

**EnergieTransitie**  
Radarweg 60  
1043 NT Amsterdam

## TNO-rapport

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

### TNO 2021 P10963

T +31 88 866 50 10

# Alternatieven voor warmtelevering in de gebouwde omgeving en glastuinbouw bij uitfasering houtige van biograndstoffen - Inzicht in de kosten

Datum	31 mei 2021
Auteur(s)	Martin Scheepers, Luuk Beurskens, Frank Lenzenmann
Aantal pagina's	31 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Projectnaam	Kosten alternatieven uitfasering biograndstoffen warmte
Projectnummer	060.47791/01.08

Met dank aan: Marijke Menkveld en Ruud van den Brink van TNO en Nico Hoogevorst en Bart Strengers van het Planbureau voor de Leefomgeving voor hun constructieve commentaar.

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

## Samenvatting

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat heeft TNO verzocht een onderzoek uit te voeren naar de kosten (betaalbaarheid) van alternatieve technologieën bij een uitfasering van lage temperatuur warmteproductie met houtige biograndstoffen. Dit onderzoek sluit aan op een eerder advies dat het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in 2020 heeft uitgebracht over uitfasering van houtige biograndstoffen en dat zich met name richtte op de haalbaarheid van de uitfasering.

Het onderzoek is uitgevoerd als quick-scan waarbij een schatting is gemaakt van de kosten vanuit nationaal kostenperspectief en de kosten voor het Rijk. Deze kosten zijn bepaald voor toepassing van alternatieven in vergelijking met warmteproductie met houtige biograndstoffen in warmtenetten voor de *gebouwde omgeving* en bij de warmtevoorziening voor de *glastuinbouw*.

### Aanpak

#### *Baseline*

Voor de berekeningen is uitgegaan van een baseline voor de groei van warmtelevering via warmtenetten en duurzame warmteproductie voor die warmtenetten. Deze baseline is gebruikt om de nationale kosten en uitgaven voor het Rijk te bepalen voor de referentie (warmteproductie met houtige biograndstoffen) en de alternatieven. De baseline sluit aan bij de ambities van het Klimaatakkoord en veronderstelt:

- een groei van de warmtelevering aan de *gebouwde omgeving* van 20 PJ in 2019 naar 40 PJ in 2030, waarbij 70% van de warmtelevering afkomstig is van hernieuwbare bronnen.
- een groei van de warmtelevering aan de *glastuinbouw* van 3 PJ in 2019 naar 10 PJ in 2030. Voor dit onderzoek is aangenomen dat deze 10 PJ geheel met hernieuwbare bronnen wordt ingevuld.

In de Klimaat- en energieverkenning 2020 (KEV 2020) wordt in 2030 32 PJ aan warmtelevering verwacht, 27 PJ voor de *gebouwde omgeving* en 5 PJ voor de *glastuinbouw*. Hiervan zal naar verwachting volgens de KEV 2020 15 PJ afkomstig zijn uit duurzame warmtebronnen, waarvan 11,25 PJ houtige biograndstoffen (bij 25% warmteverlies bedraagt de productie met houtige biograndstoffen 15 PJ). In de baseline is verondersteld dat het verschil tussen de KEV 2020-verwachting en de Klimaatakkoord-ambitie ingevuld wordt met houtige biograndstoffen. Houtige biograndstoffen is op dit moment de enige hernieuwbare bron waarover zekerheid bestaat dat daarmee de groei van de warmteproductie kan worden gerealiseerd. Voor de *gebouwde omgeving* is de additionele inzet met houtige biograndstoffen ten opzichte van de KEV-verwachting 22,8 PJ (rekening houdend met energieverlies van warmtenetten is dit 17,1 PJ warmtelevering) en voor de *glastuinbouw* 8,3 PJ. Onderstaande tabel toont een overzicht.

Warmte in 2030 (in PJ)	Gebouwde omgeving	Glas-tuinbouw	Totaal
<b>Warmtelevering KEV 2020</b>	<b>27</b>	<b>5</b>	<b>32</b>
waarvan duurzaam	11,25	3,75	15
waarvan houtige biograndstoffen	9,15 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	11,25
<b>Baseline (quick-scan)</b>			
Warmtelevering	<b>40<sup>b</sup></b>	<b>10<sup>b</sup></b>	<b>50</b>
additionele inzet houtige biobrandstoffen t.o.v. KEV 2020	17,1		
totaal houtige biobrandstoffen	26,25		
Warmteproductie			
additionele inzet houtige biobrandstoffen t.o.v. KEV 2020	22,8 <sup>c</sup>	7,4 <sup>d</sup>	30,2
totaal houtige biobrandstoffen	35,0 <sup>c</sup>	11,1 <sup>d</sup>	46,1

<sup>a</sup> verdeling warmtelevering aan *gebouwde omgeving* en *glastuinbouw* is een veronderstelling voor deze studie

<sup>b</sup> ambitie Klimaatakkoord

<sup>c</sup> warmtelevering + 25% energieverlies warmtenet

<sup>d</sup> voor totale warmtevoorziening *glastuinbouw*, inclusief warmtelevering door warmtenetten en energieverlies daarbij. Warmteproductie houtige biograndstoffen volgens KEV 2020 is 2,8 PJ.

### Alternatieven

Voor warmtelevering aan de *gebouwde omgeving* zijn twee alternatieve routes onderzocht:

1. Een mix van drie technologie-alternatieven voor warmtelevering aan warmtenetten: geothermie, restwarmte met warmtepomp en aquathermie.
2. In plaats van uitbreiding of nieuwe warmtenetten, wordt voor individuele woningen gekozen voor een volledige elektrische warmtevoorziening met warmtepomp en na-isolatie tot schillabel B (bij warmtenetten wordt schillabel D verondersteld) en voor utiliteitsgebouwen eveneens een volledig elektrische warmtevoorziening met een warmtepomp.

Verondersteld is dat bij warmtelevering aan de *gebouwde omgeving* zowel houtige biograndstoffen en de alternatieven alleen worden gebruikt voor basislast. De piekvraag wordt voorzien met aardgas. Hoewel met biomassaketels de piekvraag gedekt kan worden, is deze veronderstelling gemaakt omdat dit met de alternatieve technologieën technisch moeilijker is.

Bij de alternatieve warmteproductie voor de *glastuinbouw* is uitgegaan van een mix van diepe geothermie, restwarmte met warmtepomp en aquathermie.

### *Beleidsvarianten voor uitfasering*

Voor de uitfasering van SDE++-subsidie voor warmteproductie met houtige biograndstoffen in warmtenetten zijn twee beleidsvarianten toegepast:

- Beleidsvariant 2020: na 2020 geen nieuwe SDE++-beschikkingen, d.w.z. dat in 2021 geen nieuwe beschikkingen zullen worden afgegeven.
- Beleidsvariant 2025: na 2025 geen nieuwe SDE++-beschikkingen.

## **Resultaten**

### *Nationale kosten*

Met de nationale kosten worden de kosten in beeld gebracht van maatregelen van alle partijen in Nederland gezamenlijk, zonder rekening te houden met subsidies, belastingen en heffingen. Voor bepaling van de verandering in de nationale kosten is gebruik gemaakt van gegevens uit de Startanalyse aardgasvrije buurten van PBL. De Startanalyse geeft aan welke strategie vanuit nationale kostenperspectief de laagste kosten heeft om een buurt op lange termijn volledig aardgasvrij te maken. De kosten worden gepresenteerd voor 2030 en alleen voor de *gebouwde omgeving*. Het verschil in nationale kosten is niet bepaald voor de *glastuinbouw*, omdat hiervoor geen bruikbare gegevens voorhanden waren.

Vanuit nationaal kostenperspectief:

- is er, gezien de onzekerheidsmarge (M€ -190 tot +290 in 2030), geen significante verandering in de kosten bij warmteproductie van warmtenetten voor de *gebouwde omgeving* als in plaats van verbranding van houtige biograndstoffen in een biomassaketel een *mix van alternatieve* SDE++-technologieën (*restwarmte, geothermie, aquathermie*) wordt toegepast.
- nemen de kosten in 2030 met M€ 130 toe (onzekerheidsmarge M€ 35-230) bij toepassing van *elektrische warmtepompen* in de *gebouwde omgeving* ten opzichte van warmtenetten als na 2020 geen nieuwe SDE++-beschikkingen voor houtige biograndstoffen meer worden verstrekt. De kosten nemen in 2030 met toe M€ 75 (onzekerheidsmarge M€ 20-130) als na 2025 geen nieuw SDE++-beschikkingen voor houtige biograndstoffen meer worden verstrekt.

Het kostenverschil is voor één jaar (2030) berekend. Over meerdere jaren kan dat kostenverschil aanzienlijk groter zijn.

### *Kosten Rijk*

Voor alternatieve warmteproductie voor warmtenetten en voor *glastuinbouw* gaat het om een verschil in uitgaven voor SDE++-subsidies van de alternatieve technologieën ten opzichte van de subsidie-uitgaven voor verbranding van houtige biograndstoffen in een biomassaketel. In verband met de looptijd van SDE++-subsidies (12 jaar voor een biomassaketel en 15 jaar voor de alternatieve SDE++-technologieën) zijn uitgaven berekend tot 2045. Er is geen rekening gehouden met vervangingsinvesteringen.

Als voor warmteproductie van warmtenetten voor de *gebouwde omgeving* en bij *glastuinbouw* een mix van alternatieve technologieën (*restwarmte, geothermie, aquathermie*) wordt toegepast in plaats van verbranding van houtige biograndstoffen in biomassaketels, dan nemen de kasuitgaven aan SDE++-subsidies over de periode 2021-2045 toe:

- met MLD € 2,7 (onzekerheidsmarge MLD € 2,3-4,0), als na 2020 geen nieuwe SDE++-beschikkingen voor houtige biograndstoffen meer worden verstrekt.

- met MLD € 1,5 (onzekerheidsmarge MLD € 1,3-2,3), als na 2025 geen nieuwe SDE++-beschikkingen voor houtige biograndstoffen meer worden verstrekt.

De onzekerheid in de bedragen wordt bepaald door onzekerheden in energieprijzen en investeringskosten, en de technologiemix. De verhouding waarin alternatieve technologieën worden toegepast heeft invloed op de grootte van het kostenverschil. Het is niet te zeggen wat de verhouding van deze mix zal kunnen worden, al is het waarschijnlijk dat alle drie de technologie-opties zullen worden toegepast. In de berekeningen is in eerste instantie uitgegaan van een gelijke verdeling tussen de drie alternatieve technologieën.

Voor het alternatief waarbij woningen en utiliteitsgebouwen van warmte worden voorzien met een elektrische warmtepomp is geen redelijk schatting te geven van de kostenverschillen. De onzekerheden ten aanzien van beleid en wet- en regelgeving over zo'n lange termijn is daarvoor te groot. Om dezelfde reden is ook afgezien van een berekening van de eindgebruikerskosten.

#### *Kanttekeningen*

Bij de resultaten over het effect op kosten van alternatieve technologieën bij een uitfasering van lage temperatuur warmteproductie met houtige biograndstoffen, gelden de volgende kanttekeningen:

- *Extra kosten flankerende beleid zijn niet opgenomen in de kostenschattingen*  
Voor grootschalige toepassing van de alternatieve technologieën is stimulering met alleen de daarvoor beschikbare subsidie-instrumenten waarschijnlijk niet voldoende. Elk van de alternatieve technologieën kent de komende jaren nog eigen uitdagingen. Die variëren van (aanvankelijk nog) hoge investeringskosten tot aanpassingen in wet- en regelgeving, vergunningprocedures en organisatorische uitdagingen. Voor een versnelde implementatie van alternatieve technologieën is mogelijk flankerend beleid nodig. Daarmee kunnen extra kosten gemoeid zijn die niet zijn opgenomen in de kostenschattingen.
- *Behalen ambities van Klimaatakkoord over duurzame warmtelevering onzeker*  
Door de uitdagingen die grootschalige implementatie van de alternatieve warmtebronnen met zich meebrengt, is het niet zeker of de ambities van het Klimaatakkoord ten aanzien van de groei van duurzame warmtelevering via warmtenetten kan worden gerealiseerd. Als de beoogde groei van de warmtenetten niet tot stand komt, kan ook het potentieel aan duurzame warmtebronnen na 2030 onvoldoende worden benut.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Aanpak .....</b>	<b>8</b>
2.1	Ambities en verwachtingen.....	8
2.2	Baseline en varianten .....	8
2.3	Alternatieven voor warmtevoorziening .....	11
2.4	Bepaling kosten .....	15
<b>3</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>18</b>
3.1	Nationale kosten .....	18
3.2	Kosten Rijk.....	19
3.3	Kanttekeningen en discussie van de resultaten .....	22
<b>4</b>	<b>Conclusies.....</b>	<b>25</b>
	<b>Referenties.....</b>	<b>27</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Gebruikte parameters in de berekeningen	

# 1 Inleiding

In 2020 heeft de Tweede Kamer de regering verzocht een eindjaar vast te stellen voor de subsidiëring van het verbranden van houtige biomassa voor warmteopwekking (Sienot, 2020). Als reactie daarop heeft de toenmalige minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK) een brief naar de Tweede Kamer gestuurd waarin hij toezegt een uitfaseringstrategie te maken voor lage temperatuur warmteproductie met houtige biograndstoffen (EZK, 2020). De Minister van EZK heeft vervolgens het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) gevraagd te adviseren over deze uitfaseringsstrategie. Eind 2020 heeft PBL dit advies uitgebracht (Strengers, 2020). PBL concludeert dat het vastleggen van een einddatum voor nieuwe subsidies vóór 2030, zonder zicht op de mogelijkheden van alternatieven een groot risico vormt voor het realiseren van de afgesproken ambities in het Klimaatakkoord. Eén van de argumenten die PBL hierbij geeft is dat alternatieve warmtebronnen (industriële (rest)warmte, geothermie, zonthermie en aquathermie) niet snel genoeg kunnen opschalen om de verminderde inzet van houtige biograndstoffen te compenseren.

Het PBL-rapport gaat in op de haalbaarheid van de uitfasering, maar geeft geen informatie over de kosten (betaalbaarheid) van toepassing van alternatieve technologieopties die nodig zijn om de ambities van het Klimaatakkoord (Klimaatakkoord, 2019) te realiseren als de subsidie voor houtige biograndstoffen voor warmteproductie vóór 2030 wordt beëindigd. Het ministerie van EZK heeft daarom TNO gevraagd in een quick-scan de omvang van de kosten te ramen.

## *Onderzoeksvraag en scope*

De te beantwoorden vraag luidt: wat zijn de nationale kosten en de kosten voor het Rijk bij toepassing van alternatieven ter vervanging van houtige biograndstoffen voor de warmtelevering – middels warmtenetten – aan de *gebouwde omgeving* en *glastuinbouw*?

Deze quick-scan gaat vooral in op het kostenaspect. Voor grootschalige toepassing van alternatieve technologie-opties zijn er nog een aantal andere uitdagingen. Deze uitdagingen worden per alternatieve technologie beknopt aangegeven.

Ten opzichte van een volledige kwantitatieve analyse zijn de uitgevoerde berekeningen in de quick-scan op een aantal punten vereenvoudigd. Onder meer is voor bepaalde parameters gewerkt met gemiddelden.

## *Leeswijzer*

In Hoofdstuk 2 wordt de aanpak van de quick-scan toegelicht. De resultaten worden gepresenteerd in Hoofdstuk 3, inclusief de gevoeligheid van de resultaten voor een aantal veronderstellingen en aannames. Tenslotte worden in Hoofdstuk 4 conclusies geformuleerd.

## 2 Aanpak

### 2.1 Ambities en verwachtingen

Er zijn ambities en verwachtingen over de ontwikkeling van warmtelevering via warmtenetten aan de gebouwde omgeving en glastuinbouw en de inzet van houtige biograndstoffen daarbij. In het Klimaatakkoord is een ambitie overeengekomen over de groei van warmtelevering aan woningen en utiliteitsgebouw: een warmtelevering van 40 PJ via warmtenetten in 2030 waarbij een gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissiereductie wordt gerealiseerd van 70% in 2030 ten opzichte van een cv-ketel op aardgas (Klimaatakkoord, 2019). Deze CO<sub>2</sub>-emissiereductie kan worden gerealiseerd met duurzame warmtebronnen. Voor de glastuinbouw is de ambitie voor 2030 een externe warmtelevering van 10 PJ op jaarbasis. Hierbij is voor de glastuinbouw geen specifiek CO<sub>2</sub>-emissiereductiedoel bepaald.

Met de Klimaatakkoord-ambities voor warmtelevering wordt bijgedragen aan de doelstelling om in 2030 49% van de broeikasgasemissies te reduceren ten opzichte van het emissieniveau in 1990. Deze doelstelling voor Nederland zal worden aangescherpt om te voldoen aan de 55%-reductiedoelstelling voor de EU in 2030 (Van Geest, 2021). Het is nog niet bekend wat deze aanscherping betekent voor de warmtelevering-ambities van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. Tegelijkertijd wordt er met de ambities ook een aanzienlijke uitbreiding van de warmtenetten beoogd. Daardoor kunnen warmtenetten een systeemrol gaan vervullen in de duurzame energievoorziening. Bovendien kan met warmtenetten het potentieel van verschillende duurzame warmtebronnen verder worden ontsloten, zoals geothermie, aquathermie, zonthermie en restwarmte.

De Klimaat- en Energieverkenning 2020 (KEV, 2020) verwacht, op basis van het bestaande beleid en beleid dat voldoende is uitgewerkt, dat warmtelevering uit warmtenetten in 2030 voor de gebouwde omgeving uitkomt op 27 PJ (17 PJ warmtelevering aan huishoudens en 10 PJ aan utiliteitsgebouwen) en 5 PJ warmtelevering aan de glastuinbouw (KEV, 2020), in totaal 32 PJ. De KEV 2020 verwacht dat in 2030 de warmtelevering aan de gebouwde omgeving en glastuinbouw voor 15 PJ afkomstig is van duurzame bronnen: 1,8 PJ biogene deel afvalverbrandingsinstallaties (AVI's), 11,25 PJ houtige biograndstoffen, 1,5 PJ geothermie en 0,45 PJ warmte- en koude opslag. Het aandeel houtige biograndstoffen in de warmtelevering via warmtenetten aan gebouwde omgeving en glastuinbouw is dan 35%.

Ook de warmtebedrijven hebben een verwachting gepubliceerd over de ontwikkelingen van de warmtelevering in 2030 aan woningen (19,5 PJ), utiliteitsgebouwen (16,5 PJ) en glastuinbouw (3 PJ) (DNE-Research, 2021), in totaal 39 PJ.

### 2.2 Baseline en varianten

#### *Gebouwde omgeving*

Voor de kostenberekening met betrekking tot alternatieven voor warmtelevering voor de gebouwde omgeving is een baseline opgesteld die er van uit gaat dat warmteproductie met houtige biograndstoffen SDE++-subsidie ontvangt tot en met



2030. Voor de baseline wordt er van uitgegaan dat de warmtelevering aan de gebouwde omgeving door middel van warmtenetten geleidelijk groeit van 20 PJ in 2019 tot 40 PJ<sup>1</sup> in 2030 (ambitie Klimaatakkoord). De warmtelevering in de baseline ligt in 2030 13 PJ boven de verwachting van KEV 2020. Het is mogelijk dat de warmtelevering na 2030 nog verder toeneemt. Veronderstellingen daarover zijn voor deze studie echter niet relevant en zijn daarom niet gemaakt.

Tabel 2.1 laat een overzicht zien van de veronderstellingen voor de baseline voor warmtelevering aan de gebouwde omgeving in vergelijking tot de verwachtingen van de KEV 2020. Van de 15 PJ duurzame warmtelevering die de KEV 2020 verwacht voor 2030 aan gebouwde omgeving en glastuinbouw gezamenlijk, is voor deze studie verondersteld dat 11,25 PJ bestemd is voor de gebouwde omgeving, zie hiervoor Tabel 2.2.

Voor de inzet van houtige biograndstoffen wordt uitgegaan van de afgegeven SDE++-beschikkingen die in 2020 bekend waren (Strengers, 2020) en is verondersteld dat het aandeel houtige biograndstoffen in de warmtelevering vanaf 2021 lineair toeneemt tot een niveau waarbij in 2030 een CO<sub>2</sub>-emissiereductie van 70% wordt bereikt ten opzichte van een cv-ketel op aardgas, conform de afgesproken ambitie van het Klimaatakkoord. Houtige biobrandstoffen is op dit moment de enige hernieuwbare bron waarover zekerheid bestaat dat daarmee de groei van de warmteproductie kan worden gerealiseerd. In 2030 is de inzet van houtige biograndstoffen voor warmtelevering aan de gebouwde omgeving 26,25 PJ, d.w.z. 17,1 PJ meer dan de KEV 2020 verwachting. In de baseline bedraagt het aandeel houtige biograndstoffen in de warmtelevering in 2030 66%.

Tabel 2.1 Veronderstellingen over warmtelevering door warmtenetten aan gebouwde omgeving voor de baseline en volgens verwachting van KEV 2020.

Warmtelevering gebouwde omgeving	Bron	PJ	%
2019	KEV 2020	20	
2030	KEV 2020	27	
waarvan totaal duurzaam	KEV 2020	11,25 <sup>a</sup>	42%
waarvan houtige biobrandstoffen	KEV 2020	9,15 <sup>a</sup>	34%
2030	Baseline	40 <sup>b</sup>	
waarvan totaal duurzaam	Baseline	28,35	71%
waarvan houtige biobrandstoffen	Baseline	26,25	66%

<sup>a</sup> verdeling duurzame warmtebronnen over warmtelevering aan gebouwde omgeving en glastuinbouw is voor deze studie een veronderstelling gemaakt, zie Tabel 2.2.

<sup>b</sup> conform doelstelling Klimaatakkoord.

<sup>1</sup> Dit is gelijk aan 53,3 PJ warmteproductie, rekening houdend met 25% energieverliezen in de warmtenetten.

Tabel 2.2 Verdeling duurzame warmtelevering via warmtenetten in 2030 (PJ)

	Warmtelevering in 2030 (KEV, 2020)	Bestemd voor gebouwde omgeving	Bestemd voor glastuinbouw
Houtige biograndstoffen	11,25	9,15	2,1
Geothermie	1,5	0,75	0,75
Warmte/koude opslag	0,45	0,45	
AVI (biogene deel)	1,8	0,9	0,9
Totaal	15	11,25	3,75

### *Glasiuinbouw*

De warmtelevering aan de glasiuinbouw was 4 PJ in 2019 (Segers, 2020). In deze studie wordt er van uitgegaan dat de warmtelevering aan de glasiuinbouw groeit naar 10 PJ, de afgesproken ambitie in het Klimaatakkoord. De KEV 2020 verwacht 3,75 PJ duurzame warmtelevering in 2030, waarvan voor deze studie 2,1 PJ houtige biograndstoffen is verondersteld (zie Tabel 2.2). De uitfasering van houtige biograndstoffen heeft voor de glasiuinbouw zowel betrekking op de biomassaketels voor warmtelevering via een warmtenet als voor biomassaketels die individuele tuinbouwkassen verwarmen. Om die reden wordt in deze quick-scan geen apart onderscheid gemaakt naar warmtelevering voor glasiuinbouw, maar is een baseline gemaakt voor de gehele warmtevoorziening van de glasiuinbouw (gebaseerd op KEV 2020 met een extrapolatie na 2030) en de inzet van houtige biograndstoffen daarbij. Op basis van de in 2020 bekende SDE-beschikkingen (Strengers, 2020) wordt in 2019 2% en in 2020 5% van de warmtevraag in de glasiuinbouw gedekt door houtige biograndstoffen. Voor de ontwikkeling van het aandeel houtige biograndstoffen is verondersteld dat vanaf 2021 het aandeel houtige biograndstoffen lineair groeit tot 12% in 2030, zodat de totale warmteproductie uit duurzame bronnen gelijk is aan 10 PJ CO<sub>2</sub>-vrije warmtelevering aan de glasiuinbouw, rekening houdend met warmtelevering uit andere duurzame bronnen (zie Tabel 2.2) en energieverliezen van warmtenetten.

Tabel 2.3 Veronderstellingen over warmtelevering door warmtenetten aan de glastuinbouw en totale warmtevoorziening van de glastuinbouw volgens verwachting van KEV 2020 en voor de baseline.

	Bron	PJ	%
<b>Glastuinbouw – levering warmtenetten</b>			
2019	Segers, 2020	4	
2030	KEV 2020	5	
waarvan totaal duurzaam	KEV 2020	3,75 <sup>a</sup>	75%
waarvan houtige biobrandstoffen	KEV 2020	2,1 <sup>a</sup>	42%
2030	Baseline	10 <sup>b</sup>	
<b>Glastuinbouw – totale warmtevoorziening, incl. warmtelevering<sup>c</sup></b>			
2020	KEV 2020	88	
waarvan houtige biobrandstoffen	Strengers, 2020	4,5	5%
2030	KEV 2020	93	
waarvan houtige biobrandstoffen	Baseline	11,1	12%

<sup>a</sup> verdeling duurzame warmtebronnen over warmtelevering aan gebouwde omgeving en glastuinbouw is voor deze studie een veronderstelling gemaakt, zie Tabel 2.2.

<sup>b</sup> conform doelstelling Klimaatakkoord.

<sup>c</sup> inclusief 25% energieverlies warmtenetten.

#### *Warmtevoorziening met houtige biogrondstoffen*

Bij de baseline voor warmtelevering aan de gebouwde omgeving is verondersteld dat de houtige biogrondstoffen gebruikt worden in een biomassaketel uit SDE++ categorie  $\geq 5$  MW<sub>th</sub> en voor basislast (6000 uur) (Lensink, 2021). De piekvraag wordt voorzien met aardgas. Hoewel met biomassaketels de piekvraag gedekt kan worden, is deze veronderstelling gemaakt omdat dit met de alternatieve technologieën technisch veel moeilijker is. Andere alternatieven voor dekking van de piekvraag (electro boilers, piekketels gestookt met groen gas of waterstof) zijn niet beschouwd. In het algemeen zijn de kosten voor pieklast hoger dan die van basislast.

Voor de glastuinbouw is in de baseline uitgegaan van dezelfde categorie biomassaketel.

#### *Beleidsvarianten*

Voor de uitfasering zijn twee beleidsvarianten toegepast:

- Beleidsvariant 2020: geen nieuwe SDE++-beschikkingen na 2020, d.w.z. dat in 2021 geen nieuwe beschikkingen zullen worden afgegeven.
- Beleidsvariant 2025: geen nieuwe SDE++-beschikkingen na 2025.

De analyse in deze quick-scan geldt voor het beleid tot en met 2030. In verband met de looptijd van SDE++-subsidies worden de kosten (en baten) in beeld gebracht tot 2045. Er wordt geen rekening gehouden met vervangingsinvesteringen.

## **2.3 Alternatieven voor warmtevoorziening**

Om de doelstellingen voor warmtelevering gebouwde omgeving en glastuinbouw te realiseren zullen duurzame alternatieven nodig zijn als eerder dan in 2030 de subsidieverlening voor houtige biogrondstoffen wordt beëindigd.

### *Gebouwde omgeving*

Voor warmtelevering aan de gebouwde omgeving zijn twee alternatieve routes onderzocht (zie voor overzicht Tabel 2.4):

#### 1. *Alternatieve duurzame warmteproductie voor bestaande en nieuwe warmtenetten.*

Hierbij wordt uitgegaan van een mix van drie alternatieven<sup>2</sup>: geothermie (ondiepe geothermie en diepe geothermie  $\geq 20$  MW<sub>th</sub>), restwarmte met warmtepomp (restwarmte van industrie en datacenters) en aquathermie (thermische energie uit afvalwater, TEA)<sup>3</sup>. Voor al deze technologieën zijn er uitdagingen ten aanzien van grootschalige implementatie (zie paragraaf 3.3). Voor geothermie en aquathermie heeft dit te maken met de status van de technologieontwikkeling en de praktijkervaring. Bij de ontwikkeling van restwarmte vormen het beschikbaar maken van de restwarmte en afspraken met de restwarmteleverancier een uitdaging. Hierdoor is het onzeker in welke omvang de drie alternatieve technologieën zullen worden geïmplementeerd. Voor de quick-scan is een mix aangenomen van 1/3 restwarmte (met warmtepomp), 1/6 ondiepe geothermie, 1/6 diepe geothermie en 1/3 aquathermie.

Bij de alternatieven wordt uitgegaan van warmteproductie voor de basislast (aardgas voorziet in de piekwarmtevraag), omdat ook in de baseline biomassacentrales voorzien in de basislast van de warmtenetten.

De beschouwde alternatieve SDE++-technologieën leiden bij dezelfde hoeveelheid warmte tot een lagere CO<sub>2</sub>-emissiereductie door extra energiegebruik, zoals elektriciteit voor warmtepompen. Om met de alternatieven dezelfde CO<sub>2</sub>-emissiereductie te realiseren, is gecorrigeerd<sup>4</sup> voor het verschil in CO<sub>2</sub>-emissiereductie van de alternatieven ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-emissiereductie van een biomassaketel met houtige biogrondstoffen<sup>5</sup>.

Hierdoor is de warmtelevering van de alternatieven 31% groter dan de warmtelevering op basis van de biomassacentrales in de baseline.

De alternatieve technieken zullen zowel bij bestaande als nieuw aan te leggen warmtenetten worden toegepast. In de analyse wordt dit echter niet expliciet onderscheiden.

#### 2. *Gebouw gebonden warmtevoorziening voor woningen en utiliteitsgebouwen in plaats van aansluiting op warmtenetten.*

In plaats van uitbreiding of nieuwe warmtenetten, wordt gekozen voor individuele warmtevoorziening voor woningen met een elektrische

<sup>2</sup> Het aantal mogelijke alternatieven is groter. Voor deze quick-scan is bewust gekozen voor een beperkt aantal alternatieven. Andere alternatieven, zoals biomassa-reststromen, zonthermie, WKO en e-boiler zijn buiten beschouwing gelaten, onder meer vanwege beperkingen ten aanzien van het technische potentieel of een relatief groot extra elektriciteitsgebruik.

<sup>3</sup> Voor aquathermie worden verschillende SDE++-categorieën onderscheiden: thermische energie uit afvalwater (TEA), uit oppervlakte water (TEO, basislast en directe toepassing) en uit mijnwater (nieuw en uitbreiding). Voor de gebouwde omgeving is in deze studie gekozen voor de techniek met de laagste kosten die in principe overal in Nederland kan worden toegepast: thermische energie uit afvalwater (TEA).

De warmteproductie voor elk van de alternatieve technologieën is aangepast door de warmteproductie te vermenigvuldigen met de emissiefactor voor de biomassaketel gedeeld door de emissiefactor van de alternatieve techniek. Zie de Appendix voor de gebruikte emissiefactoren.

<sup>5</sup> CO<sub>2</sub>-emissiesreductie die wordt gerealiseerd door aardgas bij warmteproductie te vervangen door een hernieuwbare energiebron (Lensink, 2021). De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de verbranding van de houtige biogrondstoffen worden zelf niet meegerekend, omdat deze deel uitmaakt van een relatief korte koolstofcyclus.

warmtepomp<sup>6</sup> en na-isolatie tot schillabel B en een elektrische warmtepomp voor utiliteitsgebouwen. Bij Beleidsvariant 2025 zal nog sprake zijn van een groei bij de warmtenetten tot 30 PJ; bij Beleidsvariant 2020 zal geen uitbreiding van warmtelevering via warmtenetten plaatsvinden. De warmteproductie bij warmtenetten zal plaatsvinden met houtige biograndstoffen (op basis van bestaande SDE++-beschikkingen en nog enkele jaren nieuwe beschikkingen bij Beleidsvariant 2025), met andere duurzame bronnen volgens de verwachting van KEV 2020 en met aardgasgestookte ketels en WKK-installaties. Op basis van de warmtevraag per woning wordt het aantal woningen bepaald die worden voorzien van een elektrische warmtepomp, zodat dezelfde CO<sub>2</sub>-reductie wordt gerealiseerd als in de baseline. In de baseline wordt verondersteld dat woningen een isolatiegraad hebben dat overeenkomt met schillabel D.

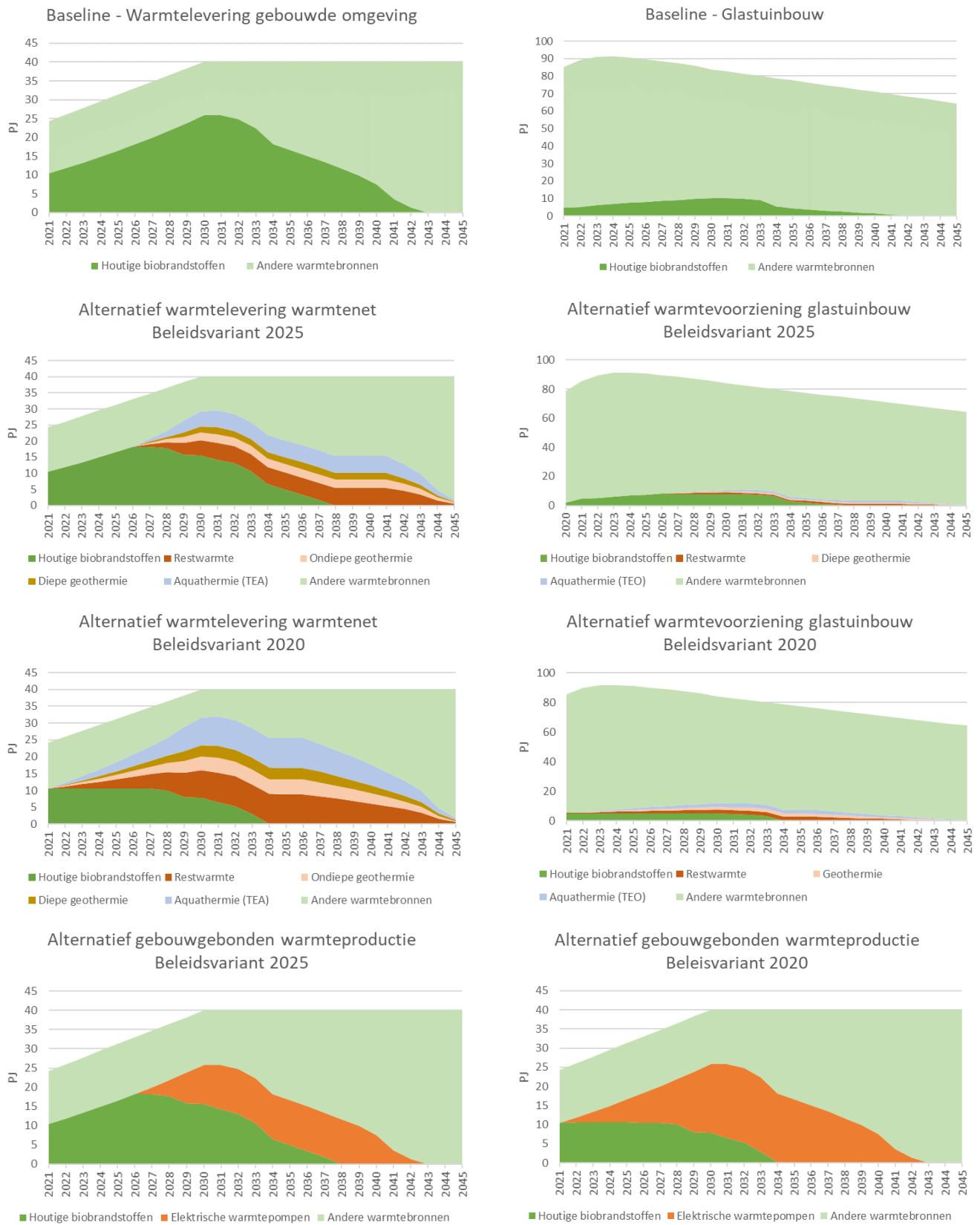
### *Glastuinbouw*

Bij de alternatieve warmteproductie voor de glastuinbouw is uitgegaan van een mix van geothermie (diepe geothermie < 20MW<sub>th</sub>), restwarmte met warmtepomp (restwarmte van industrie, datacenters) en aquathermie (thermische energie uit oppervlaktewater voor directe toepassing TEO-d). Om dezelfde reden als bij warmtelevering aan de gebouwde omgeving is uitgegaan van een gelijke verdeling in de mix: 1/3-1/3-1/3. De totale CO<sub>2</sub>-emissiereductie van de alternatieven moet gelijk zijn aan die van de inzet van houtige biograndstoffen in de baseline. Per geleverde hoeveelheid warmte stoten de alternatieve technologieën echter meer CO<sub>2</sub> uit dan de warmteproductie uit houtige biograndstoffen, onder meer door energiegebruik van warmtepompen. Door een correctie voor het verschil in CO<sub>2</sub>-emissiereductie voor SDE++-technologieën is de warmteproductie uit duurzame bronnen 26% groter dan in de baseline.

Figuur 2.1 toont een grafische weergave van de baseline en de beleidsvarianten voor uitfasering van houtige biograndstoffen voor de warmtelevering aan de gebouwde omgeving en de warmteproductie voor de tuinbouw. Hierin is ook de ontwikkeling van de alternatieve technologieën weergegeven. Met 'andere warmtebronnen' wordt bedoeld: warmte uit WKK's, AVI's, aardgas gestookte ketels en duurzame bronnen zoals aangegeven in Tabel 2.2

---

<sup>6</sup> Bij de keuze van dit alternatief voor gebouwgebonden warmtevoorziening is uitgegaan van de lange termijn ontwikkeling. Van de verschillende strategieën om de gebouwde omgeving aardgasvrij te maken en volledige CO<sub>2</sub>-emissiereductie te realiseren zijn de alternatieve strategieën voor warmtelevering: elektrische warmtepompen, groen gas en waterstof (Startanalyse PBL, 2020). Bij groen gas en waterstof wordt een HR-ketel of hybride warmtepomp toegepast. De strategie met groen gas is kosteneffectief waardoor naar verwachting de beschikbare hoeveelheid groen gas volledig zal worden benut en er geen ruimte is voor verdere toename. De beschikbaarheid van waterstof voor de warmtevoorziening is onzeker. Het scenario met elektrische warmtepompen is daarom gekozen als alternatief, omdat daarvoor minder beperkingen gelden.



Figuur 2.1 Baseline voor warmtelevering aan gebouwde omgeving en warmteproductie in de glastuinbouw en alternatieven en beleidsvarianten. NB: Figuren geven herinvestering in duurzame warmteproductie na 2030 niet weer. In werkelijkheid zal dit wel gebeuren, waardoor de duurzame warmteproductie niet zal dalen.

De productievolumes voor de verschillende technologieën zijn vergeleken met informatie over beschikbare potentiëlen. Voor aquathermie uit afvalwater, diepe geothermie en restwarmte met warmtepomp vallen de volumes binnen het beschikbare technisch potentieel voor Nederland (Kruit, 2018) (Masterplan Aardwarmte Nederland, 2018) (Deltares en CE Delft, 2018) (Kampman & Nieuwenhuijse, 2019). Voor aquathermie uit oppervlaktewater voor de glastuinbouw en ondiepe geothermie ontbreekt deze informatie, maar hiervoor kan, gelet op de aard van de warmtebronnen, er van worden uitgegaan dat de volumes binnen het technisch beschikbare potentieel vallen.

Tabel 2.4 Technologieën voor warmteproductie in baseline en alternatieve scenario's

	Gebouwde omgeving	Glastuinbouw
Baseline	Biomassaketel	Biomassaketel
Alternatief SDE++ technologieën	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ondiepe geothermie (1/6)</li> <li>• diepe geothermie <math>\geq 20</math> MWth (1/6)</li> <li>• restwarmte met warmtepomp (1/3)</li> <li>• thermische energie uit afvalwater, TEA (1/3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diepe geothermie &lt; 20MWth (1/3)</li> <li>• restwarmte met warmtepomp (1/3)</li> <li>• thermische energie uit oppervlaktewater voor directe toepassing, TEO-d (1/3)</li> </ul>
Alternatief gebouwgebonden warmteproductie	Elektrische warmtepomp + isolatie schillabel B	

## 2.4 Bepaling kosten

Voor de twee alternatieve routes en twee beleidsvarianten worden de kosten geschat voor twee perspectieven:

### 1. Nationale kosten

Met nationale kosten worden kosten van investeringen (geannualiseerd op basis van de levensduur) en jaarlijkse gebruikskosten van het energiesysteem weergegeven (productie van energie, transport van energiedragers, energieverbruiksinstallaties en isolatiemaatregelen) voor alle partijen gezamenlijk, exclusief belastingen, heffingen en subsidies. Voor bepaling van de verandering in nationale kosten is gebruik gemaakt van gegevens uit de Startanalyse aardgasvrije buurten (PBL, 2020). De Startanalyse geeft aan welke strategie vanuit nationale kostenperspectief de laagste kosten heeft om een buurt op lange termijn volledig aardgasvrij te maken. De kosten worden gepresenteerd voor 2030 en alleen voor de gebouwde omgeving. De nationale kosten zijn niet bepaald voor de glastuinbouw, omdat hiervoor geen bruikbare gegevens voorhanden waren.

- Voor alternatieve warmteproductie in warmtenetten is, voor buurten met woningen met schillabel D waarvoor de strategie warmtenetten met houtige biogrondstoffen het meest kosteneffectief is (strategie S2d<sup>7</sup>), de strategie gewijzigd in een mix (1/3-1/3-1/3) van warmtenet met restwarmte (strategie

<sup>7</sup> Bij strategie S2d gaat het om warmtenetten die voorzien worden met restwarmte en/of warmte van biomassa-warmtecentrales. De Startanalyse maakt geen expliciet onderscheid tussen deze warmtebronnen. Voor buurten waarvoor strategie S2d het meest kosteneffectief is de omvang van de warmtevraag in 2050 ca. 53 PJ.

S2d), warmtenet met geothermie (s2f) en warmtenet met aquathermie (strategie s3f<sup>8</sup>).

- Voor het gebouwgebonden alternatief (elektrische warmtepomp) is, voor buurten met woningen<sup>9</sup> met schillabel D waarvoor strategie warmtenetten met houtige biograndstoffen het meest kosteneffectief is (strategie S2d), de strategie gewijzigd in elektrische warmtepompen en schillabel B (strategie S1a).

## 2. Kosten Rijk

- Voor alternatieve warmteproductie voor warmtenetten en voor glastuinbouw gaat het om een verschil in uitgaven voor SDE++-subsidie van de alternatieve technologieën<sup>10</sup> met de SDE++-subsidie-uitgaven voor verbranding van houtige biograndstoffen in een biomassaketel. De subsidie-uitgaven zijn bepaald op basis van de SDE++-tarieven voor 2021 (basis- en correctiebedrag). Mogelijke toekomstige wijzigingen in deze tarieven zijn opgenomen in een onzekerheidsbandbreedte.

De kosten voor het Rijk zijn niet bepaald voor het gebouwgebonden alternatief (elektrische warmtepomp). Zo'n analyse kan alleen gemaakt worden onder aannames over beleid op lange termijn, omdat SDE++-subsidie-uitgaven in de baseline zich tot 2042 uitstrekken. De onzekerheid over het beleid en de wet- en regelgeving voor de gebouwde omgeving, c.q. kleinverbruikers op de lange termijn zijn groot. Zo zal de regelgeving voor de warmtetarieven wijzigen<sup>11</sup> en kunnen subsidies voor warmtepompen en na-isolatie worden aangepast. Omdat bij dit alternatief de uitkomsten sterk beïnvloed worden door aannames over beleid, is van een kwantificering van de kosten voor het Rijk in deze quick-scan afgezien.

De kosten voor eindgebruikers zijn ook niet bepaald. Hiervoor zijn verschillende redenen:

- Het effect voor alternatieve warmteproductie voor warmtenetten is nihil zolang de wijze van warmteproductie geen effect heeft op het warmtetarief dat eindgebruikers betalen. Dat is nu het geval met het niet-meer-dan-anders principe<sup>12</sup>. Dit principe wordt bij bepaling van het warmtetarief in de toekomst waarschijnlijk losgelaten. Het is nog onvoldoende duidelijk hoe het warmtetarief dan zal worden bepaald.
- Sommige kosten blijven bij de eindgebruikersmethode buiten beeld, zoals de onrendabele top van warmtenetten (kosten die niet door het aansluittarief en het warmtetarief worden gedekt) en de (toerekening van) kosten van verzwaring van de elektriciteitsnetten bij de elektrische warmtepomp.

<sup>8</sup> De capaciteit van een aquathermiebron kan onvoldoende groot zijn om de volledige warmtevraag van de buurt te dekken. In de Startanalyse wordt de warmteproductie dan aangevuld met individuele elektrische warmtepompen. In deze quick-scan is deze verfijning niet toegepast: er is verondersteld dat de aquathermiebron voldoende warmte kan leveren.

<sup>9</sup> De Startanalyse rekent met woningequivalenten. Utiliteitsgebouwen in de buurten zijn omgerekend naar woningequivalenten, waarbij 1 woningequivalent gelijk staat aan een utiliteitsgebouw met een oppervlak van 130 m<sup>2</sup>.

<sup>10</sup> Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de genoemde alternatieven voor SDE++-subsidie in aanmerking komen.

<sup>11</sup> Aankomende Wet Collectieve Warmte

<sup>12</sup> Het warmtetarief mag niet hoger zijn dan wanneer warmte wordt opgewekt met een aardgasgestookte HR ketel.



- Aanpassingen in beleid en wet- en regelgeving hebben grote invloed op de berekeningsresultaten en de onzekerheden in de uitkomsten zijn daardoor te groot.

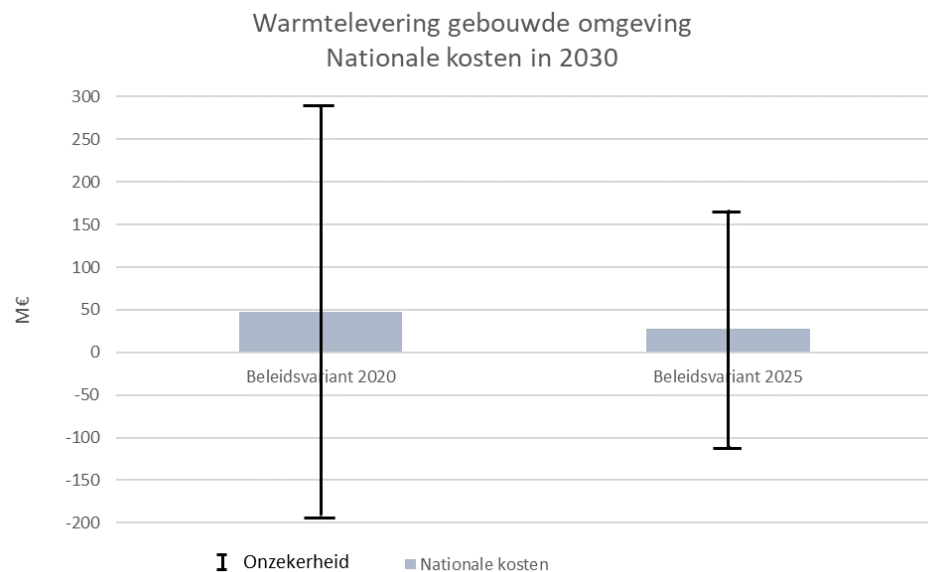
De gebruikte parameters in de berekening worden weergegeven in de Appendix van dit rapport. Naast een middenwaarde worden in de Appendix voor de belangrijkste parameters ook hoge en lage waarden weergegeven die gebruikt zijn om een schatting te maken van de onzekerheidsmarge.

## 3 Resultaten

### 3.1 Nationale kosten

#### *Alternatieven voor warmteproductie warmtenetten gebouwde omgeving*

Voor warmteproductie voor warmtenetten ten behoeve van warmtelevering aan de gebouwde omgeving zijn de nationale kosten in 2030 bepaald met behulp van cijfers uit de Startanalyse aardgasvrije buurten (PBL, 2020). Figuur 3.1 laat zien dat, als rekening wordt gehouden met de onzekerheidsmarge, de nationale kosten van een warmtenet met de veronderstelde mix van alternatieve warmteproductietechnologieën in 2030 niet significant verschillen van die van een warmtenet waarbij de warmte wordt geproduceerd met houtige biogrondstoffen. Ook het verschil in nationale kosten tussen de beide beleidsvarianten is onderling niet significant. Het kostenverschil wordt in Figuur 3.1 maar voor één jaar (2030) weergegeven. Over een langere periode kan dat kostenverschil aanzienlijk groter zijn. Echter, in de periode vóór en na 2030 kunnen de kosten van de technologieën en de prijs van biomassa anders zijn, waarbij overigens de kosten van innovatieve technologie in de loop van de tijd waarschijnlijk zullen dalen. De onzekerheden over technologiekosten en biomassaprijs is opgenomen in de onzekerheidsbandbreedte. De relatief grote onzekerheidsbandbreedte is het gevolg van het verschil tussen twee grote bedragen<sup>13</sup> die ieder een eigen onzekerheid hebben.



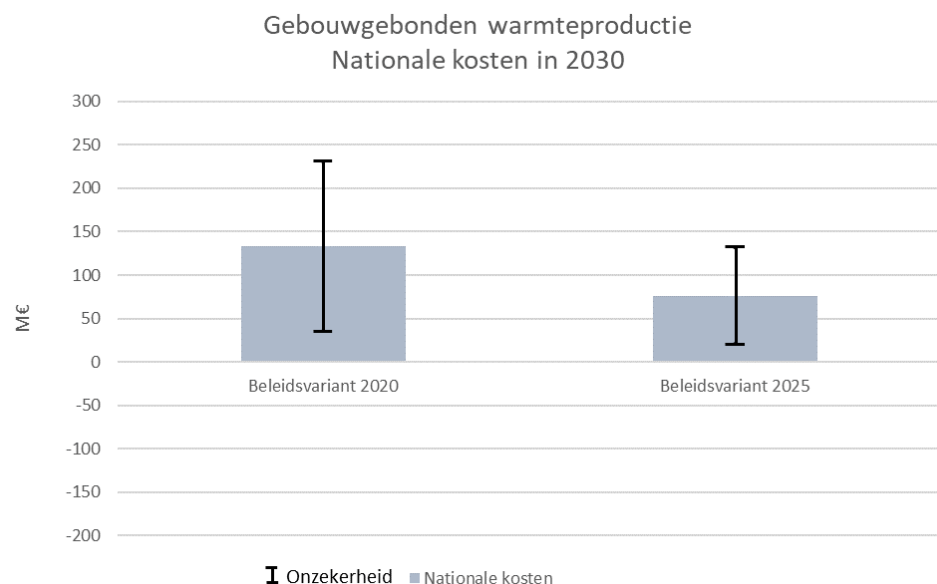
Figuur 3.1 Verandering in de nationale kosten voor warmtelevering met warmtenetten aan de gebouwde omgeving bij een mix van alternatieve warmteproductietechnologieën voor twee beleidsvarianten ten opzichte van warmtelevering met houtige biogrondstoffen

<sup>13</sup> Voor Beleidsvariant 2020 zijn de nationale kosten van de mix van alternatieven M€ 1.230 en voor warmtelevering met houtige biogrondstoffen M€ 1180. Voor Beleidsvariant 2025 zijn de bedragen resp. M€ 675 en M€ 700.

### *Gebouwgebonden alternatief (elektrische warmtepompen)*

Ook voor de gebouwgebonden warmteproductie met elektrische warmtepompen zijn de nationale kosten bepaald met behulp van cijfers uit de Startanalyse aardgasvrije buurten (PBL, 2020). Figuur 3.2 laat zien dat als woningen en utiliteitsgebouwen in buurten waarvoor een aansluiting op een warmtenet het meest kosteneffectief is, worden verwarmd met een elektrische warmtepomp de nationale kosten toenemen. De kosten nemen in 2030 met M€ 130 toe (onzekerheidsmarge M€ 35-230) bij toepassing van elektrische warmtepompen in de gebouwde omgeving ten opzichte van warmtenetten als na 2020 geen nieuwe SDE++-beschikkingen voor houtige biogrondstoffen meer worden verstrekt. De kosten nemen in 2030 met toe M€ 75 (onzekerheidsmarge M€ 20-130) als na 2025 geen nieuw SDE++-beschikkingen voor houtige biogrondstoffen meer worden verstrekt.

De nationale kosten nemen bij Beleidsvariant 2020 meer toe dan bij Beleidsvariant 2025 omdat bij Beleidsvariant 2020 een groter aantal woningen en utiliteitsgebouwen wordt voorzien van een elektrische warmtepomp. Het kostenverschil wordt in Figuur 3.2 maar voor één jaar (2030) weergegeven. Over een langere periode is kostenverschil aanzienlijk groter.



Figuur 3.2 Verandering in de nationale kosten voor warmtevoorziening met een elektrische warmtepomp ten opzichte van warmtelevering middels warmtenetten met houtige biogrondstoffen

## 3.2 Kosten Rijk

### *Alternatieven warmteproductie voor warmtenetten gebouwde omgeving*

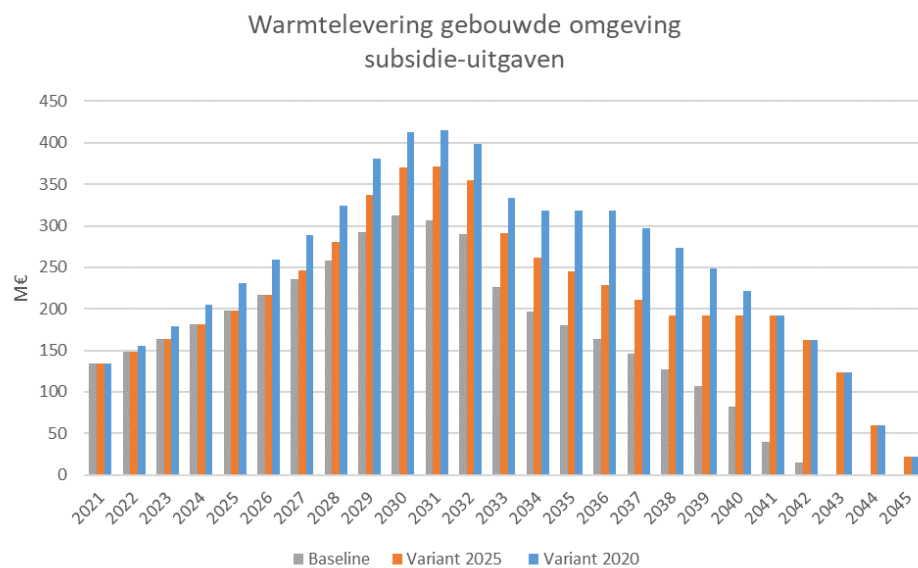
Voor warmteproductie voor warmtenetten ten behoeve van warmtelevering aan de gebouwde omgeving toont Figuur 3.3 de jaarlijkse kasuitgaven van het Rijk aan SDE++-subsidies voor de baseline en voor de twee beleidsvarianten. Voor Beleidsvariant 2020 zijn de kasuitgaven vanaf 2022 hoger dan de baseline<sup>14</sup>. Voor

<sup>14</sup> Verondersteld is dat de productie van duurzame warmte en daaraan verbonden subsidieuitgaven plaatsvindt één jaar na verlenen van de subsidiebeschikking.

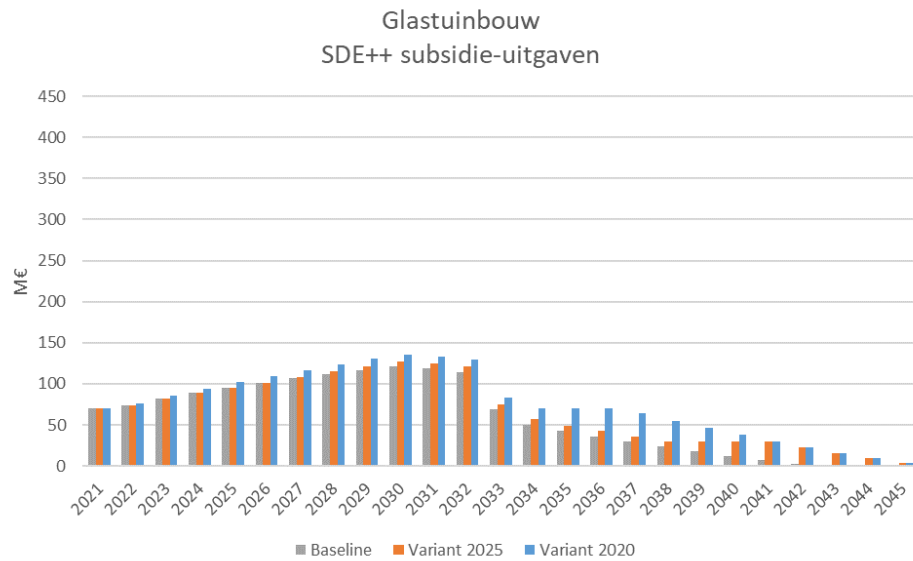
Beleidsvariant 2025 zijn de kasuitgaven aanvankelijk gelijk aan die van de baseline, maar nemen toe vanaf 2027. De looptijd van de SDE++-subsidies is voor de alternatieve technologieën 15 jaar in plaats van 12 jaar voor warmteproductie met houtige biograndstoffen. Hoewel in deze analyse de verstrekking van subsidiebeschikkingen na 2030 ophoudt, lopen de kasuitgaven hierdoor door tot en met 2042 bij de baseline en tot en met 2045 bij de beleidsvarianten. Daarbij nemen de verschillen in subsidie-uitgaven toe.

#### *Alternatieven warmteproductie glastuinbouw*

Voor warmteproductie in de glastuinbouw toont Figuur 3.4 de jaarlijkse kasuitgaven van het Rijk aan SDE++-subsidies voor de baseline en voor de twee Beleidsvarianten. De kasuitgaven voor de SDE++-subsidies in de Beleidsvarianten 2020 en 2025 zijn aanvankelijk nauwelijks hoger dan in de baseline. Dit komt omdat het SDE++-tarief (middenwaarde) voor de mix van de alternatieven slechts 2% hoger is dan die van de biomassaketel (restwarmte is 35% lager, diepe geothermie < 20 MWth 10% hoger en aquathermie uit oppervlakte water 31% hoger). Dit verandert na 2033. Evenals bij de subsidie-uitgaven voor warmteproductie voor warmtenetten gebouwde omgeving, worden de uitgaven voor de glastuinbouw hoger dan die van de baseline vanwege de langere looptijd van de subsidies van de alternatieven.



Figuur 3.3 Jaarlijkse uitgaven van het Rijk aan SDE++-subsidie voor de baseline en de Beleidsvarianten 2020 en 2025 voor warmtelevering gebouwde omgeving



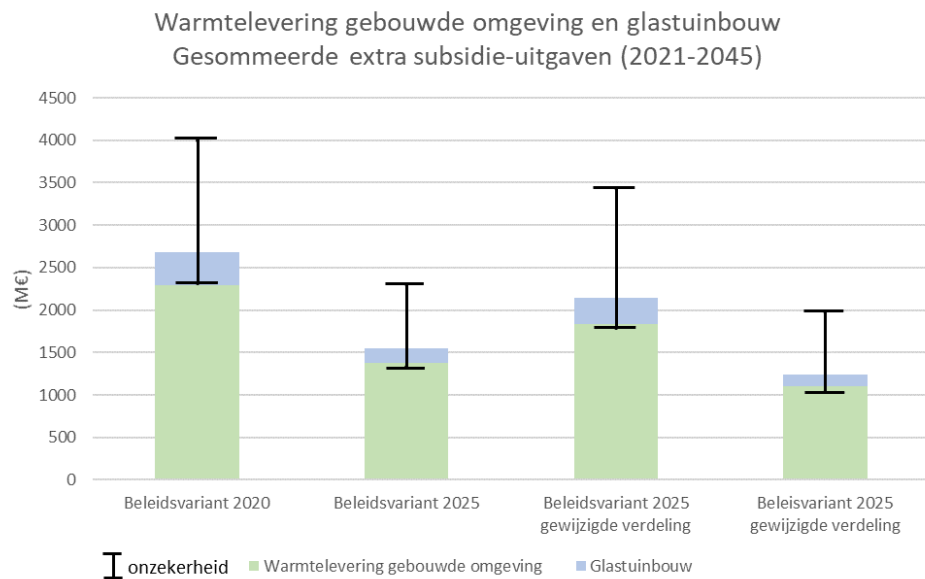
Figuur 3.4 Jaarlijkse uitgaven van het Rijk aan SDE++-subsidie voor de baseline en de Beleidsvarianten 2020 en 2025 voor warmteproductie in glastuinbouw.

#### *Totale kosten Rijk*

Het verschil in SDE++-subsidieuitgaven tussen de Beleidsvarianten en de baseline is gesommeerd over de periode 2021 tot en met 2045. Figuur 3.5 laat hiervan het resultaat zien. Ook wordt een onzekerheidsmarge getoond die de onzekerheid over de energieprijzen en de investeringkosten in de SDE++-tarieven weergeeft (zie paragraaf 3.3 en Appendix bij dit rapport). De onzekerheidsmarge is naar boven groter dan naar beneden. Dit komt omdat de onzekerheden in de parameters van de SDE++-technologieën verschillend zijn en de variatie ten opzichte van de middenwaarde naar boven en naar onder ongelijk is.

Voor Beleidsvariant 2020 nemen de kasuitgaven aan SDE++-subsidies over de periode 2021-2045 toe met MLD € 2,7 (onzekerheidsmarge MLD € 2,3-4,0). De toename van de kasuitgaven aan SDE++-subsidies voor Beleidsvariant 2025 is MLD € 1,5 (onzekerheidsmarge MLD € 1,3-2,3).

Als de veronderstelling over de mix van de alternatieve duurzame warmteproductie-technologieën wordt gewijzigd, heeft dat een directe invloed op de subsidie-uitgaven. Ook dat laat Figuur 3.5 zien. Bij de gewijzigde verdeling is verondersteld dat aquathermie minder goed van de grond komt en dat dit wordt gecompenseerd met meer restwarmte en geothermie (verhouding warmtelevering gebouwde omgeving is dan restwarmte 2/5, ondiepe geothermie 1/5, diepe geothermie 1/5, aquathermie 1/5 en bij glastuinbouw: restwarmte: 2/5, diepe geothermie 2/5, aquathermie 1/5).



Figuur 3.5 Gesommeerde extra uitgaven van het Rijk over periode 2021-2045 voor twee beleidsvarianten met gelijke verdeling over technologie-alternatieven en gewijzigde verdeling

### 3.3 Kanttekeningen en discussie van de resultaten

#### *Kanttekeningen bij grootschalige toepassing van de alternatieve technologieën*

In haar adviesrapport over uitfasering houtige biograndstoffen voor warmtetoepassingen concludeert PBL dat een snelle opschaling van alternatieve duurzame warmtebronnen voor warmtenetten niet aannemelijk is en dat ook een snelle opschaling van gebouwgebonden warmtebronnen met elektrische warmtepompen niet aannemelijk is (Strengers, 2020). In deze quick-scan is het kostenaspect van deze uitfasering onderzocht. Het is belangrijk om te realiseren dat grootschalige toepassing van de alternatieve technologieën niet alleen afhankelijk is van stimulering met de beschikbare subsidie-instrumenten. Voor het realiseren van de beleidsambities is ook aandacht nodig voor specifieke uitdagingen die gelden voor elk van de technologieën. Hiermee kunnen extra kosten zijn gemoeid.

Gebruik van houtige biograndstoffen voor warmteproductie van warmtenetten is een goed ontwikkelde technologie en is geschikt voor grootschalige inzet bij verduurzaming van de warmtenetten. Ook gelden voor houtige biograndstoffen geen geografische beperkingen. In vergelijking daarmee zijn de alternatieve technologieën minder ver ontwikkeld, zijn deze duurzame warmtebronnen niet overal beschikbaar en kent elke technologie nog uitdagingen:

- Bij geothermie is ervaring opgedaan voor het verwarmen van tuinbouwkassen. De ontwikkeling van geothermie voor warmtelevering aan de gebouwde omgeving is nog maar beperkt op gang gekomen en kent uitdagingen op het gebied van onder meer, technologie (geologie en ondergrond), wet- en regelgeving, vergunningen, subsidiëring en financiering, en draagvlak (Geothermie Nederland, 2021).
- Aquathermie wordt op ruim 60 plaatsen in Nederland (vooral bij nieuwbouw) toegepast, waarbij de schaalgrootte van projecten ligt tussen 100 en 1000 woningen per project (Netwerk Aquathermie, 2020). Deze geringe

- schaalgrootte en relatief hoge kosten vormen een uitdaging voor grootschalige toepassing van deze technologie.
- Op verschillende plaatsen wordt restwarmte van industrie en datacenters toegepast als warmtebron voor warmtenetten (Expertise Centrum Warmte, 2021). Uitdagingen liggen bij deze technologie vooral op organisatorisch vlak. Er is medewerking nodig van bedrijven die restwarmte beschikbaar maken en het vooruitzicht dat de bron lange tijd beschikbaar zal blijven. Complicaties hierbij kunnen een hindernis vormen voor de grootschalige toepassing van deze technologie.
  - Bij het gebouwgebonden alternatief kent de toepassing van elektrische warmtepomp hoge up-front investeringskosten voor de woningeigenaar, niet alleen voor de warmtepomp, maar ook voor isolatie van de woning en aanpassingen in het warmteafgiftesysteem. Hoewel de verwachting is dat deze kosten de komende jaren zullen dalen, zullen aanvankelijk hoge kosten een hindernis kunnen vormen voor grootschalige implementatie. De huidige elektriciteitsnetten zijn niet geschikt om de extra energie te leveren voor de elektrische warmtepompen. Realisatie van de noodzakelijk netverzwaring vormt een extra uitdaging<sup>15</sup>.

Bovengenoemde uitdagingen maken de grootschalige toepassing van de alternatieve warmtebronnen onzeker en daarmee ook de realisatie van de ambities van het Klimaatakkoord ten aanzien van de groei van duurzame warmtelevering via warmtenetten. Als de beoogde groei van de warmtenetten niet tot stand komt, kan ook het potentieel aan duurzame warmtebronnen na 2030 onvoldoende worden benut.

#### *Invloed alternatieve technologiemix bij warmtelevering voor de kostenschattting*

De veronderstellingen ten aanzien van de mix van alternatieven voor warmtelevering zijn beperkt voor de nationale kosten, maar hebben grote invloed op de uitkomsten voor de kosten van het Rijk. In Figuur 3.5 is het effect van een gewijzigde mix aangegeven. De mix kan echter nog verder worden gewijzigd, waarbij er twee extremen bestaan:

1. Als alleen restwarmte als alternatief wordt toegepast, met een lager SDE++-subsidietarief dan een biomassaketel, dan zijn de getotaliseerde extra kosten voor het Rijk over de hele periode M€ 10 tot MLD € 1,8 (afhankelijk van beleidsvariant en onzekerheidsmarge).
2. Is aquathermie met een hoger subsidietarief het enige alternatief, dan zijn de getotaliseerde extra kosten MLD € 2,9-6,8 (afhankelijk van beleidsvariant en onzekerheidsmarge).

Deze extremen zijn theoretisch en niet erg realistisch. De technologie-opties zullen niet overal kunnen worden toegepast vanwege lokale beperkingen in de beschikbaarheid van de warmtebronnen. Een mix van drie technologieën is dan meer waarschijnlijk, al is niet te zeggen wat de verhouding van deze mix zal worden.

#### *Onzekerheden in de kostenschattting*

Bij de kostenanalyse is aangegeven hoe onzekerheden van de belangrijkste gebruikte parameters doorwerken op het resultaat van de berekeningen (zie ook

<sup>15</sup> Ook is netverzwaring nodig voor energielevering voor elektrische auto's en transport van lokaal opgewekte zonne-energie.

Appendix). Voor bepalen van de nationale kosten is gebruik gemaakt van uitkomsten van de Startanalyse van PBL waarmee de kosten van de verschillende strategieën voor aardgasvrije buurten zijn berekend. Voor de onzekerheidsbandbreedte zijn deze kosten +/- 10% gevarieerd. Het is niet bekend of de onzekerheid binnen deze 10% bandbreedte ligt. Als de onzekerheidsbandbreedte groter is kan de ondergrens onder de nul komen te liggen. De nationale kosten voor de strategie elektrische warmtepomp zijn dan in het onderste extreem niet hoger dan die van een warmtenet met houtige biograndstoffen. Het verschil in nationale kosten is niet bepaald voor de glastuinbouw, omdat hiervoor geen bruikbare gegevens voorhanden waren.

Voor de uitgaven van het Rijk zijn de onderliggende parameters van de SDE++-subsidietarieven (investeringskosten, energiekosten) gevarieerd. Voor het bepalen van de onzekerheidsmarge zijn de kostenveranderingen kruislings toegepast, d.w.z. de hoge kosten van de alternatieven zijn gecombineerd met de lage kosten van de baseline en visa versa. Hierdoor is de onzekerheidsmarge relatief groot in vergelijking met het initieel berekende kostenverschil. De variatie van de parameters naar boven en onder ten opzichte van de middenwaarde is niet gelijk voor elke technologie (dit hangt onder meer samen met onzekerheid van de kostenreductiepotentie van een technologie) en kan ook in omvang per technologie verschillend zijn.

De kostenschattingen voor het Rijk hebben alleen betrekking op de basislast van de warmtenetten. Verondersteld is dat de pieklast wordt voorzien met aardgas. Verduurzaming van de piekvraag is in de analyse buiten beschouwing gebleven (zie paragraaf 2.2). Duurzame alternatieven voor biomassaketels waarmee in de piekvraag kan worden voorzien (electro boilers, piekketels gestookt met groen gas of waterstof) kunnen tot extra kostenverhoging leiden.

#### *Inkomsten uit elektriciteit bij SDE++-technologieën*

Bij de meeste alternatieve SDE++-technologieën wordt elektriciteit gebruikt, zoals voor warmtepompen bij toepassing van aquathermie. Door dit elektriciteitsgebruik ontvangt het Rijk extra inkomsten uit energiebelasting (EB) en Opslag Duurzame Energie (ODE) die bij inzet van houtige biograndstoffen in de biomassaketel niet plaatsvindt. Als hiermee rekening wordt gehouden, verlaagt dit de extra kasuitgaven die bij toepassing van de alternatieven ontstaat. De hoogte van de EB- en ODE-tarieven, die van toepassing zijn voor de verschillende SDE++-technologieën, zijn op lange termijn echter onzeker en daarmee ook de hoogte van deze extra inkomsten.



## 4 Conclusies

Op basis van een quick-scan naar de kosten bij toepassing van alternatieve technologieopties ten opzichte van toepassing van houtige biograndstoffen voor warmtenetten voor de gebouwde omgeving en bij de warmtevoorziening voor de glastuinbouw, kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

### ***Extra inspanning nodig om ambities Klimaatakkoord te realiseren***

Voor de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving en glastuinbouw is in het Klimaatakkoord een dubbele ambitie geformuleerd: het vergroten van de warmtelevering via warmtenetten en de verduurzaming daarvan. Met warmtenetten kan het potentieel van verschillende duurzame warmtebronnen, zoals geothermie, aquathermie, zonthermie en restwarmte, verder worden ontsloten. Met de verduurzaming van de warmtenetten wordt een CO<sub>2</sub>-reductie gerealiseerd die bijdraagt aan het behalen van de reductiedoelstelling van het Klimaatakkoord. De KEV 2020 verwacht dat de ambities van het Klimaatakkoord niet gehaald zullen worden: in 2030 27 PJ warmtelevering aan de gebouwde omgeving (13 PJ onder de ambitie) en 5 PJ warmtelevering aan de glastuinbouw (5 PJ onder de ambitie). Van deze 32 PJ wordt verwacht dat 15 PJ zal worden ingevuld met duurzame warmtebronnen. Om de ambities van het Klimaatakkoord te realiseren zal een extra (beleids-)inspanning nodig zijn om:

- 13 PJ meer warmte te leveren aan de gebouwde omgeving.
- 17,1 PJ meer warmtelevering te verduurzamen voor de gebouwde omgeving.
- 7,35 PJ extra warmteproductie te verduurzamen voor de glastuinbouw.

### ***Er zijn verschillende alternatieven denkbaar voor duurzame warmteproductie als houtige biograndstoffen worden uitgefaseerd***

De toepassing van houtige biograndstoffen in biomassaketels is een goed ontwikkelde techniek om warmtenetten te verduurzamen en kan goed worden opgeschaald. Als houtige biograndstoffen voor warmteopwekking van warmtenetten en voor glastuinbouw eerder worden uitgefaseerd door de verstrekking van SDE++-subsidiebeschikkingen te beëindigen, zijn er in principe verschillende alternatieve technologieopties denkbaar voor verduurzaming van de warmtevoorziening. Voor warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving zijn in deze quick-scan de volgende opties beschouwd: restwarmte uit industrie of datacenters (met warmtepomp), ondiepe en diepe geothermie, aquathermie uit afvalwater en, als alternatief voor gebouwgebonden warmteproductie, de elektrische warmtepomp. Voor warmtevoorziening van de glastuinbouw zijn de beschouwde alternatieven: restwarmte uit industrie of datacenters (met warmtepomp), diepe geothermie en aquathermie uit oppervlaktewater.

### ***De kosten vanuit nationaal perspectief veranderen niet significant of nemen toe, afhankelijk van het scenario***

Vanuit nationaal kostenperspectief (waarbij gekeken wordt naar de kosten van alle partijen in Nederland gezamenlijk, zonder rekening te houden met subsidies, belastingen en heffingen):

- is er, gezien de onzekerheidsmarge (M€ -190 tot +290 in 2030), geen significante verandering in de kosten bij warmteproductie van warmtenetten voor de gebouwde omgeving als in plaats van verbranding van houtige

- biograndstoffen in een biomassaketel een *mix van alternatieve SDE++-technologieën (restwarmte, geothermie, aquathermie)* wordt toegepast.
- nemen de kosten toe bij toepassing van *elektrische warmtepompen* in de gebouwde omgeving ten opzichte van warmtenetten. Als na 2020 geen nieuwe SDE++-beschikkingen voor houtige biograndstoffen meer worden verstrekt is dit M€ 130 in 2030 (onzekerheidsmarge M€ 35-230) en als na 2025 geen nieuw SDE++-beschikkingen voor houtige biograndstoffen meer worden verstrekt is dit M€ 75 in 2030 (onzekerheidsmarge M€ 20-130).

***De kosten voor het Rijk nemen toe bij alternatieven voor warmteproductie warmtenetten en voor glastuinbouw***

Als voor warmteproductie van warmtenetten voor de gebouwde omgeving en bij glastuinbouw een *mix van alternatieve technologieën (restwarmte, geothermie, aquathermie)* wordt toegepast in plaats van verbranding van houtige biograndstoffen in biomassaketels, dan nemen de uitgaven aan SDE++-subsidies over de periode 2021-2045 toe:

- met MLD € 2,7 (onzekerheidsmarge MLD € 2,3-4,0) als na 2020 geen nieuwe SDE++-beschikkingen voor houtige biograndstoffen meer worden verstrekt.
- met MLD € 1,5 (onzekerheidsmarge MLD € 1,3-2,3) als na 2025 geen nieuw SDE++-beschikkingen voor houtige biograndstoffen meer worden verstrekt.

De verhouding waarin alternatieve technologieën worden toegepast heeft invloed op de grootte van het kostenverschil. Het is niet te zeggen wat de verhouding van deze mix zal worden, al is het waarschijnlijk dat alle drie technologie-opties zullen worden toegepast. De SDE++-uitgaven dalen bij een groter aandeel restwarmte en stijgen bij een groter aandeel aquathermie.

***Grootschalige toepassing van alternatieve technologieën kent verschillende uitdagingen en is onzeker***

Voor grootschalige toepassing van de alternatieve technologieën is stimulering met alleen de daarvoor beschikbare subsidie-instrumenten waarschijnlijk onvoldoende. Elk van de alternatieve technologieën kent de komende jaren nog eigen uitdagingen. Die variëren van (aanvankelijk nog) hoge investeringskosten tot aanpassingen in wet- en regelgeving, vergunningprocedures en organisatorische uitdagingen. Voor een versnelde implementatie van alternatieve technologieën is mogelijk flankerend beleid nodig. Daarmee kunnen extra kosten gemoeid zijn die niet zijn opgenomen in de kostenschattingen. Deze uitdagingen maken de grootschalige toepassing van de alternatieve technologieën onzeker en daarmee ook de realisatie van de ambities van het Klimaatakkoord. De beoogde groei van de warmtenetten is met houtige biograndstoffen goed mogelijk. Met de alternatieve technologieën bestaat het risico dat de opschaling niet tot stand komt met als gevolg dat het potentieel aan duurzame warmtebronnen na 2030 onvoldoende worden benut. PBL komt tot een vergelijkbare conclusie in het Advies uitfasering houtige biograndstoffen voor warmtetoepassingen (Strengers, 2020).

## Referenties

- Deltares en CE Delft. (2018). *Verkenning warmtelozing en duurzaam hergebruik restwarmte*. <https://ce.nl/publicaties/restwarmte-de-stand-van-zaken>
- DNE-Research. (2021). *Nationaal warmtenet trendrapport*. Stichting Warmtenetwerk. <https://www.warmtenetrendrapport.nl/>
- ECW. (2021). *Dataset met de uitkomsten van de Startanalyse op buurtniveau*. Expertise Centrum Warmte.
- Expertise Centrum Warmte. (2021). <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/technische+oplossingen/techniefactsheets+energiebronnen/restwarmte+nieuw/default.aspx>
- EZK. (2020). Kamerbrief uitvoering motie gebruik vaste houtige biomassa voor energietoepassingen. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- Geothermie Nederland. (2021). *Adviesrapport Geothermie in de Gebouwde Omgeving*. Geothermie Nederland, Stichting Warmtenetwerk, EBN, EZK. [https://geothermie.nl/images/bestanden/Adviesrapport\\_Geothermie\\_in\\_de\\_Gebouwde\\_Omgeving.pdf](https://geothermie.nl/images/bestanden/Adviesrapport_Geothermie_in_de_Gebouwde_Omgeving.pdf)
- Kampman, B., & Nieuwenhuijse, I. (2019). *Restwarmte, de stand van zaken - Een verkenning van beleid, kansen en barrières*. CE Delft 19.3T32.024. <https://ce.nl/publicaties/restwarmte-de-stand-van-zaken/>
- KEV. (2020). *Klimaat- en Energieverkenningen*. PBL. <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2020>
- Klimaatakkoord. (2019). Den Haag.
- Kruit, K. B. (2018). *Nationaal potentieel van aquathermie - analyse en review van mogelijkheden*. CE Delft, Deltares, 18.5574.116. <https://www.ce.nl/publicaties/2171/nationaal-potentieel-van-aquathermie>
- Lensink, S. K. (2021). *Eindadvies Basisbedragen SDE++ 2021*. PBL. <https://www.pbl.nl/publicaties/eindadvies-basisbedragen-sde-plus-plus-2021>
- Masterplan Aardwarmte Nederland. (2018). Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk, EBN. <https://kennisbank.ebn.nl/het-masterplan-aardwarmte-nederland>
- Netwerk Aquathermie. (2020). *Aquathermie in de praktijk - eerste conclusies en inzichten*. Netwerk Aquathermie i.s.m. Deltares. <https://www.aquathermie.nl/bibliotheek/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=1563686>
- PBL. (2020). *Startanalyse aardgasvrije buurten (versie 24 september 2020)*. PBL. [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-startanalyse-aardgasvrije-buurten-versie\\_2020-24-september-2020\\_4038.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-startanalyse-aardgasvrije-buurten-versie_2020-24-september-2020_4038.pdf)
- Pișcă, I. A. (2021). *Definitieve correctiebedragen 2020 voor de SDE++*. TNO, PBL. <https://www.pbl.nl/publicaties/definitieve-correctiebedragen-2020-voor-de-sde-plus-plus>
- Segers, R. R. (2020). *Warmtemonitor 2019*. TNO 2020 P11264.
- Sienot, M. D.-F. (2020). Gewijzigde motie het lid Sienot c.s. over geen nieuwe subsidiebeschikkingen voor verbranding van houtachtige biomassa t.v.v. 32813-510. Den Haag: Tweede Kamer.

- Strengers, B. H. (2020). *Advies uitfasering houtige biograndstoffen voor warmtetoepassingen*. PBL.  
<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-advies-uitfasering-houtige-biograndstoffen-voor-warmtetoepassingen-4303.pdf>
- Van Geest, L. (2021). *Bestemming Parijs - Wegwijzer voor klimaatkeuzes 2030, 2050*.

## A Gebruikte parameters in de berekeningen

### A.1 Nationale kosten

De parameters voor nationale kosten zijn ontleend aan de “Startanalyse voor aardgasvrije buurten” van PBL (PBL, 2020). Tabel A.1 geeft de gemiddelde nationale kosten weer per woning per jaar in 2030 voor de buurten waarvoor op lange termijn een warmtenet met restwarmte of biomassaketel en woningen met schillabel D (Strategievariant S2d) het meest kosteneffectief is. Voor dezelfde buurten geeft de tabel ook de gemiddelde nationale kosten in 2030 per jaar en per woning voor de alternatieve strategieën: elektrische luchtwarmtepompen en schillabel B (S1a).

De waarden voor nationale kosten zijn gevoelig voor veranderingen in investeringskosten en kosten voor energiedragers. De invloed van verandering in investeringskosten en kosten energiedragers is echter niet nader onderzocht. Voor de onzekerheidsbandbreedte is een spreiding in de parameters van +/-10% gehanteerd.

Tabel A.1 Gemiddelde waarde voor nationale kosten in 2030 in €<sub>2020</sub> per jaar per woning (ECW, 2021)

Strategievariant	Midden	Hoog	Laag
Warmtenet met biomassaketel en woningen met schillabel D (S2d)	827	908	744
Warmtenet met geothermie (s2f)	919	1011	827
Warmtenet met aquathermie (s3f)	797	877	717
Elektrische luchtwarmtepomp en woningen met schillabel B (S1a)	1088	1197	979

### A.2 SDE++

In de berekening zijn de meest recente SDE++-tarieven gebruikt gebaseerd op (Lensink, 2021) (Pișcă, 2021). De parameters zijn weergegeven in onderstaande tabel. De waarden ‘Hoog’ en ‘Laag’ zijn bepaald door de investeringen 5% hoger respectievelijk lager te kiezen en te variëren op de prijs voor elektriciteit voor de warmtepompen (bereik 40 tot 58 €/MWh, middenwaarde 45 €/MWh). De biomassaprijs is bij ‘Hoog’ 10% hoger en bij ‘Laag’ 5% lager. De correctiebedragen betreffen gemiddelden en zijn bepaald op basis van prijzen uit KEV 2020. Ze hebben betrekking op warmte-middelgroot voor ondiepe geothermie en warmte-groot voor de andere categorieën. Voor de biomassa-ketel is het correctiebedrag bepaald over een periode van 12 jaar, voor de andere categorieën is dat 15 jaar. Merk op dat in Tabel A.2 de varianten ‘Hoog’ en ‘Laag’ voor de onrendabele top samengesteld zijn uit kruislings verbonden waarden voor basis- en correctiebedrag.

Om dezelfde CO<sub>2</sub>-emissiereductie te realiseren als bij inzet van houtige biobrandstoffen is de warmteproductie door alternatieve SDE++ technologieën gecorrigeerd voor het verschil in CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Hiervoor zijn de netto-emissiefactoren gebruikt, waarbij rekening is gehouden met het interne

energiegebruik van de technologie, bijv. elektriciteitsgebruik van een warmtepomp. Voor de emissies van het elektriciteitsgebruik wordt daarbij gerekend met de gemiddelde emissiefactor van de marginale productie-eenheid in 2030. Tabel A.3 toont de emissiefactoren van de verschillende SDE++-technologieën. (Lensink, 2021).

Tabel A.2 Basisbedragen, correctiebedragen en onrendabele top (basisbedrag minus correctiebedrag) voor SDE++-technologieën (€2020/kWh). De varianten 'Hoog' en 'Laag' voor de onrendabele top zijn samengesteld uit kruislings verbonden waarden voor basis- en correctiebedrag: onrendabele top hoog is basisbedrag hoog minus correctiebedrag laag

	Basisbedrag	Correctie-bedrag	Onrendabele top
<b>Midden</b>			
Biomassaketel op vaste of vloeibare biomassa $\geq 5$ MWth (6000 uur)	0,048	0,019	0,029
Restwarmte met warmtepomp	0,039	0,020	0,019
Ondiepe geothermie	0,071	0,031	0,040
Diepe geothermie < 20MWth	0,052	0,020	0,032
Diepe geothermie $\geq 20$ MWth	0,047	0,020	0,027
Aquathermie uit oppervlaktewater voor directe toepassing (TEO-d)	0,058	0,020	0,038
Aquathermie uit afvalwater (TEA)	0,068	0,020	0,048
<b>Hoog</b>			
Biomassaketel op vaste of vloeibare biomassa $\geq 5$ MWth (6000 uur)	0,051	0,023	0,037
Restwarmte met warmtepomp	0,045	0,023	0,031
Ondiepe geothermie	0,076	0,035	0,056
Diepe geothermie < 20MWth	0,054	0,023	0,041
Diepe geothermie $\geq 20$ MWth	0,051	0,023	0,037
Aquathermie uit oppervlaktewater voor directe toepassing (TEO-d)	0,063	0,023	0,050
Aquathermie uit afvalwater (TEA)	0,074	0,023	0,060
<b>Laag</b>			
Biomassaketel op vaste of vloeibare biomassa $\geq 5$ MWth (6000 uur)	0,046	0,014	0,023
Restwarmte met warmtepomp	0,037	0,014	0,023
Ondiepe geothermie	0,067	0,021	0,033
Diepe geothermie < 20MWth	0,050	0,014	0,027
Diepe geothermie $\geq 20$ MWth	0,046	0,014	0,023
Aquathermie uit oppervlaktewater voor directe toepassing (TEO-d)	0,056	0,014	0,033
Aquathermie uit afvalwater (TEA)	0,064	0,014	0,041

Tabel A.3 CO<sub>2</sub>-emissiefactoren SDE++-technologieën (kg CO<sub>2</sub>/kWh<sub>th</sub>)

	Netto emissiefactor
Biomassaketel op vaste of vloeibare biomassa ≥ 5 MWth (6000 uur)	0,226
Restwarmte met warmtepomp	0,165
Ondiepe geothermie	0,166
Diepe geothermie < 20MWth	0,218
Diepe geothermie ≥ 20MWth	0,213
Aquathermie uit oppervlaktewater voor directe toepassing (TEO-d)	0,166
Aquathermie uit afvalwater (TEA)	0,166