voor grote en middelgrote netten een onrendabele top te berekenen voor nieuw te ontwikkelen warmtebronnen voor kleine netten. Elk individueel klein net moet wel voldoen aan de CO₂-eis uit de conceptversie van de Wet collectieve warmte. We doen daarom een grove inschatting van de onrendabele top voor kleine netten. We berekenen hoeveel van de huidige warmteproductie vervangen moet worden door warmte uit een wko met warmtepomp om precies aan de CO₂-eis van 25 kg CO₂/GJ te voldoen. Voor deze nieuw te ontwikkelen warmte berekenen we de onrendabele top uitgaande van een wko met warmtepomp. De onrendabele top van een wko met warmtepomp is vergelijkbaar met de onrendabele top voor TEO, maar hoger dan de onrendabele top van veel andere warmtebronnen. Door deze aanname overschatten we de onrendabele top voor kleine netten mogelijk. Echter zijn TEO en een wko met warmtepomp bronnen die regelmatig worden ingezet bij kleine netten. We verwachten daarom dat de overschatting beperkt is.

⁸ Gebaseerd op de KEV 2021.

2.5 Projecten in de pijplijn

We interviewen vijf warmtebedrijven. In deze interviews leggen we de verwachte ontwikkelingen in de warmtebronnenmix voor en vragen we naar de haalbaarheid van de ontwikkelingen. Hebben de warmtebedrijven voldoende projecten in de pijplijn om de benodigde groei in de warmteproductie en de verduurzaming te realiseren?



3 Huidig warmteaanbod

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de het warmteaanbod in 2022 op basis van de duurzaamheidsrapportages⁹ van warmtebedrijven. We gaan in op de totale productie, bronnenmix en CO₂-emissies van het totale warmteaanbod in Nederland en een verdeling in grote, middelgrote en kleine netten.

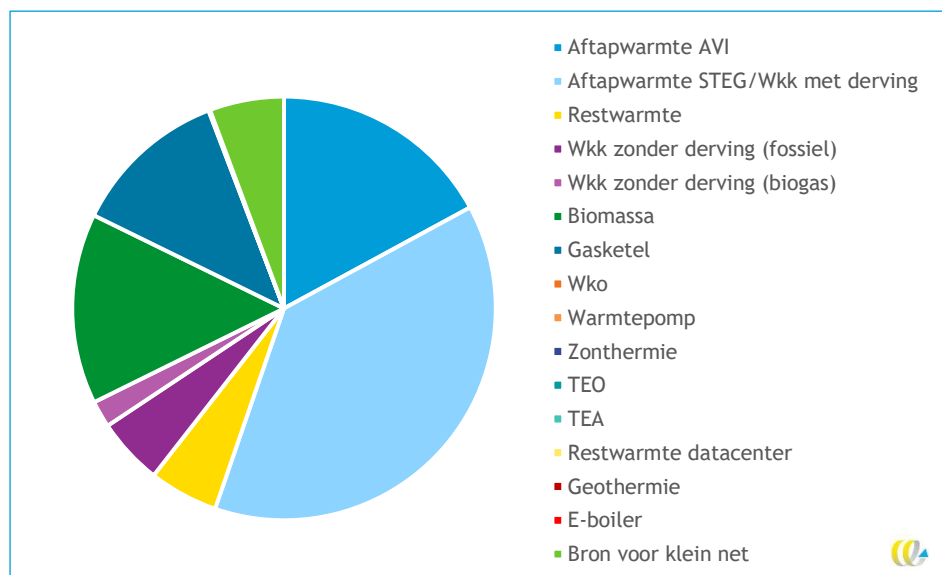
3.1 Warmteproductie in 2022

In 2022 is in Nederland 34,5 PJ warmte geproduceerd voor de levering van warmte via warmtenetten. Figuur 8 laat de warmtebronnenmix voor deze warmteproductie. Aftapwarmte is de grootste bron van warmte, gevolgd door de AVIs (afvalverbrandingsinstallaties). Daarnaast zijn bio-energie, gasketels, restwarmte en warmte uit wkk's (warmtekrachtkoppeling) bronnen die een aanzienlijk deel van de warmteproductie invullen. Voor de kleine netten is alleen de primaire bron van het warmtenet bekend, maar niet hoeveel warmteproductie per bron is geproduceerd. Warmteproductie voor kleine netten is daarom als één categorie weergegeven in de figuur. De gemiddelde CO₂-intensiteit van de warmtelevering in 2022 was 26,5 kg CO₂ per geleverde GJ warmte. Daarmee voldoen de huidige warmtenetten gezamenlijk nog niet aan de eis uit het Klimaatakkoord van 18,9 kg/GJ.

Tabel 2 - Warmteproductie in 2022

	2022
Warmteproductie	34,5 PJ
CO ₂ -intensiteit geleverde warmte (gemiddeld NL)	26,5 kg CO ₂ /GJ

Figuur 8 - Aandeel per warmtebron in de huidige warmteproductie (PJ)



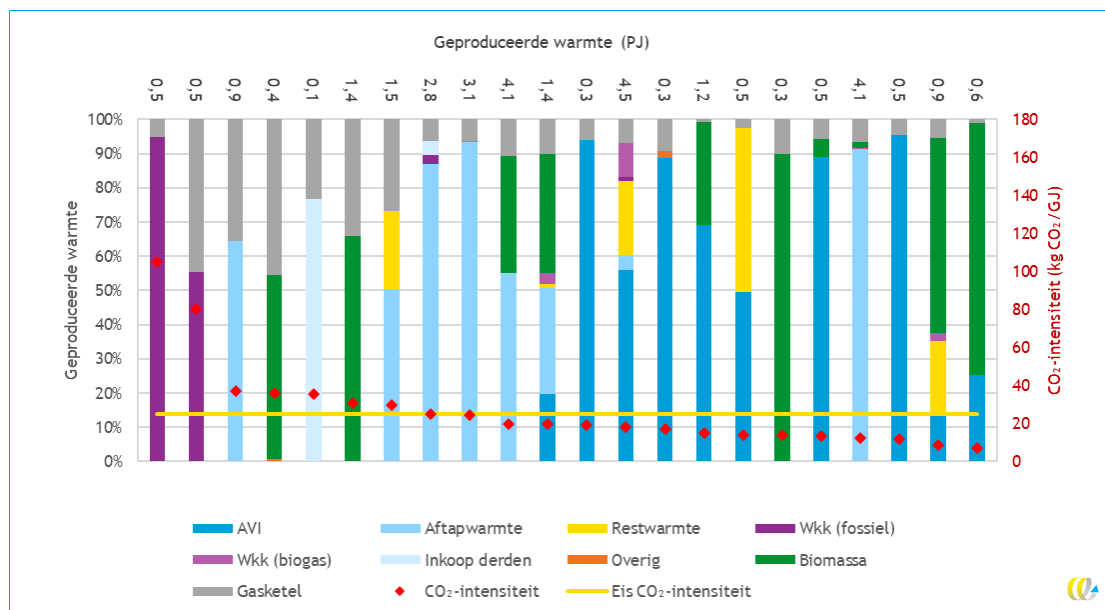
⁹ RVO heeft een overzicht van de duurzaamheidsrapportages verstrekt voor dit onderzoek.

3.2 Huidige warmtenetten

Grote warmtenetten

Figuur 9 geeft een overzicht van alle grote warmtenetten. De warmtenetten zijn gesorteerd op CO₂-emissies per geleverde GJ warmte. Het net met de hoogste emissies staat links en met de laagste emissies staat rechts. De gele lijn is de CO₂-eis voor elk warmtenet in 2030 uit het voorstel voor de Wet collectieve warmte (artikel 2.16) (Rijksoverheid, 2020). Dit overzicht laat zien dat een ongeveer twee derde van de grote warmtenetten al voldoet aan deze CO₂-eis. De warmtenetten die voldoen aan de CO₂-eis zijn verantwoordelijk voor ruim 80% van de totale warmteproductie uit grote warmtenetten. De twee warmtenetten met een groot aandeel warmte uit wkk's zonder derving hebben veel hogere CO₂-emissies. Daarnaast zijn het vooral warmtenetten met een groot aandeel warmte uit een gasketel die niet al aan de CO₂-eis voldoen¹⁰.

Figuur 9 - Overzicht van de grote warmtenetten (warmtelevering meer dan 150 TJ), het aandeel warmteproductie per warmtebron, de CO₂-emissies per geleverde GJ en de hoeveelheid geproduceerde warmte per net¹¹



Middelgrote netten

Figuur 10 geeft een overzicht van alle middelgrote warmtenetten. De warmtenetten zijn gesorteerd op CO₂-emissies per geleverde GJ warmte. Het net met de hoogste emissies staat links en met de laagste emissies staat rechts. De gele lijn is de CO₂-eis voor elk

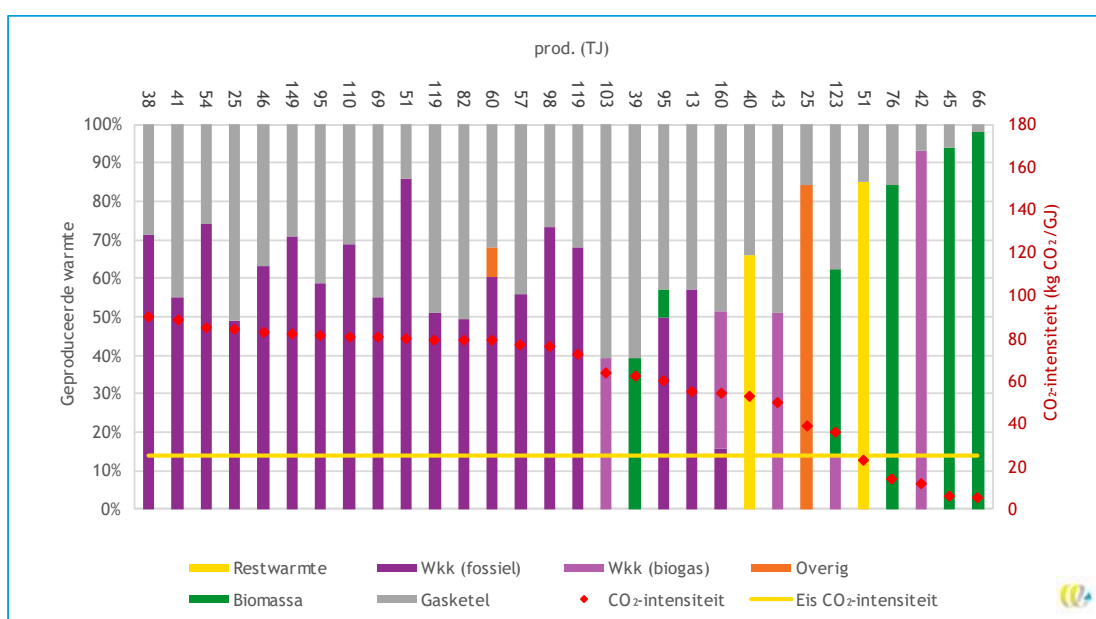
¹⁰ Het is ook mogelijk dat een warmtenet in 2022 door incidentele problemen hogere CO₂-emissies heeft, maar dat ligt buiten de scope van dit onderzoek.

¹¹ Inkoop derden is warmte die bij een externe partij wordt ingekocht. De bron voor deze warmte is aftapwarmte.

warmtenet in 2030 uit het voorstel voor de Wet collectieve warmte (artikel 2.16) (Rijksoverheid, 2020).

Het overzicht laat zien dat bijna 85% van de middelgrote warmtenetten nog niet aan de CO₂-eis voldoet. Deze netten zijn verantwoordelijk voor ruim 85% van de warmteproductie uit middelgrote netten. Net als bij de grote netten, zien we dat vooral de netten met een groot aandeel warmte uit wkk's een hoge CO₂-intensiteit hebben. Daarnaast hebben netten met een groot aandeel warmte uit de gasketel ook een te hoge CO₂-intensiteit om aan de eis voor 2030 te voldoen. Vooral de warmtenetten met een groot aandeel warmteproductie uit biomassa (of wkk met biogas) voldoen nu al aan de CO₂-eis.

Figuur 10 - Overzicht van de middelgrote warmtenetten (warmtelevering minder dan 150 TJ, meer dan 500 aansluitingen). Het aandeel warmteproductie per warmtebron, de CO₂-emissies per geleverde GJ en de hoeveelheid geproduceerde warmte per net

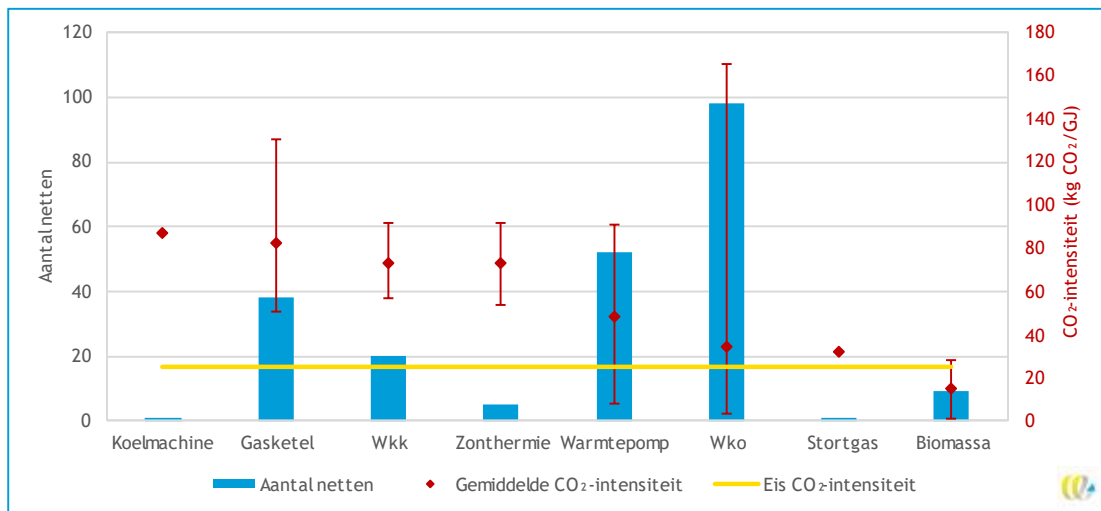


Kleine netten

Figuur 11 geeft een overzicht van de CO₂-intensiteit voor kleine warmtenetten. De duurzaamheidsrapportages voor kleine netten bevatten geen informatie over de warmteproductie per warmtebron. Voor kleine netten wordt alleen de primaire bron en de CO₂-intensiteit gerapporteerd. Figuur 11 geeft het aantal netten, de gemiddelde CO₂-intensiteit en de spreiding in CO₂-intensiteit per primaire warmtebron. Van de 230 kleine warmtenetten voldoen 66 netten in 2022 al de CO₂-eis van 2030. De andere 164 netten voldoen nog niet. Er zijn dus ook voor kleine netten veranderingen nodig om aan de CO₂-eis in 2030 te voldoen. Hier gaan we in de bottom-up analyse niet verder op in. Omdat de warmteproductie voor kleine warmtenetten laag is, is het effect op de onderzoeksresultaten klein. In Hoofdstuk 2 is beschreven hoe we een inschatting maken van de benodigde onrendabele top voor het verduurzamen van kleine warmtenetten.



Figuur 11 - Het aantal netten, de gemiddelde CO₂-intensiteit en de spreiding in CO₂-intensiteit per primaire warmtebron voor kleine warmtenetten in 2022



4 Ontwikkelingen richting 2030

Dit hoofdstuk beschrijft de ontwikkelingen in de warmtenetten die verwacht worden en die nodig zijn om aan de duurzaamheidseisen in 2030 te voldoen. De CO₂-emissies van de warmtebronnen en duurzaamheidseisen zijn input voor de ontwikkelingen. Daarnaast zijn ontwikkelingen geïnventariseerd door middel van een werksessie met meerdere warmtebedrijven, andere betrokken partijen en vijf interviews met warmtebedrijven (zie Bijlage A voor de betrokken partijen). Deze ontwikkelingen vertalen we tot rekenregels, zodat een prognose gemaakt kan worden van een warmtebronnenmix in 2030.

4.1 Randvoorwaarden 2030

Zoals genoemd in Hoofdstuk 2 moet de warmteproductie groeien van 34,5 PJ naar 50 PJ in 2030, geldt in 2030 een duurzaamheidseis per net van 25 kg CO₂/GJ en de gemiddelde CO₂-intensiteit van geleverde warmte in Nederland moet zijn gedaald naar 18,9 CO₂/GJ. Een overzicht van deze randvoorwaarden staat in Tabel 3. Om dit te realiseren moeten nieuwe duurzame warmtebronnen ontwikkeld worden.

Tabel 3 - Overzicht van de huidige situatie (2022) en de uitgangssituatie in 2030

	2022	2030
Warmteproductie	34,5 PJ	50 PJ
CO ₂ -intensiteit per net	N.v.t.	25 kg CO ₂ /GJ
CO ₂ -intensiteit gemiddeld NL	26,5 kg CO ₂ /GJ	18,9 kg CO ₂ /GJ

4.2 Ontwikkelingen bestaande warmtebronnen

Op basis van de gegevens uit Hoofdstuk 2 stellen we vast dat er op dit moment vijf hoofd-warmtebronnen zijn:

- AVI;
- aftapwarmte (STEG);
- restwarmte;
- wkk's;
- biomassa.

Bijna alle grote en middelgrote warmtenetten hebben één van deze vijf warmtebronnen als hoofdbron in het warmtenet¹². Daarnaast komt een deel van de warmteproductie uit gas-ketels. Dit zijn zeer waarschijnlijk piekketels. Per hoofdwarmtebron beschrijven we de verwachte ontwikkelingen richting 2030.

AVI

AVIs hebben een lage CO₂-intensiteit, de CO₂-eis is geen reden om warmteproductie uit AVIs af te schalen. Warmtebedrijven geven aan dat zij, vanwege overheidsbeleid om afval te verminderen, voor 2030 al inzetten op diversificatie van warmtenetten met een groot

¹² De enige uitzondering is warmtenet Den Bosch Paleiskwartier met een zonneboiler met wko als warmtebron.

aandeel warmteproductie uit AVIs. In netten waar dat het geval is, verwachten we een beperkte vermindering van de warmteproductie uit de AVI. Het is ook mogelijk dat de absolute warmteproductie uit AVIs gelijk blijft, maar dat het aandeel van de warmteproductie in het net afneemt door groei van de totale warmteproductie met andere warmtebronnen in combinatie met een groei van het aantal aansluitingen.

Aftapwarmte STEG en wkk met derving

Aftapwarmte heeft een relatief lage CO₂-intensiteit, dus de CO₂-eis is tot 2030 nog geen reden om warmteproductie van aftapwarmte af te schalen. Wel zijn er netten die naast aftapwarmte minder duurzame bronnen zoals een gasketel gebruiken, die niet aan de eis voldoen. Echter, door de toename van goedkope elektriciteit uit zon en wind, worden STEGs en andere elektriciteitscentrales minder vaak aangezet. Zij zullen vooral nog draaien in de winter, wanneer minder goedkope elektriciteit uit zon en wind beschikbaar is. We verwachten daarom dat aftapwarmte in 2030 een veel kleiner aandeel van de warmteproductie zal invullen.

Restwarmte uit industrie

Uit de gesprekken met warmtebedrijven concluderen we dat warmteproductie uit restwarmte zal toenemen richting 2030. Daar waar restwarmte beschikbaar is, verwachten de warmtebedrijven dat inzet van restwarmte flink zal toenemen. Onder andere de ontwikkeling van WarmtelinQ, draagt voor een groot deel bij aan de toename van de inzet van restwarmte uit industrie.

Wkk's zonder derving

Wkk's hebben een hoge CO₂-intensiteit, die volgens de rekenmethodiek zelfs nog toeneemt richting 2030. Het verminderen van warmteproductie uit wkk's is dus nodig vanuit het oogpunt van de CO₂-eis per warmtenet. Daarnaast geldt voor wkk's, net als voor aftapwarmte, dat de toename van goedkope elektriciteit uit zon en wind zorgt voor minder draaiuren voor de wkk.

Biomassa

Biomassa levert warmte met een CO₂-intensiteit van 0 kg/GJ. De CO₂-eis is geen reden om warmteproductie uit biomassa af te schalen. Warmtebedrijven geven aan dat door een afname in maatschappelijke en politieke steun er weinig tot geen nieuwe biomassa-installaties zullen worden ontwikkeld, en er kunnen geen nieuwe SDE++-beschikkingen worden afgegeven voor warmte uit biomassa voor de gebouwde omgeving. Voor een aantal bestaande biomassa-installaties loopt de SDE-subsidie af vóór 2030. Warmtebedrijven verwachten dat installaties waarvan de SDE afloopt, maar waarvan de technische levensduur nog niet is afgelopen niet zullen verdwijnen. Risicospreiding is ook een reden om warmte uit biomassa af te bouwen, omdat biomassaprijzen toenemen. De verwachting is dat warmteproductie uit biomassa in 2030 vaker als middenlastbron zal worden ingezet in plaats van als basislastbron.

Gasketels

In 2030 zal de piekvoorziening van warmtenetten nog voor een groot deel door gasketels worden ingevuld. Echter zal het aandeel warmteproductie uit gasketels worden geminimaliseerd, zowel door het verlagen van de piekvraag als door het deels invullen van de piek met andere middenlastwarmtebronnen. We nemen aan dat in 2030 nog maximaal 10% van de warmteproductie van een net door gasketels wordt ingevuld. Wanneer gasketels nu al een kleiner aandeel in de warmteproductie hebben, dan blijft de warmteproductie van de gasketel gelijk.

Overzicht ontwikkelingen bestaande bronnen

Tabel 4 geeft een overzicht van de verwachte ontwikkelingen voor bestaande bronnen.

Tabel 4 - Overzicht van de verwachte ontwikkelingen voor bestaande bronnen en de CO₂-emissies in 2022 en 2030¹³ berekend volgens de methode uit Harmelink, (2023a)

Warmtebron	CO ₂ -emissies 2022 (kg CO ₂ /GJ)	CO ₂ -emissies 2030 (kg CO ₂ /GJ)	Rol in productieprofiel	Verwachte ontwikkeling richting 2030
AVI	9	3	Basislast	Beperkte afname warmteproductie
Aftapwarmte (STEG)	13	4	Basislast/middenlast	Aanzienlijke afname warmteproductie
Restwarmte industrie	8	1	Basislast	Toename warmteproductie
Wkk aardgas (zonder derving)	50	86	Basislast	Geen warmteproductie
Biomassa	0	0	Basislast/middenlast /pieklast	Beperkte afname warmteproductie
Gasketel	64	64	Pieklast	Beperkte afname warmteproductie in grote netten. Aanzienlijke afname in warmteproductie in middelgrote netten.

4.3 Groei van warmtenetten

De warmteproductie in Nederland moet toenemen om aan de ambities uit het Klimaatakkoord te voldoen. In 2022 was de warmteproductie 35 PJ, in 2030 moet dit zijn toegenomen tot 50 PJ. Op basis van de gesprekken met verschillende warmtebedrijven komen we tot een aanname dat 75% van deze toename komt door uitbreiding van bestaande netten. De andere 25% komt uit nieuwe warmtenetten.

Warmtebedrijven hebben aangegeven dat de uitbreiding van netten met een wkk als hoofdbron in de meeste gevallen niet realistisch is. Een reden hiervoor is dat de wkk-netten gedimensioneerd zijn op de wijk waar ze in liggen. Ook is in het ketelhuis, dat vaak midden in een woonwijk staat, geen ruimte voor extra warmtebronnen. We nemen daarom aan dat

¹³ De verschillen tussen de CO₂-emissies in 2022 en 2030 komt voornamelijk door een andere emissiefactor voor elektriciteit in 2022 en 2030.

warmtenetten met een wkk als hoofdbron niet uitbreiden. De volledige uitbreiding van warmtenetten vindt plaats bij warmtenetten die als warmtebron een AVI, aftapwarmte, restwarmte of biomassa hebben.

4.4 Ontwikkelingen nieuwe warmtebronnen

Uit de gesprekken met warmtebedrijven is een lijst met warmtebronnen gekomen die het meest zullen worden ontwikkeld tussen nu en 2030. Het gaat om de volgende warmtebronnen:

- restwarmte industrie;
- geothermie;
- restwarmte datacenter;
- aquathermie (TEA en TEO);
- e-boiler;
- wko met warmtepomp;
- lucht-warmtepomp.

In deze paragraaf beschrijven we de ontwikkelingen bij verschillende typen warmtenetten. Een overzicht van hoe deze ontwikkelingen in de berekeningen zijn meegenomen staat in Bijlage B.2.

Diversificatie van warmtebronnen

De warmtebedrijven geven aan dat bij netten met een AVI, restwarmte of aftapwarmte als bron vooral gekeken wordt naar diversificatie van de huidige warmtebronnenmix met industriële restwarmte, geothermie en in mindere mate met TEA en restwarmte uit datacenters. De nieuwe duurzame warmtebronnen zijn vaak basislastbronnen die gebaat zijn bij zo constant mogelijk draaien, dus zoveel mogelijk vollasturen. Warmtebedrijven geven aan dat de bronnenmix daarom ‘vanaf onderaan’ wordt verduurzaamd. De nieuwe duurzame bronnen gaan steeds meer van de basislast invullen, de bestaande bronnen schuiven dan meer richting de middenlast en gaan dus minder uren ingezet worden.

E-boiler aanvulling op STEG

Daarnaast is voor warmtenetten met een STEG als warmtebron, een e-boiler een goede aanvulling op de STEG. Wanneer de elektriciteitsprijzen laag zijn, is het niet rendabel de STEG aan te zetten. Op deze momenten kan het juist voordelig zijn de e-boiler aan te zetten om warmte te produceren. Een e-boiler die op deze manier wordt ingezet, is geen piekbron, maar kan in combinatie met de STEG als middenlast bron gezien worden. Een warmtebedrijf gaf aan dat het in enkele gevallen wel een realistische optie kan zijn om de e-boiler als piekbron in te zetten. In deze studie nemen we echter aan dat de e-boiler flexibel ingezet wordt, op momenten dat er een overschot aan (duurzame) elektriciteit is.

Een warmtepomp gebruikt ook elektriciteit en heeft vanwege de hoge efficiëntie minder elektriciteit nodig om warmte te produceren dan een e-boiler. Toch geven warmtebedrijven aan dat een warmtepomp minder geschikt is als aanvulling op een STEG. Dit heeft twee redenen. Ten eerste heeft een warmtepomp ten opzichte van een e-boiler veel hogere investeringskosten om hetzelfde vermogen te realiseren. Ten tweede functioneert een warmtepomp beter als deze continue op maximaal vermogen draait en is dus niet zo flexibel inzetbaar als een e-boiler.



Uitdaging om wkk's zonder derving te vervangen

Warmtebedrijven geven aan dat het een grote uitdaging is de warmtenetten met een wkk als warmtebron te verduurzamen. De meest voor de hand liggende strategie is om wkk-netten aan te sluiten op een groter warmtenet met een duurzame bron. Echter is dit, voor veel van de wkk-netten waar dit mogelijk is, al gebeurd. Wkk's staan vaak in een technische ruimte in een woonwijk. Er is daarom weinig ruimte voor de ontwikkeling van nieuwe warmtebronnen die de wkk kunnen vervangen. Voor het doel van deze studie, namelijk het berekenen van de onrendabele top, nemen we aan dat de meeste wkk's vervangen zullen worden door aquathermie (TEO of TEA) of een luchtwarmtepomp. De warmtebedrijven hadden verschillende opvattingen over de mogelijkheid voor e-boilers in wkk-netten. Warmteproductie uit een wkk en e-boiler samen, heeft namelijk nog steeds een te hoge CO₂-intensiteit om aan de CO₂-eis in 2030 te voldoen. Omdat de onrendabele top voor een e-boiler en een luchtwarmtepomp dicht bij elkaar liggen, nemen we in de berekeningen de e-boiler niet mee.

Biomassa van basislast naar middenlast

De warmtebedrijven geven aan dat zij netten, waar in de huidige situatie biomassa het grootste deel van de warmte invult, vanaf onderop zullen verduurzamen. Dat houdt in dat zij de komende jaren met name duurzame basislastbronnen, zoals geothermie, aquathermie (vooral TEA) of restwarmte ontwikkelen. De bestaande biomassa-installatie schuift dan op richting middenlast. Enkele warmtebedrijven noemen ook een e-boiler als mogelijke aanvulling op een bestaande biomassa-installatie.

In deze studie gaan we niet uit van nieuw te ontwikkelen biomassa-installaties voor bestaande netten, behalve in het recente verleden beschikte projecten.

Seizoensopslag nog niet ontwikkeld genoeg

Seizoensopslag is door geen van de warmtebedrijven genoemd als kansrijke optie voor 2030. In Paragraaf 5.4 Gaan we verder in op de uitdagingen voor seizoensopslag. Wel achten de warmtebedrijven seizoensopslag essentieel voor de verdere verduurzaming van warmtenetten, met name voor het beperken van de inzet van gasketels. Voor 2030 lijkt het nog geen realistische optie. Een recente pilot in Nesselande (Rotterdam) van Eneco, illustreert de uitdagingen. Het project gaat niet door, omdat de ondergrond niet geschikt is voor seizoensopslag (Eneco, 2023).

Zonthermie

Zonthermie is in de inventarisatie niet genoemd door de warmtebedrijven. Dat betekent niet dat er geen warmtenetten worden ontwikkeld met zonthermie. Zonthermie zal waarschijnlijk eerder bij kleinere warmteprojecten worden ontwikkeld dan als bron voor grote warmtenetten dienen. Zonthermie heeft volgens de SDE++-methodiek een vergelijkbare onrendabele top met restwarmte uit een datacenter en TEA. Met onze inschatting voor de onrendabele top sluiten we zonthermie dus niet uit.

4.4.1 Ontwikkelingen specifieke netten

Voor een aantal warmtenetten nemen we specifieke ontwikkelingen mee. Dit doen we als deze ontwikkelingen in een interview naar voren zijn gekomen en/of als deze openbaar bekend zijn. We hebben specifieke ontwikkelingen meegenomen voor de volgende warmtenetten:

- warmtenet Lelystad (Vattenfall);
- warmtenet Leiden (Vattenfall);
- warmtenet Amsterdam Zuid en Oost (Vattenfall);
- warmtenet Almere (Vattenfall);
- warmtenet Noord- en West-Brabant (Ennatuurlijk);
- warmtenet Enschede (Ennatuurlijk);
- warmtenet Den Haag stadsnet (Eneco);
- warmtenet Purmerend (SVP).

Welke ontwikkeling precies is meegenomen staat in Bijlage B.3.

5 Resultaten

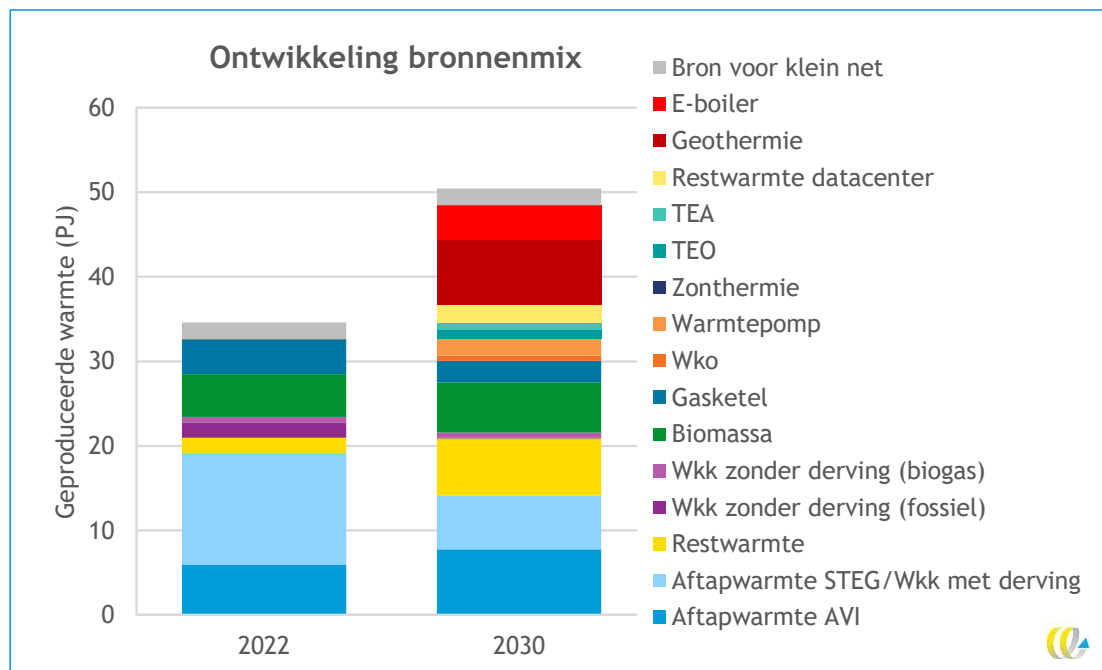
5.1 Bronnenmix 2030

De beschreven ontwikkelingen uit Hoofdstuk 4 en de daaruit volgende rekenregels (zie Bijlage B.1 en B.2) leiden tot een warmtebronnenmix in 2030 zoals weergegeven in Figuur 12. De belangrijkste ontwikkelingen zijn:

- Vooral de productie van aftapwarmte uit STEG of wkk met derving neemt sterk af, omdat deze installaties door lage elektriciteitsprijzen minder uren zullen draaien.
- Restwarmte uit industrie heeft de grootste toename.
- Warmte uit AVIs neemt ook toe, ondanks de toenemende risico's voor warmte uit AVIs door beleid gericht op het verminderen van afval. De warmteproductie van AVIs, die nu al als warmtebron worden ingezet, neemt af of blijft gelijk. Daarnaast wordt naar verwachting een aantal AVIs die nu nog geen warmte leveren op een warmtenet aangesloten (zie Bijlage B.3). Hierdoor neemt de totale warmteproductie uit AVIs toe.
- Ook de productie van warmte uit biomassa neemt licht toe, ondanks de maatschappelijke discussie rond biomassa. Dit komt door de aanname dat projecten in de pijplijn doorgang vinden. Doordat lopende SDE-beschikkingen na 2030 verder aflopen is de verwachting dat de rol van biomassa vanaf 2030 gaat afnemen.
- Vooral geothermie heeft een aanzienlijk deel van de warmteproductie in 2030 en is sterk gegroeid ten opzichte van nu.
- De bronnenmix in 2030 bevat nog een klein aandeel warmteproductie uit wkk's. Dit zijn wkk's die warmte leveren in een groter net. De wkk's in wkk-netten (warmtenetten waar de wkk de hoofdbron is), zijn volledig vervangen door een andere duurzame bron.

Per saldo laat Figuur 12 een sterke diversificatie van de warmtebronnen zien.

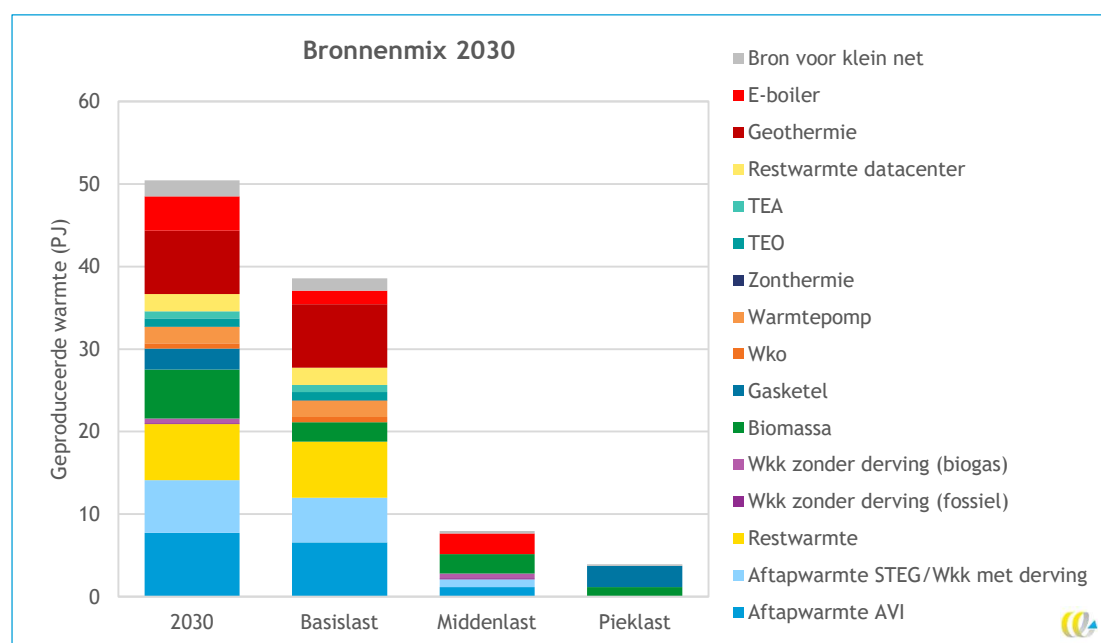
Figuur 12 - De warmteproductie per warmtebron in 2022 en de verwachting voor 2030



Verdeling basis-, midden- en pieklast

De geprognostiseerde bronnenmix voor 2030 verdeelden we naar basis-, midden-, en pieklast. Dit deden we op basis van de eigenschappen van de warmtebronnen en aan de hand van informatie verkregen in de interviews met de warmtebedrijven (zie Bijlage B.4). De bronnenmix voor de basis-, midden- en pieklast zijn weergegeven in Figuur 13. De pieklast wordt voornamelijk ingevuld door gasketels, aangevuld met biomassaketels. De middenlast wordt voornamelijk ingevuld door bronnen die ook een deel van de basislast invullen: e-boiler, biomassa, AVI, STEG. De wkk's die nog warmte leveren in 2030 vullen enkel de middenlast in, dit zijn namelijk wkk's die warmte leveren aan een net met meerdere andere bronnen. De meeste nieuwe duurzame bronnen, zoals geothermie en restwarmte, produceren warmte voor de basislast.

Figuur 13 - De bronnenmix in 2030, verdeeld over de basis-, midden- en pieklast



5.2 CO₂-emissies

Met de verwachte bronnenmix in 2030 is de gemiddelde CO₂-intensiteit van warmtelevering uit warmtenetten in Nederland 10,5 kg CO₂/GJ. Dat is ruim onder het doel uit het Klimaatakkoord van 18,9 kg CO₂/GJ. Dat dit doel zo ruim wordt behaald ligt enerzijds aan de eis voor individuele netten, die ook het gemiddelde omlaag haalt, en anderzijds aan autonome ontwikkelingen zoals de afname van emissiefactoren en het afschalen van warmteproductie uit AVIs en STEGs.

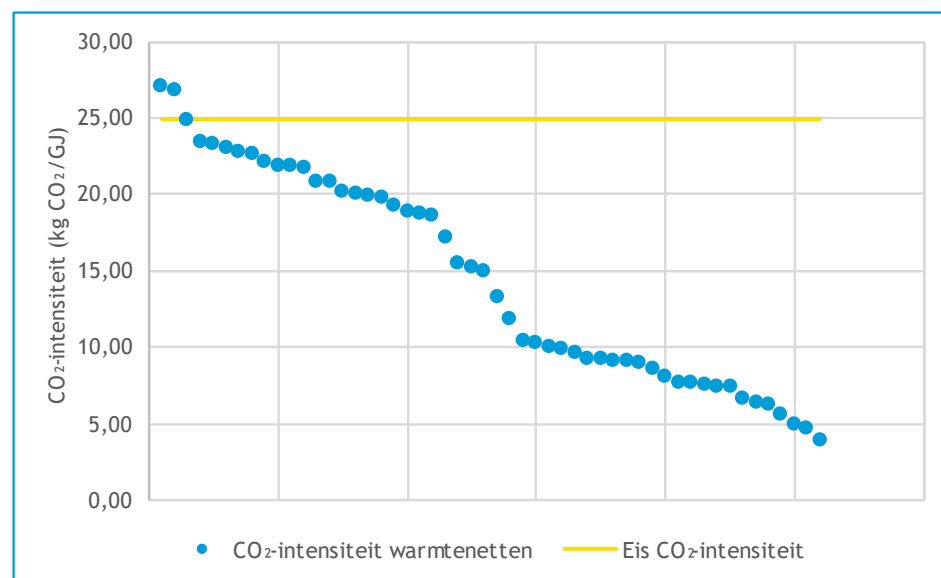
Tabel 5 laat zien dat de gemiddelde CO₂-intensiteit het laagst is bij grote en middelgrote warmtenetten en het hoogst bij kleine warmtenetten¹⁴. Hierbij hebben we aangenomen dat alle geothermie wordt ontwikkeld in combinatie met een warmtepomp. Wanneer slechts de helft van de geothermie wordt ontwikkeld met een warmtepomp, zijn de emissies lager, namelijk 9,8 kg CO₂/GJ.

Tabel 5 - Gemiddelde CO₂-intensiteit in 2030

	Gemiddelde CO ₂ -intensiteit (kg CO ₂ /GJ)
Grote en middelgrote netten	9,7
Nieuwe netten	13,4
Kleine netten	21,7
Totaal	10,5

Een randvoorwaarde voor het opstellen van de bronnenmix in 2030 is de CO₂-eis van 25 kg CO₂/GJ per net uit de conceptversie van de Wet collectieve warmte. Figuur 14 toont de CO₂-emissies per geleverde GJ voor alle grote en middelgrote netten in 2030. De figuur laat zien dat twee warmtenetten boven een CO₂-intensiteit van 25 kg/GJ uitkomen. Met de aangenomen ontwikkelingen in de warmtebronnen, voldoen deze twee netten¹⁵ net niet aan de CO₂-eis. Zij hebben een CO₂-intensiteit van 27,1 en 27,0 CO₂/GJ. Dit komt door relatief hoge warmteverliezen. In deze studie hebben we geen aannames gedaan over het verbeteren van warmteverliezen in deze netten. Omdat het verschil met de CO₂-eis klein is en vanwege de scope en het detailniveau van dit onderzoek, hebben we de algemene aannames niet aangepast om deze netten alsnog aan de CO₂-eis te laten voldoen. Op de totale onrendabele top zou het effect daarvan immers zeer beperkt zijn.

Figuur 14 - CO₂-intensiteit van grote en middelgrote warmtenetten in 2030. Op de x-as staan de verschillende netten. In deze grafiek zijn de netten gesorteerd op CO₂-intensiteit



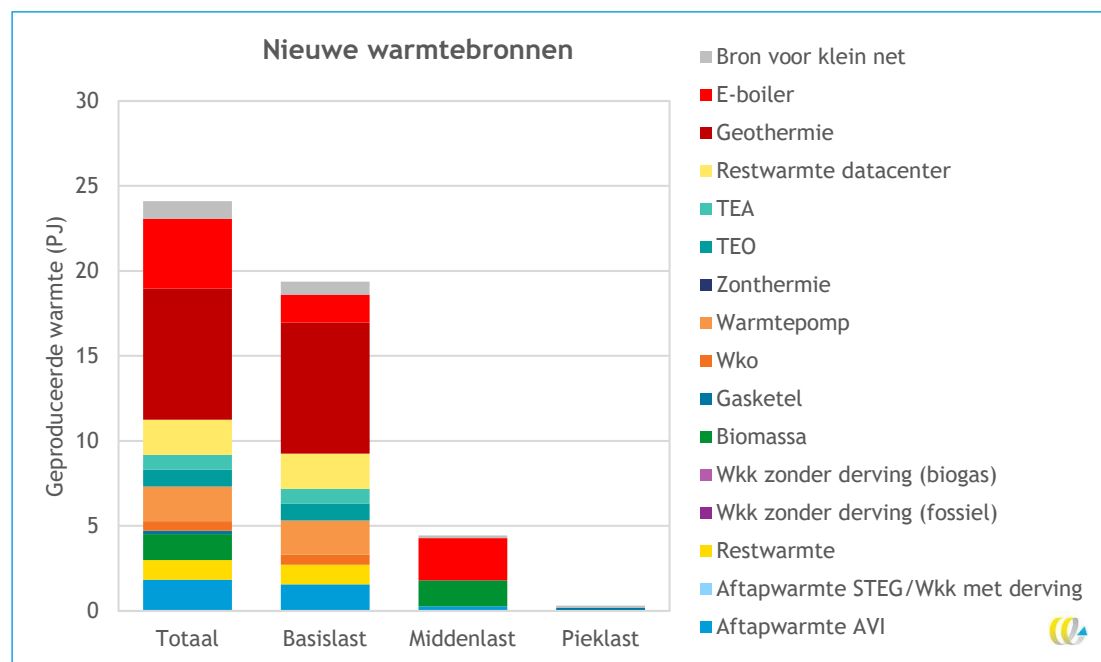
¹⁴ Dit komt mede door de methodiek die we gebruiken om de CO₂-intensiteit van kleine warmtenetten in 2030 te bepalen, zie Hoofdstuk 2.

¹⁵ Het wkk-net in Helmond en het wkk-net in Leeuwarden Zuidlanden. Het eerste is een groot warmtenet, het tweede een middelgroot warmtenet.

5.3 Onrendabele top en benodigde SDE-middelen

Voor de onrendabele top en het benodigde SDE-budget hebben we alleen gekeken naar de nieuwe warmtebronnen die tussen nu en 2030 ontwikkeld worden. Figuur 15 laat de warmteproductie van nieuwe warmtebronnen zien en de verdeling in basis-, midden- en pieklast (volgens de uitgangspunten in Bijlage B.4). Hieruit is duidelijk dat bijna alle nieuwe bronnen volledig in de basislast worden ingezet.

Figuur 15 - Nieuwe warmtebronnen in 2030 en de verdeling naar basis-, midden- en pieklast



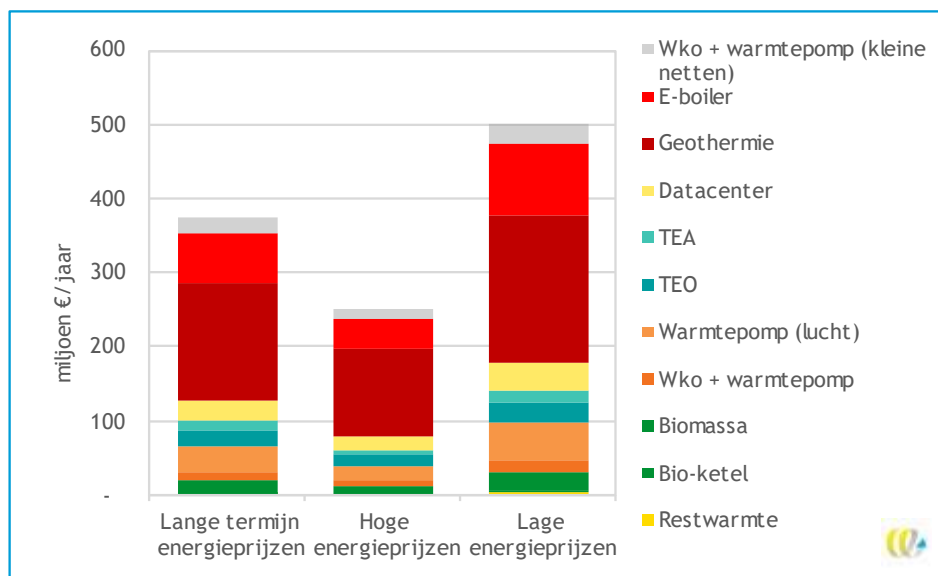
De SDE++-methodiek beschrijft de onrendabele top per geproduceerde GJ. Deze is gegeven in Bijlage B.6. Voor alle nieuwe warmtebronnen, behalve de e-boiler en biomassa, hebben we de SDE-categorie met de meeste vollasturen gebruikt. Biomassa en e-boilers zijn naar verwachting de enige nieuwe warmtebronnen die tot en met 2030 een rol hebben in de midden- en pieklast¹⁶ en waarvoor SDE++-subsidie bestaat. Voor de e-boiler is in de SDE++ al rekening gehouden met het feit dat deze alleen wordt ingezet op momenten dat de elektriciteitsprijs heel laag is. We hebben daarom de bestaande categorie in uit de SDE++ aangehouden voor het berekenen van de onrendabele top. De biomassa in de middenlast bestaat uitsluitend uit projecten in de pijplijn waarvoor in het recente verleden een beschikking is toegekend. Voor het berekenen van de onrendabele top hebben we dezelfde SDE-categorie gehanteerd als die reeds is toegekend. Voor de biomassa in de pieklast (voor kleine warmtenetten) hebben we de SDE++-categorie gebruikt voor een ketel op vaste biomassa 0,5-5 MWth met 3.000 vollasturen. In Bijlage B.6 staat een overzicht van de onrendabele top per GJ voor de verschillende warmtebronnen.

¹⁶ Als bron voor kleine netten doen we de aanname dat de pieklast deels door biomassa wordt ingevuld. Dit aandeel biomassa valt onder de categorie bron voor klein net in de figuur.

Jaarlijkse onrendabele top

De jaarlijkse onrendabele top voor de nieuwe warmtebronnen in de bronnenmix in 2030, berekend met de SDE+++methodiek, is 374 (252-500)¹⁷ miljoen euro. Dit is een inschatting van het benodigde SDE+++-bedrag voor één jaar, alleen voor de nieuw te ontwikkelen bronnen (dus exclusief SDE+++-beschikkingen die doorlopen voor bestaande bronnen). Figuur 16 en Tabel 6 laten de onrendabele top per warmtebron zien voor drie verschillende energieprijsscenario's (zie Paragraaf 2.4).

Figuur 16 - Onrendabele top per warmtebron voor drie energieprijsscenario's



Tabel 6 - Onrendabele top per warmtebron voor drie energieprijsscenario's (miljoen €)

Warmtebron	Langetermijn-energieprijzen	Hoge energieprijzen	Lage energieprijzen
Restwarmte	€ 0,9	€ -	€ 4,8
Bioketel	€ 0,5	€ -	€ 2,1
Biomassa	€ 18,3	€ 11,5	€ 25,1
Warmtepomp (lucht)	€ 35,2	€ 18,7	€ 51,7
TEO	€ 21,9	€ 16,8	€ 27,0
TEA	€ 10,8	€ 6,4	€ 15,2
Datacenter	€ 27,6	€ 16,9	€ 38,2
Geothermie	€ 158,1	€ 118,7	€ 197,5
E-boiler	€ 68,9	€ 41,8	€ 95,9
Wko + warmtepomp	€ 11,4	€ 7,6	€ 15,3
Wko + warmtepomp (kleine netten)	€ 20,1	€ 13,3	€ 26,9
Totaal	€ 374	€ 252	€ 500

De verdeling van de onrendabele top per bron in bovenstaande grafiek en tabel is indicatief: het doel hiervan is niet om het exacte bedrag per bron te bepalen maar om een totaal budget te bepalen. Toch kan overkoepelend worden geconcludeerd dat het bedrag voor geothermie het hoogst is, gevolgd door de e-boiler.

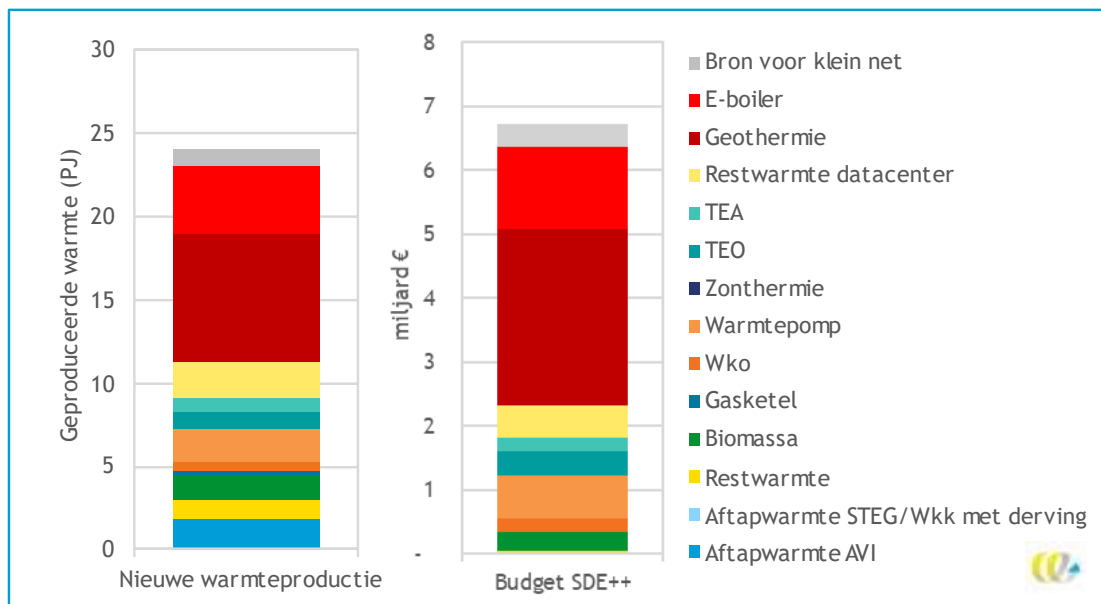
¹⁷ Range in het hoge en lage energieprijsscenario, zie Paragraaf 2.4.

Totale reservering SDE++-budget

De jaarlijkse onrendabele top geeft een zo goed mogelijke inschatting van de verwachte kasuitgaven per jaar. De benodigde totale budgetreservering voor de SDE++ is de totale onrendabele top berekend met de basisprijs uit de SDE-methode als referentieprijs over de looptijd van de SDE-\beschikking. Dit is een lage energieprijs, waardoor het budget ruim wordt ingeschat.

De benodigde budgetreservering voor de nieuwe warmtebronnen in de bronnenmix van 2030 is 6,7 miljard euro. Figuur 17 laat de warmteproductie en het te reserveren SDE++-budget zien voor de nieuwe warmtebronnen in de warmtebronnenmix van 2030. Hoewel de verdeling van het budget over de bronnen indicatief is, kan wel worden gezien dat de e-boiler en geothermie het grootste budget vragen. Het aandeel in het budget is groter dan hun aandeel in de warmteproductie, omdat de subsidie-intensiteit relatief hoog is. Daarnaast valt op dat voor restwarmte weinig SDE-budget nodig is. Dit komt doordat restwarmte een relatief lage onrendabele top heeft (zie Bijlage B.6). Andere bronnen, zoals aftapwarmte uit STEGs en AVIs, komen niet in aanmerking voor SDE++.

Figuur 17 - De nieuwe warmteproductie en het bijbehorend te reserveren SDE++-budget per warmtebron



Gevoeligheidsanalyse onrendabele top

Geothermie met en zonder warmtepomp

In het hoofdscenario hebben we aangenomen dat warmtebedrijven geothermie altijd met een warmtepomp ontwikkelen. Volgens de SDE++-methode voor de onrendabele top, is de onrendabele top hoger voor geothermie met warmtepomp dan voor geothermie zonder warmtepomp. We hebben ook een scenario beschouwd waarin de helft van de geothermie-bronnen met warmtepomp¹⁸ en de helft zonder warmtepomp wordt ontwikkeld. In dat geval

¹⁸ We nemen de gemiddelde onrendabele top van de drie SDE++-categorieën voor verschillende vermogens.

is de totale jaarlijkse onrendabele top 16% (12-23%) lager, namelijk 314 (195-440) miljoen euro. De onrendabele top voor geothermie is dan 99 (61-138) miljoen euro, in plaats van de waarden in Tabel 6. Het benodigde totale budget voor geothermie, in het geval dat alle geothermie met warmtepomp wordt ontwikkeld, is 2,7 miljard euro. Wanneer de helft van de geothermie zonder warmtepomp wordt ontwikkeld, daalt dat naar 1,9 miljard euro. Of warmtebedrijven geothermie met of zonder warmtepomp ontwikkelen, heeft dus een aanzienlijk effect op de onrendabele top en het totaal benodigde budget voor de SDE++.

Biomassa

De nieuw biomassaproductie in de geprognostiseerde warmtebronnenmix is bijna geheel uit projecten in de pijplijn waarvoor in het recente verleden een beschikking is toegekend. Daarnaast verwachten we dat een klein deel van de warmteproductie van nieuwe netten door biomassa wordt ingevuld, ook wanneer daar geen subsidie voor beschikbaar is. We hebben de onrendabele top voor biomassa berekend volgens de SDE++-methodiek en het benodigde budget voor biomassa bepaald. Echter is voor een groot deel van de biomassa-productie de SDE++ al toegekend. Ook is de SDE++ voor biomassa voor laagwaardige warmte afgeschaft (Energeia, 2022). De berekende onrendabele top voor biomassa waarvoor al een beschikking is toegekend is 18 (12-25) miljoen euro en het reserveringsbudget is 0,3 miljard euro. Dit bedrag hoeft dus niet nog een keer te worden gereserveerd.

De overige inzet van biomassa is voor biomassaketels in de kleine warmtenetten. Daarvan is de onrendabele top 0,5 (0-2,1) miljoen euro en het reserveringsbudget 0,02 miljard euro. Indien hier geen SDE++ voor beschikbaar wordt gemaakt, wordt het budget dus met dit bedrag verlaagd.

Voorwaarden e-boiler en warmtepomp

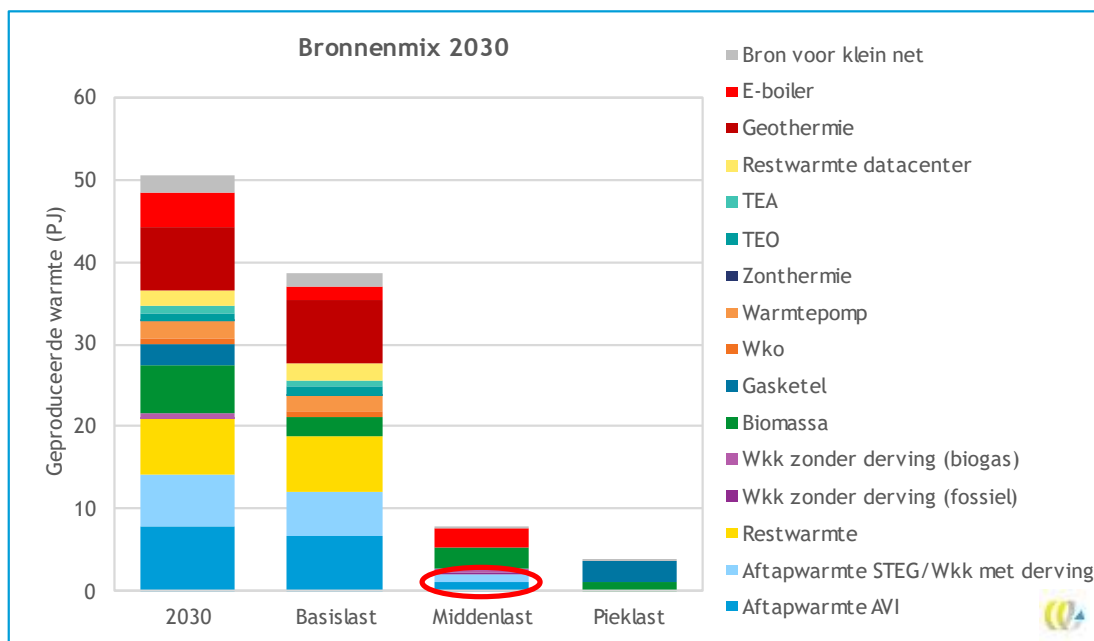
Om SDE++ aan te vragen voor een e-boiler en warmtepomp moet je aan een aantal voorwaarden voldoen. Een voorwaarde voor de e-boiler is bijvoorbeeld dat deze warmte van minimaal 100°C moet leveren. Voor een warmtepomp bestaat een minimale eis voor de SCOP. Een beknopt overzicht van de voorwaarden staat in Bijlage B.6. Voor het bepalen van de onrendabele top en het benodigde budget hebben we aangenomen dat alle nieuw te ontwikkelen e-boilers en warmtepompen aan deze voorwaarden voldoen. De totale geschatte onrendabele top voor warmtepomp (lucht) en e-boiler zijn respectievelijk 35 (19-52) miljoen euro en 69 (42-96) miljoen euro (zie ook Tabel 6). Het benodigde budget is 0,7 miljard euro voor de luchtwarmtepompen en 1,3 miljard euro voor de e-boilers.

Als (warmte)bedrijven projecten ontwikkelen met warmtepompen en e-boilers die niet voldoen aan de voorwaarden, komen ze niet in aanmerking voor de SDE++. In dat geval is er minder SDE++-budget nodig.

Verduurzaming van de middenlast

De nieuwe duurzame warmtebronnen worden voornamelijk ingezet in de basislast. Na 2030, wanneer warmtelevering verder verduurzaamd moet worden, wordt het steeds belangrijker om ook de middenlast te verduurzamen. We hebben berekend wat het effect is van het verduurzamen van de middenlast op de onrendabele top en het te reserveren SDE++-budget. We hebben een situatie beschouwd waarin AVIs en STEGs geen rol spelen in de middenlast, en deze warmteproductie door nieuwe duurzame bronnen moet worden ingevuld. De warmteproductie die anders moet worden ingevuld, is rood omcirkeld in Figuur 18. Het gaat om 2,1 PJ ten opzichte van het totaal van 24 PJ aan nieuwe bronnen (9%).

Figuur 18 - Totale warmtebronnenmix in 2030 en de verdeling naar basis-, midden- en pieklast. Rood omcirkeld de warmteproductie die anders wordt ingevuld



Hoewel er geen SDE++ voor biomassa in de gebouwde omgeving beschikbaar komt, geven warmtebedrijven aan dat ze biomassa nog steeds als beste optie zien voor de middenlast. Om te onderzoeken wat de toegevoegde waarde is van biomassa in de middenlast, hebben we twee extreme scenario's beschouwd voor het invullen van de weggevallen warmteproductie:

- **Geen nieuwe biomassa:** Dit is een scenario waarin de weggevallen warmteproductie van de AVIs en STEG in de middenlast met verschillende duurzame bronnen wordt ingevuld, maar niet met biomassa. In dit scenario hebben we aangenomen dat de weggevallen warmteproductie wordt ingevuld door industriële restwarmte, wko met warmtepomp, lucht-warmtepomp, TEO, TEA, restwarmte uit datacenters en geothermie (in gelijke mate).
- **Wel nieuwe biomassa:** In dit scenario wordt de weggevallen warmteproductie volledig ingevuld door warmte uit biomassa.

Voor beide scenario's hebben we in bestaande SDE++-categorieën de vollasturen aangepast naar 1.050 uur. Dat komt overeen met de vollasturen voor middenlast in Paragraaf 2.3. De subsidie-intensiteit voor bijna alle warmtebronnen (ook voor biomassaketels > 5 MW) komt door deze aanpassing boven het maximum van 400 €/ton CO₂, dat voor de SDE++ wordt gehanteerd (zie Bijlage B.6). Uitzonderingen zijn geothermie en kleinschalige biomassa: met 1.050 vollasturen is de subsidie-intensiteit voor geothermie met een warmtepomp 325 €/ton CO₂ en voor biomassaketel tot 5 MW 335 €/ton CO₂ (in dit onderzoek is niet verkend of dit realistisch is). Voor deze berekeningen hebben we het maximum van 400 €/ton CO₂ losgelaten, om te illustreren wat het verschil is tussen de twee scenario's. Tabel 7 laat zien wat de gevolgen zijn voor de onrendabele top en de benodigde budgetreservering.

Tabel 7 - Onrendabele top en budgetreservering voor extra verduurzaming middenlast

	Geen nieuwe biomassa	Wel nieuwe biomassa
Jaarlijkse onrendabele top voor extra middenlast (miljoen €)	151	71
Jaarlijkse onrendabele top totaal (miljoen €)	525	445
Budgetreservering voor extra middenlast (miljard euro)	2,4	0,9
Budgetreservering totaal (miljard €)	9,1	7,7
Extra budgetreservering verduurzamen middenlast t.o.v. totaal	35%	13%

Uit deze tabel komen twee conclusies naar voren. Ten eerste zorgt het verduurzamen van de middenlastbronnen voor significante extra kosten per PJ: voor 4% extra warmteproductie is er respectievelijk 35% en 13% meer SDE-budget nodig. Daarnaast is te zien dat een scenario zonder biomassa veel hogere kosten heeft dan een scenario met biomassa. Biomassa is dus een relatief kosteneffectieve manier om de middenlast te verduurzamen.

Daarnaast laat de analyse zien dat het aanpassen van de vollasturen naar 1.050 uur de subsidie-intensiteit voor de meeste warmtebronnen boven het maximum van 400 €/ton CO₂ laat uitkomen. Alleen de subsidie-intensiteit voor geothermie en kleinschalige biomassa blijft onder het maximum. Ondersteuning van de ontwikkeling van duurzame middenlastbronnen vereist daarom additionele ruimte binnen de huidige systematiek met subsidie-intensiteit of een ander financieringsinstrument.

5.4 Knelpunten

Naast de onrendabele top van de warmtebronnen bestaan er ook andere knelpunten voor het realiseren van de benodigde verduurzaming. Deze knelpunten volgen uit de analyse en komen voort uit interviews met warmtebedrijven.

Doorlooptijd

Uit de analyse volgt dat er 24 PJ aan nieuwe warmteproductie moet worden gerealiseerd. Het ontwikkelen van zoveel bronnen kost tijd (circa vijf tot vijftien jaar volgens NVDE, (2022)). Bij de warmtebedrijven hebben we geïnventariseerd of zij projecten in de pijplijn hebben om de doelen in 2030 te halen. De vijf geïnterviewde warmtebedrijven hebben aangegeven bronnenstrategieën te ontwikkelen om de CO₂-eis te halen. Veel bronontwikkelingen zitten in de pijplijn en er worden concrete opties onderzocht. Daarmee is de doorlooptijd naar verwachting geen belemmering. Een uitzondering zijn de wkk-netten, waar grote uitdagingen liggen (zie hierna).

De warmtebedrijven hebben een aantal factoren genoemd die invloed hebben op de doorlooptijd van de ontwikkeling van nieuwe warmtebronnen. Ten eerste kan gebrek aan draagvlak voor bepaalde warmtebronnen (biomassa, datacenters en geothermie) zorgen voor vertraging in de uitvoering. Ten tweede maakt de huidige krapte op de arbeidsmarkt het onzeker of er genoeg arbeidscapaciteit is om alle plannen uit te voeren. Ten slotte kan de ontwikkeling van geothermie een zeer lange doorlooptijd hebben als nog niet bekend is of de ondergrond geschikt is voor geothermie.

Grote uitdagingen voor wkk-netten

Uit de analyse volgt dat warmtenetten met een wkk als hoofdbron (bijna) in geen geval aan de duurzaamheidseis kunnen voldoen. Volgens de voorgeschreven methode om emissies voor warmte uit wkk's te bepalen, worden de emissies hoger wanneer emissiefactor van elektriciteit daalt. In 2030 heeft warmte, geproduceerd met een wkk, een CO₂-intensiteit van 87 kg CO₂/GJ. De emissies voor geleverde warmte zijn nog hoger, vanwege verliezen in het net. Met een CO₂-eis van 25 kg/GJ, kunnen wkk's in feite geen rol meer spelen in een warmtenet.

Los van de CO₂-emissies zijn er ook andere factoren die het verduurzamen van wkk-netten ingewikkeld maken. Wkk's zijn relatief compacte installaties en staan vaak in een technische ruimte in een woonwijk. Er is beperkt ruimte beschikbaar voor de ontwikkeling van nieuwe warmtebronnen die de wkk kunnen vervangen. Volgens warmtebedrijven is het, mede vanwege ruimtegebrek, in de meeste gevallen ook niet mogelijk de wkk te laten staan en een duurzame warmtebron naast de wkk te ontwikkelen.

De meest voor de hand liggende verduurzamingsstrategie voor wkk-netten is om het net te verbinden met een groter bestaand warmtenet. Echter geven de warmtebedrijven aan dat zij dit, waar dit makkelijk te doen is, al gedaan hebben. Voor de wkk-netten waar aansluiten op een ander net niet mogelijk is en aansluiten op restwarmte of aquathermie niet mogelijk is, blijft een luchtwarmtepomp als meest geschikte optie over. Maar ook het toepassen van een luchtwarmtepomp als alternatief voor een wkk kent uitdagingen. Denk hierbij aan geluidsoverlast, hoge kosten en gebrek aan ruimte voor de buitenunit van de warmtepomp.

Met de CO₂-eis uit de Wet collectieve warmte, is er in 2030 dus (bijna) geen plek voor wkk's in de warmtebronnenmix. Wkk's vervullen echter ook een flexibele rol in het elektriciteitsstelsel. De vraag rijst of het wenselijk is dat wkk's verdwijnen. In dit onderzoek gaan we niet verder in op deze vraag, maar het is belangrijk ook de rol van de wkk's in het elektriciteitsstelsel mee te nemen in de besluitvorming. Indien het niet wenselijk is dat alle wkk's verdwijnen, is een mogelijke oplossing CO₂-emissies voor warmte uit een wkk te koppelen aan de manier waarop de wkk wordt ingezet. Zo een koppeling bestaat ook voor de e-boiler onder de term Dynamic Reference Price Mechanism. Ook is het mogelijk om voor een andere rekenmethode te kiezen voor wkk-emissies, zoals de methode die gebruikt wordt in het Emission Trade System (ETS) (Greenvis, 2022).

Netcongestie en hoge nettarieven

Door netcongestie is het niet altijd mogelijk om grote nieuwe elektriciteitsaansluitingen te realiseren. Dit leidt tot uitvoeringsproblemen bij het ontwikkelen van e-boilers en nieuwe warmtebronnen waar een warmtepomp bij nodig is. Een groot deel van de genoemde nieuwe warmtebronnen in Paragraaf 4.4 maakt gebruik van een warmtepomp. Alleen voor geothermie¹⁹ en industriële restwarmte is niet altijd een grote elektriciteitsaansluiting nodig. Maar deze warmtebronnen zijn niet overal beschikbaar.

De nettarieven zijn de afgelopen jaren flink gestegen. Dit heeft een groot effect op de businesscase van warmtebronnen. Omdat e-boilers een veel lager rendement hebben dan warmtepompen, zorgen de hoge nettarieven vooral bij e-boilers voor financiële uitdagingen.

¹⁹ In de praktijk wordt geothermie ook vaak met warmtepomp ontwikkeld, maar dat is niet altijd nodig.

Seizoensopslag op hoge temperatuur nog niet ontwikkeld genoeg

Seizoensopslag is door geen van de warmtebedrijven genoemd als kansrijke optie voor 2030. Seizoensopslag kent technische, financiële, marktgerelateerde en organisatorische obstakels en belemmeringen in de huidige regelgeving. De belemmeringen genoemd in CE Delft, (2023) zijn:

- opslagsystemen op temperaturen boven 25 °C zijn nog in ontwikkeling;
- ruimtebeslag van opslag is uitdagend in hoogstedelijke gebieden;
- opslag van hoge temperaturen vraagt vaak om kostbare opwaardering, door opslagverlies;
- hoge en onzekere investeringen in opslag leiden tot kleine opslagvolumes;
- grootschalige HT-opslagsystemen zijn beperkt ontwikkeld in Nederland, er zijn nog maar enkele onderzoekspilotprojecten in Nederland;
- er is nog geen markt voor seizoensopslag omdat dit pas laat in de transitie aan bod komt;
- onduidelijkheid over de beschikbaarheid en kosten van duurzaam gas maakt de afweging tussen opslag en duurzaam gas moeilijk om te maken;
- aanvullende complexiteit opslag belastend voor nieuwe warmteprojecten;
- gebrek aan duidelijk omschreven voorwaarden voor vergunningverlening.

Wel achten de warmtebedrijven seizoensopslag essentieel voor de verdere verduurzaming van warmtenetten, met name voor het beperken van de inzet van gasketels. Het is dus belangrijk om de belemmeringen voor energieopslag aan te pakken, zodat dit op termijn ingezet kan worden. De Routekaart Energieopslag heeft in kaart gebracht welke acties ondernomen moeten worden om de energieopslag te bevorderen (Ministerie van EZK, 2023b).

Duurzame bronnen voorzien vooral in basislast

De duurzame warmtebronnen, genoemd in Paragraaf 4.4 zijn, op de e-boiler en biomassa na, allemaal typische basislastbronnen. Daarbij is de e-boiler niet warmtegevraagd. Er zijn niet voldoende geschikte duurzame bronnen om te middenlast en pieklast te verduurzamen. De warmtebedrijven geven aan dat zij de warmtenetten ‘van onderop’ verduurzamen. Dat houdt in dat de nieuwe duurzame bronnen als basislast worden ingezet en dus zoveel mogelijk uren draaien. Indien mogelijk, vullen meer flexibele bestaande bronnen de middenlast in.

Warmtebedrijven met warmtenetten met warmteproductie uit biomassa geven aan dat zij verwachten dat de biomassa van basislast naar middenlast schuift. Een e-boiler zou je ook als middenlastbron kunnen zien. Maar warmtebedrijven verwachten de e-boiler alleen aan te zetten bij lage elektriciteitsprijzen. Een e-boiler is daarom niet flexibel genoeg om in de gehele middenlast van een warmtenet te kunnen voorzien. Naast biomassa en e-boilers, zijn er momenteel geen voor de hand liggende duurzame warmtebronnen om de middenlast te vullen. In de toekomst kan seizoensopslag hier mogelijk een rol in spelen.

De pieklast is de grootste uitdaging om te verduurzamen. Tot 2030 vullen gasketels op aardgas nog steeds het grootste deel van de pieklast in. Door de verduurzaming van onderop en reductie van de warmtevraag door het stimuleren van isolatie, neemt de pieklast wel af tot 2030. Een piekbron moet flexibel grote vermogens kunnen leveren. Voor veel bestaande middenlastbronnen is dat niet mogelijk of komen daar erg hoge kosten bij kijken. Duurzame alternatieven voor de pieklast zijn ketels op hernieuwbare gassen (groengas en waterstof). De beschikbaarheid van deze gassen is voornamelijk zeer beperkt en onzeker. Ook is de infrastructuur voor waterstof is nog niet ontwikkeld. Een e-boiler is volgens de meeste

warmtebedrijven geen geschikte piekbron. De piekbron is vooral op koude momenten nodig, op deze momenten zijn de elektriciteitsprijzen over het algemeen hoog. Het is dan erg kostbaar warmte op te wekken met een e-boiler. Tot 2030 levert het nog geen grote problemen op dat de pieklast moeilijk te verduurzamen is. We concluderen dat de CO₂-eis in 2030 haalbaar is zonder de pieklast te verduurzamen. Wanneer de CO₂-eis naar 0 kg CO₂/GJ per net gaat, is het verduurzamen van de pieklast wel nodig.

Warmtenetten publiek eigendom (Wcw)

Hoewel dit onderzoek niet gericht is op ander beleid dan de SDE++, is het wetsvoorstel voor de Wet collectieve warmtevoorziening (Wcw) wel door sommige warmtebedrijven genoemd als mogelijk knelpunt. In dit wetsvoorstel, waarover de Raad van State in 2023 een advies uitbrengt, is opgenomen dat warmtenetten in publiek eigendom worden gebracht. De onzekerheid die dit meebrengt voor commerciële warmtebedrijven, maakt dat zij op dit moment zeer terughoudend zijn met het doen van nieuwe investeringen in de warmtenetten, en daarmee ook in nieuwe warmtebronnen. Hoe langer deze terughoudendheid aanhoudt, hoe kleiner de kans wordt dat er de komende jaren voldoende nieuwe warmteaan-sluitingen gerealiseerd worden om de doelen voor 2030 te behalen.

6 Conclusies

Nieuwe warmtebronnen en onrendabele top

In 2030 is 24 PJ warmteproductie uit nieuwe warmtebronnen nodig om de doelen voor groei van warmtenetaansluitingen en de duurzaamheidseisen, uit het Klimaatakkoord en de Wet collectieve warmte, te halen. De opgestelde warmtebronnenmix voor 2030 heeft een gemiddelde CO₂-intensiteit van 10,5 kg CO₂/GJ. Daarmee wordt het doel uit het Klimaatakkoord van 18,9 kg CO₂/GJ ruim gehaald.

In 2030 is de verwachte jaarlijkse onrendabele top (kasuitgaven) van de warmtebronnen is 374 (252-500) miljoen euro. Wanneer deze bronnen gerealiseerd worden met behulp van de SDE++, is 6,7 miljard euro aan budget reservering nodig.

De nieuwe bronnen vervullen vooral de rol van basislast. Tot 2030 wordt de middenlast naar verwachting vooral ingevuld met bestaande bronnen. Wanneer de middenlast verder verduurzaamd wordt, zijn er een aantal aspecten in de SDE++-methodiek die aandacht behoeven:

- Voor veel warmtebronnen bestaat er op dit moment geen categorie met vollasturen die overeenkomen met een middenlastbron.
- Met significant minder vollasturen wordt voor veel warmtebronnen de subsidie-intensiteit hoger dan de maximale 400 €/t CO₂. Ondersteuning van de ontwikkeling van duurzame middenlastbronnen vereist daarom additionele ruimte binnen de huidige systematiek met subsidie-intensiteit of een ander financieringsinstrument.

Het verduurzamen van de middenlast heeft hogere kosten (per GJ) dan het verduurzamen van de basislast. Het inzetten van biomassa in de middenlast beperkt deze kosten zeer.

Knelpunten

De warmtebedrijven geven aan dat zij de doorlooptijd van het ontwikkelen van nieuwe warmtebronnen in principe niet als knelpunt zien om de opgestelde warmtebronnenmix te realiseren. De warmtebedrijven hebben al voldoende projecten in de pijplijn.

Knelpunten die uit dit onderzoek naar voren komen zijn:

- Verduurzaming van warmtenetten met een wkk als belangrijkste warmtebron. Voor deze netten is het een grote uitdaging een alternatieve duurzame bron te vinden, door zowel gebrek aan fysieke ruimte als hoge investeringskosten. Een aandachtspunt is dat wkk's ook een rol in het elektriciteitssysteem vervullen, dit kan ook een reden zijn om wkk's te willen behouden. In dat geval moet er gezocht worden naar een beleidsmatige oplossing.
- Netcongestie op veel plekken in Nederland zorgt voor vertraging bij het ontwikkelen van duurzame warmtebronnen die gebruik maken van elektriciteit.

- De nettarieven zijn de afgelopen jaren flink gestegen. Dit heeft een groot effect op de businesscase van warmtebronnen. Dit leidt vooral bij e-boilers tot grote financiële uitdagingen.
- Seizoensopslag is nog niet ver genoeg ontwikkeld om een aanzienlijke bijdrage te leveren in de verduurzaming van warmtenetten.
- Duurzame bronnen beperken zich vooralsnog tot rol in basislast. Dit knelt vooral wanneer de midden- en pieklast volledig verduurzaamd moeten worden na 2030.
- Het feit dat warmtenetten in publiek eigendom worden gebracht volgens het wetsvoorstel voor de Wcw, zorgt voor onzekerheid voor commerciële warmtebedrijven. Dit maakt dat zij op dit moment terughoudend zijn met het doen van nieuwe investeringen in de warmtenetten en aansluitingen. Dit leidt ook tot vertraging bij het ontwikkelen van nieuwe warmtebronnen.

Beperkingen

Dit onderzoek kent een aantal beperkingen en onzekerheden. De belangrijkste dingen die niet zijn meegenomen bij het bepalen van de reserveringsbudget voor de SDE++ staan hieronder genoemd:

- Bij het budget voor de SDE++ is nog geen rekening houden met vrijval voor projecten die wel een beschikking krijgen maar uiteindelijk niet doorgaan. Om de doelen alsnog te bereiken moeten deze of alternatieve projecten dan (opnieuw) indienen en daar moet dus ook budget voor worden gereserveerd. Door dit niet mee te nemen in het reserveringsbudget onderschatten we het budget. In 2020 was 26% van de hernieuwbare productie niet gerealiseerd (Trinomics, 2021). Dit geeft mogelijk een indicatie van de orde grootte van de onderschatting.
- Daarnaast houden we geen rekening met onvoorziene vertraging van projecten. Om de doelen voor 2030 zeker te halen, zou je over meer projecten moeten beschikken omdat er altijd wel een paar pas na 2030 gerealiseerd zullen zijn. Dit leidt eveneens tot een onderschatting van het budget. De gemiddelde CO₂-intensiteit van de hier geschatte bronnenmix ligt echter ver onder het doel voor 2030 en de CO₂-intensiteit per net ligt voor veel netten ook ruim onder de eis uit de Wcw. Daarom schatten we in deze onderschatting beperkt is.
- Een aantal van de nieuw te ontwikkelen bronnen hebben de afgelopen jaren al een SDE-beschikking gekregen. De bronnen zijn nog niet gerealiseerd, maar vanuit de SDE++ is er al wel budget gereserveerd. We hebben het reserveringsbudget voor de SDE niet gecompenseerd hiervoor. Dat we dit niet meenemen leidt tot een overschatting van het benodigde budget.

Het is erg lastig de effecten van deze beperkingen te kwantificeren. Al met al verwachten wij dat netto het reserveringsbudget enigszins onderschat is in deze studie. Daarmee kan het bedrag in deze studie als een ondergrens worden gezien.

7 Literatuur

- CBS, 2022. *Hernieuwbare Energie in Nederland 2021*, <https://longreads.cbs.nl/hernieuwbare-energie-in-nederland-2021/biomassa/> 2023.
- CBS & TNO, 2020. *Warmtemonitor 2019*, Den Haag: CBS.
- CE Delft, 2023. *Power-to-Heat en warmteopslag in warmtenetten. Businesscase, potentieel en rol in energiesysteem*, Delft: CE Delft.
- Dinkelman, D., Menkveld, D., 2021. *Berekening duurzaamheid van warmtebronnen*, Utrecht: TNO.
- Eneco, 2023. *Seizoensopslag Warmte Nesselande*, <https://www.eneco.nl/duurzame-energie/warmte-koeling/projecten/seizoensopslag-nesselande/>.
- Energiea, 2022. *Kabinet stopt definitief met subsidies voor laagwaardige warmte uit houtige biomassa*.
- Greenvis, 2022. *Onderzoek aanscherping CO2-normen in de Wet Collectieve Warmte Rapportage*.
- Harmelink, M., 2023a. *Duurzaamheid van warmte- & koudelevering Voorstel voor inhoud van de rapportageverplichting onder de Warmtewet, update 2023*.
- Harmelink, M., 2023b. *Methoden voor allocatie van CO2-emissie aan warmte geproduceerd met warmtekrachtinstallaties*, Utrecht.
- Ministerie van EZK, 2023a. *Inventarisatie ontwikkeling bronnenmix*.
- Ministerie van EZK, 2023b. *Routekaart Energieopslag*.
- NVDE, 2022. *Druk op doorlooptijd*.
- PBL, 2022. *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2022*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- PBL, 2023. *OT-model Eindadvies basisbedragen SDE++ 2023 (Excelbestand)*, https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2023-ot-model-sde-plus-plus-2023-4815_1.xlsx.
- Rijksoverheid, 2019. *Klimaatakkoord Hoofdstuk C Afspraken in de Sectoren : C1 Gebouwde omgeving*, <https://www.klimaatakkoord.nl/binaries/klimaatakkoord/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord-hoofdstuk-gebouwde-omgeving/klimaatakkoord-c1+GO.pdf>.
- Rijksoverheid, 2020. *Consultatie Wet collectieve warmtevoorziening*, Overheid.nl, <https://www.internetconsultatie.nl/warmtewet2>.
- Rijksoverheid, 2022 *artikel 12a lid 3c ,Warmtewet* [Online] <https://wetten.overheid.nl/BWBR0033729/2022-10-01>.
- Ronde, K. d., 2023. *Noodklok voor vertraging door discussie over warmtewet*. In: *Energiea*.
- RVO, 2017 *Publicaties over de warmtewet* [Online] <https://www.rvo.nl/onderwerpen/verduurzaming-warmtevoorziening/publicaties-warmte-en-koude/warmtewet> 10-05-2023.
- RVO, lopend-a. *On-line Tool Warmteatlas*, <https://pzh.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=6d2ce193ab7d4bc3a15aaeb5240df0bc> 2020.
- RVO, lopend-b. *Subsidies & Financiering: Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++)*, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sde> 2022.
- Trinomics, 2021. *Evaluatie van de SDE+*: Trinomics.
- Vattenfall, 2022 *Biomassa: een mogelijke tussenstap naar fossielvrije stadsverwarming* [Online] <https://www.vattenfall.nl/stadsverwarming/biomassa-voor-stadsverwarming/> 09-06-2023.



A Betrokken partijen

Onderdeel van deze studie zijn een werksessie met betrokken partijen en vijf interviews met warmtebedrijven.

Aanwezigen bij de werksessie:

Bart Dehue	Vattenfall
Bas van Golde	Ennatuurlijk
Christiaan van Eekhout	Eneco
Christoph Tönjes	WarmtelinQ
Jentse Hoekstra	EZK
Lex Bosselaar	RVO
Luc Brugman	HVC
Marc Londo	NVDE
Timme van Melle	EBN

Afmeldingen:

Rik Timmermans	Ede
Teun Vercauteren	Eteck
Thomas Thijssen	SVP

Met vijf warmtebedrijven hebben we een interview gehouden, dit zijn:

Christiaan van Eekhout en Roald Arkesteijn	Eneco
Bart Dehue	Vattenfall
Bas van Golde en Frank Soons;	Ennatuurlijk
Teun Vercauteren	Eteck
Thomas Thijssen	SVP

B Gebruikte rekenwaarden

B.1 Ontwikkeling bestaande warmtebronnen

In Paragraaf 4.2 staat beschreven hoe bestaande bronnen ontwikkelen richting 2030. Om tot een warmtebronnenmix in 2030 te komen, zijn deze ontwikkelingen vertaald naar kwantitatieve rekenregels. Voor elke warmtebron hanteren we een maximum voor het aandeel warmteproductie in een net in 2030. Wanneer de huidige warmteproductie al lager is dan dat aandeel, dan blijft de warmteproductie gelijk.

Naast een maximum aandeel voor de hoofdwarmtebronnen, hanteren we ook een maximum voor het aandeel warmteproductie uit gasketels op aardgas. We hanteren een maximum van 10% voor alle netten behalve de warmtenetten met een wkk als hoofdbron. Een groot deel van de wkk-netten voldoen niet in 2030 niet aan de CO₂-eis met 10% warmteproductie uit aardgas. Daarom hanteren we voor wkk-netten een maximum van 5% warmteproductie uit gasketels. Een overzicht van de gebruikte rekenwaarden staat in Tabel 8.

Tabel 8 - Maximum aandeel in warmteproductie in 2030 per warmtebron

Warmtebron	Maximum aandeel in warmteproductie in 2030
AVI	70%
Restwarmte	Geen maximum
Aftapwarmte (STEG)	30%
Wkk	0%
Biomassacentrale of ketel met biomassa	30%
Gasketels (alle netten behalve wkk-netten)	10%
Gasketels (wkk-netten)	5%

B.2 Ontwikkeling nieuwe warmtebronnen

Bestaande warmtebronnen gaan minder warmte produceren, tegelijkertijd moet de totale warmteproductie toenemen. Hiervoor is ontwikkeling van nieuwe warmtebronnen nodig. Op basis van de interviews met warmtebedrijven, schatten we in dat 75% van de groei plaatsvindt bij bestaande netten en 25% door ontwikkeling van nieuwe netten. Tabel 9 geeft een overzicht van de nieuwe warmtebronnen per hoofdbron die ze vervangen. Tabel 10 geeft de warmteproductie per warmtebron in nieuwe warmtenetten. Dit is een gemiddelde voor alle warmtenetten.

Tabel 9 - Overzicht van de nieuwe warmtebronnen per hoofdbron die ze vervangen

Hoofdbron die wordt vervangen	Restwarmte industrie	TEO	RWZI (TEA)	Datacenter	Geothermie	E-boiler	Warmtepomp (lucht)
AVI	x		x	x	x		
Aftapwarmte			x	x	x	x	
Wkk	x	x	x				x
Biomassa	x	x	x	x	x	x	

Tabel 10 - Aangenomen warmteproductie per warmtebron in nieuwe warmtenetten

	Restwarmte industrie	TEO	RWZI (TEA)	Geothermie	WKO + warmtepomp	Bioketel	Gasketel
Nieuwe netten	30%	5%	10%	30%	15%	5%	5%

B.3 Ontwikkelingen specifieke netten

Voor een aantal warmtenetten zijn de algemene aannames geen goede aanname, of zijn al concrete plannen bekend. In dat geval maken we voor deze netten een uitzondering in de rekenregels voor de ontwikkeling van warmtebronnen. Tabel 11 geeft een overzicht van de netten waar we een specifieke ontwikkeling hebben meegenomen. In de laatste kolom van de tabel staat welke ontwikkeling we hebben aangenomen.

Tabel 11 - Aangenomen ontwikkelingen in specifieke warmtenetten

Warmtenet	Warmtebedrijf	Hoofdbron	Aangenomen ontwikkeling
Den Haag stadsnet	Eneco	Aftapcentrale	Warmteproductie uit STEG neemt af naar 30% en extra warmteproductie uit industriële restwarmte via WarmtelinQ.
Amsterdam-Zuid en -Oost (incl. wkk-gebieden)	Vattenfall	Aftapcentrale	Warmteproductie van STEG in Diemen neemt af naar 40%. Nieuwe warmteproductie wordt ingevuld door restwarmte uit een datacenter, geothermie, biomassa en e-boiler.
Almere	Vattenfall	Aftapcentrale	Warmteproductie van STEG in Diemen neemt af naar 40%. Nieuwe warmteproductie wordt ingevuld door restwarmte uit een datacenter, geothermie, biomassa en e-boiler.
Lelystad	Vattenfall	Bio-energie	Ontwikkeling geothermiebron in Lelystad.
Leiden	Vattenfall	Aftapcentrale	Warmteproductie uit STEG neemt af naar 10% en extra warmteproductie uit industriële restwarmte via WarmtelinQ.
Midden- en West-Brabant	Ennatuurlijk	Aftapcentrale	Geen warmteproductie uit Amercentrale in 2030. Nieuwe warmteproductie komt uit verschillende bronnen: industriële restwarmte (20%), geothermie (30%), AVI (30%), e-boiler (20%) en gasketel (10%).
Enschede	Ennatuurlijk	Biomassa	Aandeel biomassa neemt af naar 30%, nieuwe warmteproductie komt uit extra restwarmte en een AVI.
Purmerend	SVP	Biomassa	Aandeel biomassa neemt af naar 60%, nieuwe warmteproductie komt uit geothermie.

B.4 Verdeling basis-, midden- en pieklast

We schatten in per warmtebron welk deel van de warmteproductie van die bron wordt ingezet in de basis-, midden- en pieklast. Dit doen we op basis van de eigenschappen van de warmtebronnen en aan de hand van informatie verkregen in de interviews met de warmtebedrijven. De aandelen per bron staan in Tabel 12.

Tabel 12 - Aanname per warmtebron welk deel van de warmteproductie van die bron wordt ingezet in de basis-, midden- en pieklast

Warmtebron	Aandeel warmteproductie bron		
	Basislast	Middenlast	Pieklast
Aftapwarmte AVI	85%	15%	
Aftapwarmte STEG/wkk met derving	85%	15%	
Restwarmte	100%		
Wkk zonder derving (fossiel)		100%	
Wkk zonder derving (biogas)		100%	
Biomassa	40%	40%	20%
Gasketel			100%
Wko	100%		
Warmtepomp	100%		
Zonthermie	100%		
TEO	100%		
TEA	100%		
Restwarmte datacenter	100%		
Geothermie	100%		
E-boiler	40%	60%	
Bron voor klein net	75%	15%	10%

B.5 CO₂-intensiteit warmtebronnen

Voor de berekeningen van de CO₂-intensiteit hebben we de CO₂-emissiefactoren gebruikt als weergegeven in Tabel 13. De emissiefactoren hebben we berekend volgens de methode uit Harmelink, (2023a). De gebruikte waarden van verschillende factoren in de berekeningen staan in Tabel 14. We hebben gerekend met de huidige netverliezen.

Tabel 13 - CO₂-emissiefactoren per warmtebron in 2030 in kg CO₂ per geproduceerde GJ warmte

Warmtebron	Emissiefactor
AVI	3
Aftapwarmte (aardgas)	4
Restwarmte industrie	1
Wkk (fossiel)	87
Wkk (biogas)	0
Bio-energie	0
Bioketel	0
Gasketel	64
Wko + warmtepomp	15
Warmtepomp (lucht)	13
TEO	6
TEA	6
Restwarmte datacenter	1
Geothermie ²⁰	9
E-boiler ²¹	0

²⁰ Emissies voor geothermie met warmtepomp. De helft van de emissies van de bijvangst zijn aan de warmte van geothermie toegekend.

²¹ Aanname dat de e-boiler wordt ingezet volgens Dynamic Reference Price Mechanism.

Tabel 14 - Waarde factoren gebruikt in berekening van emissiefactoren warmtebronnen 2030

	Waarde	Eenheid	Bron
Hernieuwbare fractie uit afval	0,54	%	(CBS, 2022)
Elektriciteitsverliesfactor	0,18	%	Omzettingsfactor elektrisch/thermisch uit NEN7125, sectie 7.3.4.6 (Dinkelman, 2021)
Primair fossiele energie-inzet elektriciteit landelijk net	0,45	GJp/GJe	(PBL, 2022)
CO ₂ -emissiefactor brandstof AVI	38,3	kg/GJp	Harmelink, (2023a) (voetnoot 18)
CO ₂ -emissiefactor aardgas (brandstof STEG)	50,8	kg/GJp	(Dinkelman, 2021)
Elektriciteitsgebruik uitkoppeling restwarmte	0,07	GJe/GJth	NTA8800 P.6.5.4.7 Harmelink, (2023a)
Emissiefactor elektriciteit landelijk net	43,7 ²²	kg/GJp	(PBL, 2022)
COP-luchtwarmtepomp (aanne)me	3,2		Eindadviezen SDE++
Thermisch rendement wkk	50%	%	Aanname op basis van Harmelink, (2023b)
Elektrisch rendement wkk	40%	%	Aanname op basis van Harmelink, (2023b)
Aandeel bijvangst geothermie toekennen aan warmtenet	50%	%	Aanname dat de helft van de bijvangst bij geothermie zorgt voor additionele emissies uit aardgas

B.6 Onrendabele top

Tabel 15 en Tabel 16 geven een overzicht van de gebruikte waarden gebruikt om de onrendabele top te berekenen.

Tabel 15 - Referentieprijs in €/kWh voor drie prijsscenario's

Methode-ID ²³	Omschrijving	Basisscenario	Scenario hoge prijzen	Scenario lage prijzen
15	Warmte middelklein	€ 0,067	€ 0,096	€ 0,038
16	Warmte middelgroot	€ 0,062	€ 0,091	€ 0,032
17	Warmte groot_1	€ 0,035	€ 0,053	€ 0,017
18	Warmte groot	€ 0,045	€ 0,069	€ 0,021

Tabel 16 - Gehanteerde onrendabele top per warmtebron in €/GJ in drie prijsscenario's

Warmtebron	Onrendabele top (€/GJ)		
	Langetermijnprijzen	Hoge energieprijzen	Lage energieprijzen
Restwarmte industrie	0,82	-	4,14
Biomassa	13,81	8,69	18,92
Bioketel	2,76	-	10,89
Wko + warmtepomp	19,69	13,07	26,31
Warmtepomp (lucht)	17,37	9,25	25,50
TEO	22,00	16,89	27,11
TEA	12,64	7,53	17,75
Restwarmte datacenter	13,25	8,14	18,36
Geothermie	20,53	15,42	25,64
E-boiler	16,69	10,14	23,25

²² Berekend volgens formule uit Harmelink, (2023a).

²³ Uit het OT-model 2023.

Voorwaarden SDE++

Om SDE++-subsidie aan te vragen moeten warmtebronnen aan enkele voorwaarden voldoen (RVO, lopend-b). In dit onderzoek gaan we er vanuit dat alle te ontwikkelen bronnen aan deze voorwaarden voldoen. De relevante voorwaarden staan in Tabel 17.

Tabel 17 - Voorwaarden warmtebronnen voor de SDE++

Technologie	Thermisch vermogen	COP Minimum	Overige Voorwaarden
Geothermie	Minimaal 500 kWth	-	-
Aquathermie (TEO)	Minimaal 0,5 MWth	Minimaal 3,0	Systeem mag wel koude leveren, maar daar is geen subsidie op
TEA (of TED)	Minimaal 0,5 MWth	Minimaal 3,0	Systeem mag geen koude leveren
Pvt-panelen met warmtepomp	Minimaal 500 kWth	Minimaal 3,0	-
Zonthermie	Minimaal 140 kW	-	-
Elektrische boiler	Minimaal 5 MWth	-	Het verwarmingssysteem waarop wordt ingevoed, heeft een aanvoertemperatuur aan de gebruikerszijde van ten minste 100 °C in het stookseizoen of het gaat om een stoomsysteem. Het vermogen van de netaansluiting is ten minste even groot als vermogen van de e-boiler. Het gezamenlijke vermogen van de op locatie aanwezige elektrische boilers en de nog te plaatsen elektrische boilers is niet groter dan het thermisch vermogen van de op de locatie aanwezige boilers die gestookt worden op fossiele brandstoffen en het maximale thermische vermogen dat zij gelijktijdig kunnen leveren.
Restwarmte zonder warmtepomp	Uitkoppeling: minimaal 2 MWth	-	Lengte transportleiding is minimaal 0,1 km/MWh
Restwarmte met warmtepomp	Uitkoppeling: minimaal 2 MWth Warmtepomp: minimaal 500 kWth	Minimaal 3,0	Lengte transportleiding is minimaal 0,1 km/MWh
Houtige biomassa	-	-	Alleen voor hoogwaardige warmte > 100 °C aan de gebruikerszijde

Subsidie-intensiteit bij minder vollasturen

In het OT-model 2023 van de SDE++ hebben we de vollasturen voor een aantal warmtebronnen aangepast naar 1050. Tabel 18 geeft een overzicht van de resulterende subsidie intensiteit.

Tabel 18 - Berekende subsidie-intensiteit voor warmtebronnen bij 1.050 vollasturen

Categorie	Sheet in 2023 OT-model	Subsidie-intensiteit bij 1.050 vollasturen (€/ton CO ₂)
Restwarmtebenutting zonder warmtepomp, lengte-/vermogenverhouding $\geq 0,00$ en $< 0,10$	133	240
Restwarmtebenutting zonder warmtepomp, lengte-/vermogenverhouding $\geq 0,10$ en $< 0,20$	134	405
Restwarmtebenutting zonder warmtepomp, lengte-/vermogenverhouding $\geq 0,20$ en $< 0,30$	135	569
Restwarmtebenutting zonder warmtepomp, lengte-/vermogenverhouding $\geq 0,30$ en $< 0,40$	136	735
Restwarmtebenutting zonder warmtepomp, lengte-/vermogenverhouding $\geq 0,40$	137	900
Aquathermie - Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), geen basislast	5	1.678
Aquathermie - Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), basislast	6	2.043
Aquathermie - Thermische energie uit afvalwater (TEA)	9	1.087
Restwarmtebenutting met warmtepomp, lengte-/vermogenverhouding $\geq 0,00$ en $< 0,10$	138	847
Restwarmtebenutting met warmtepomp, lengte-/vermogenverhouding $\geq 0,10$ en $< 0,20$	139	1.041
Restwarmtebenutting met warmtepomp, lengte-/vermogenverhouding $\geq 0,20$ en $< 0,30$	140	1.236
Restwarmtebenutting met warmtepomp, lengte-/vermogenverhouding $\geq 0,30$ en $< 0,40$	141	1.432
Restwarmtebenutting met warmtepomp, lengte-/vermogenverhouding $\geq 0,40$	142	1.628
Diepe geothermie (basislast); < 12 MWth	66	172
Diepe geothermie (basislast); 12-20 MWth	67	153
Diepe geothermie (basislast); ≥ 20 MWth	68	128
Diepe geothermie (basislast) hogetemperatuurwarmtenet (incl. warmtepomp)	69	325
Diepe geothermie (middenlast)	70	307
Diepe geothermie (geen basislast)	71	369
Ultradiepe geothermie	73	249
Grootschalige elektrische boilers	123	925
Lucht-water-warmtepomp (LWWP), geen basislast	10	951
Ketel op vaste biomassa 0,5-5 MWth	79	335
Ketel op vaste biomassa 5 MWth (4.500 h)	88	534
Warmte uit houtpellets >10 MWth	93	708