



Inzicht in de extra benodigde warmtebronnen en elektriciteit voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving in 2030

**Opdrachtgever: Uitvoeringsoverleg
klimaatakkoord - tafel Electriciteit**

December 2021
Versie: Definitief



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat



Ministerie van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Inhoudsopgave

1. Samenvatting.....	2
2. Aanleiding en vraagstelling.....	6
3. Methode	8
3.1 Werking van het rekenmodel	8
3.2 Aannames in het model.....	10
3.3 Controle op het rekenmodel	12
4. Scenario's.....	13
4.1 Overzicht scenario's en varianten	13
4.2 Toelichting scenario's	14
5. Resultaten.....	18
6. Gevoeligheidsanalyse	22
7. Pieklast elektriciteit	24
8. Discussie	26
9. Conclusies	27
Bijlage A: Grafieken en tabellen met details per scenario	

1. Samenvatting

Deze studie is uitgevoerd in de periode oktober 2021 – december 2021 en is dan ook uitgegaan van de op dat moment beschikbare kennis en uitgangspunten. De beleidsvoornemens vanuit het Coalitieakkoord zijn derhalve niet meegenomen in deze studie. Verder is het de bedoeling deze exercitie in de komende jaren te actualiseren, met als doel een inschatting te geven van het extra hoeveelheid elektriciteitsgebruik voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving in 2030.

In het klimaatakkoord is voor de gebouwde omgeving het doel gesteld om 3,4 Mton extra CO₂-reductie te realiseren t.o.v. het basispad¹. Vertaald naar restemissies betekent dit dat voor de gebouwde omgeving in 2030 nog 15,3 Mton CO₂ mag worden uitgestoten. Daar bovenop speelt de Europese opgave om richting 2030 de ambitie van 49% CO₂-reductie t.o.v. 1990 op te hogen naar minimaal 55% CO₂-reductie. Het 55% doel is op basis van het rapport 'Bestemming Parijs'² voorlopig vertaald naar een maximale restemissie van 14,9 Mton, maar daar moet nog politieke besluitvorming over plaatsvinden. Volgens de doorrekening van de meest recente Klimaat en Energieverkenning (KEV, 2021) komen we met het vastgestelde en voorgenomen beleid in 2030 uit op 18,9 Mton CO₂ restemissie (37% CO₂-reductie t.o.v. 1990). Met andere woorden, richting 2030 zijn forse stappen nodig.

Er zijn verschillende routes om het doel voor de gebouwde omgeving richting 2030 te realiseren: enerzijds minder energie verbruiken door in te zetten op het isoleren van woningen en andere gebouwen en door het realiseren van efficiëntere systemen, anderzijds door het gebruik van duurzame warmtebronnen voor de warmtebehoefte in plaats van de fossiele brandstoffen (aardgas) zoals nu nog vaak het geval is. Voor de keuze voor een aardgasvrij alternatief zijn er drie sporen, namelijk: 1. Inzet van volledig elektrische individuele warmtepompen (all-electric), 2. Inzet van collectieve warmtenetten en 3. hybride warmtepompen i.c.m. (duurzaam) gas.

Er zijn verschillende studies uitgevoerd die richting geven hoe, en of, het doel voor de gebouwde omgeving in 2030 kan worden bereikt. Wat echter ontbreekt is een analyse die specifiek kijkt naar gevolgen van bepaalde keuzes in de energietransitie op de benodigde duurzame warmtebronnen en benodigde elektriciteit. Namelijk: hoeveel warmtebronnen, elektriciteit en (duurzaam) gas zijn nodig om de doelen uit het klimaatakkoord te bereiken? Ook rekening houdend met een ophoging van het nationale doel vanuit Europese om minimaal 55% CO₂-reductie in 2030 te bereiken. Hierbij is het waardevol om te kijken hoeveel 'extra' nodig is ten opzichte van nu. Om die reden staat de volgende vraag centraal: *Wat is ten opzichte van 2020 de extra benodigde hoeveelheid warmtebronnen en elektriciteit voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving in 2030 om te komen tot 49% CO₂-reductie (15,3 Mton restemissie) en 55% CO₂-reductie (14,9 Mton restemissie) t.o.v. 1990?*

Deze onderzoeksvraag richt zich op de benodigde energiebronnen voor ruimteverwarming en tapwater in de gebouwde omgeving (woningen en utiliteit). Daarnaast wordt ruimtekoeling meegenomen. Het overige elektriciteitsgebruik in gebouwen - zoals ten behoeve van verlichting,

¹ Het basispad refereert naar de Nationale Energie Verkenning (NEV, 2017).

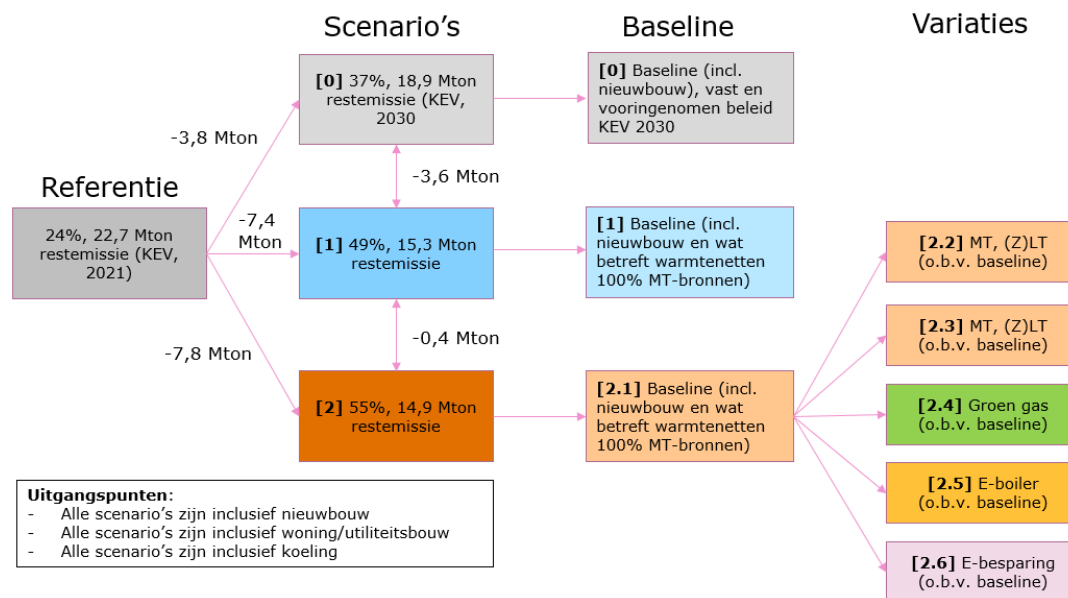
² Eindrapportage studiegroep Invulling klimaatopgave Green Deal - o.l.v. Laura van Geest; opgave is 4 Mton additioneel op projectie KEV, 18,9 Mton, link: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/01/29/bestemming-parijs-wegwijzer-voor-klimaatkeuzes-2030-2050>

apparatuur of elektrisch vervoer - is niet meegenomen. Ook ligt de opwek van elektriciteit en de haalbaarheid van de aanpassingen in de infrastructuur buiten de scope van deze vraag.

Voor de beantwoording van de vraag is er gerekend met een transparant rekenmodel. Het doel van het rekenmodel is om op een vereenvoudigde wijze een inschatting te kunnen maken van de CO₂ reductie ten gevolge van verschillende alternatieven voor besparing en aardgasvrij. Daarnaast wordt er een inschatting gemaakt van de benodigde warmtebronnen (warmte, elektriciteit en (duurzaam) gas). Het model berekent de benodigde energie uit energiebronnen op basis van de netto warmtevraag voor ruimteverwarming en tapwater van woningen, en de efficiëntie en energieverliezen van de componenten in de verschillende warmtealternatieven. Verder is ruimtekoeling meegenomen. Het model is opgebouwd in Excel en heeft voldoende detailniveau om de effecten van verschillende keuzes t.a.v. energiebesparing en gekozen warmtealternatief inzichtelijk te maken, maar heeft niet het detailniveau op adresniveau zoals dat bijvoorbeeld in de Startanalyse³ zit. Door deze aanpak is het model goed te volgen en te controleren, maar zijn geen keuzes op specifiek woningtype of op adresniveau te modelleren.

De CO₂-uitstoot voor de gebouwde omgeving (GO) wordt – conform afspraken uit het Klimaatakkoord – alleen bepaald op basis van decentrale aardgasverbranding, dat wil zeggen het verbranden van aardgas in woningen en overige gebouwen. De CO₂-uitstoot van aardgasgebruik in warmtelevering en elektriciteitsgebruik worden volgens het schoorsteenprincipe niet toebedeeld aan de gebouwde omgeving.

Er zijn 3 basisscenario's doorgerekend en een aantal varianten. Figuur 1 laat zien welke scenario's en varianten er zijn berekend; tabel 1 geeft direct inzicht in de resultaten die hierbij horen.



Figuur 1: Overzicht van de scenario's en bijbehorende varianten die zijn doorgerekend in deze studie.

³ Voor verdere toelichting van de startanalyse, zie link: <https://expertisecentrumwarmte.nl/themas/de+leidraad/startanalyse/default.aspx>

Deze studie geeft een indicatie van de extra elektriciteitsvraag en benodigde warmtebronnen voor de raming volgens de KEV 2021 voor 2030 (scenario 0), en voor twee scenario's waarbij de doelstellingen voor CO₂-reductie (49% en 55% reductie t.o.v. 1990) in de gebouwde omgeving gehaald worden. Voor de verdeling van de verschillende technieken is voor scenario 0 gebruik gemaakt van de meest recente Klimaat- en Energieverkenning (KEV, 2021).

Scenario's:	Referentie	Scenario 0	Scenario 1	Scenario 2.1 (14,9 Mton restemissie)+ varianten (2.2 t/m 2.6)						
	KEV 2021 voor 2020	KEV 2021 voor 2030	49% baseline	Baseline	Warmte-netten 30%ZLT	Warmte-netten 50%ZLT	10%groen gas bij-menging	Warmte-net 15% Eboiler	via besparing warmtevraag	
	[0-2020]	[0-2030]	[1]	[2.1]	[2.2]	[2.3]	[2.4]	[2.5]	[2.6]	
Aantallen woningaansluitingen (x miljoen woningen)										
# met aardgasketel	6,85	6,47	4,47	4,29	4,29	4,29	5,00	4,29	4,47	
# hybride	0,02	0,30	1,52	1,52	1,52	1,52	1,15	1,52	1,52	
# all-electric	0,21	0,74	1,11	1,29	1,29	1,29	0,95	1,29	1,11	
# MT warmtenet	0,42	0,69	1,1	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	
<i>Waarvan:</i>										
MT net met ZLT bron +WP	0%	0%	0%	0%	10%	20%	0%	0%	0%	
LT net met LT bron +WP	0%	0%	0%	0%	10%	15%	0%	0%	0%	
ZLT warmtenet met ind.WP	0%	0%	0%	0%	10%	15%	0%	0%	0%	
Extra benodigde bronnen t.o.v. 2020 (voor woningen + utiliteit, waarbij voor utiliteit dezelfde verdeling benodigde bronnen per PJ warmtevraag is aangenomen als voor woningen)										
extra (aard)gas	PJ/jr	0	-84	-156	-164	-164	-164	-136	-164	-164
extra elektriciteit	TWh/jr	0,0	3,6	8,4	9,0	9,8	10,5	6,9	10,5	8,2
extra MT warmte	PJ/jr	0	8	26	26	12	2	26	20	26
extra LT warmte	PJ/jr	0	0	0	0	4	6	0	0	0
extra ZLT warmte	PJ/jr	0	0	0	0	6	11	0	0	0
extra elektriciteit	PJ/jr	0	13	30	32	35	38	25	38	30

Tabel 1: Overzicht van de resultaten per scenario en varianten in TWh en PJ.

Scenario 1 is gebaseerd op het recente rapport van Ecorys in opdracht van uitvoeringsoverleg Klimaatakkoord - tafel gebouwde omgeving⁴; Scenario 2 is een aanvulling op Scenario 1 om het doel van 14,9 Mton restemissie te halen. Hierbij zijn verschillende varianten bekeken. De praktische haalbaarheid van deze scenario's is in deze studie niet onderzocht.

De resultaten laten de extra benodigde bronnen of dragers (gas, elektriciteit en warmte) in 2030 zien t.o.v. de situatie in 2020 volgens de KEV 2021. Deze is per scenario als volgt:

- Scenario 1 (49% CO₂-reductie; 15,3 Mton restemissie): 8,4 TWh (extra elektriciteit) en 26 PJ (extra warmtebronnen). Dit is nodig om doelen uit het huidige klimaatakkoord te bereiken.
- Scenario 2 (55% CO₂ reductie; 14,9 Mton restemissie): heeft een bandbreedte tussen 6,9 en 10,5 TWh (extra elektriciteit) en voor warmte een bandbreedte van 19 en 26 PJ (extra warmtebronnen).
 - o Voor elektriciteit vraagt de baseline een extra benodigde hoeveelheid elektriciteitsverbruik van 9,0 TWh. De bandbreedte laat zien wat de inzet van groen gas, elektrische boiler, lagere temperatuur warmtebronnen voor warmtenetten en extra besparing van woningen en gebouwen doet op het totaal benodigde hoeveelheid elektriciteitsverbruik. Enkele conclusie die hieraan kunnen worden verbonden zijn:

⁴ Ecorys (2021), Inzicht in aanvullende beleidspakketten voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving ([link](#)). Doel van deze studie was een optimalisatie om de 15,3 Mton restemissie op een zo'n kosten efficiënte manier te bereiken.

- Extra isolatie – zoals ook in het Coalitieakkoord is opgenomen – leidt tot minder elektriciteit of een lagere restemissie.
 - Wanneer wordt uitgegaan van 20% groen gas bijmenging (i.p.v. 10%) zal dit leiden tot minder vraag naar elektriciteit of kan het bijdragen aan een lagere restemissie in 2030 dan waar in deze studie mee is gerekend.
 - Een verhoogde inzet op lagere temperatuur warmtebronnen, en de elektrische boiler laten het elektriciteitsverbruik juist fors toenemen.
- Voor warmtebronnen geldt dat de hoeveelheid benodigde warmtebronnen sterk afhangt van welke temperatuur warmtebron wordt ingezet, en in hoeverre de elektrische boiler een rol krijgt in de levering van warmte.
 - Bij de baseline wordt er van uitgegaan dat alle warmtenetten worden gevoed met midden temperatuur (MT) warmtebronnen (>70°C). Het voeden van warmtenetten met lagere temperatuur warmtebronnen - die met collectieve warmtepompen op de juiste temperatuur gebracht moeten worden - , of het gebruik van een elektrische boiler voor warmtenetten laten het elektriciteitsverbruik toenemen.
 - De keuze of aannahme voor het temperatuurniveau van de warmtebronnen en de inzet van een elektrische boiler heeft naast invloed op de benodigde elektriciteit ook invloed op de benodigde hoeveelheid warmtebronnen.
- De baseline van scenario 2 (55%) leidt tot een extra elektriciteitsbehoefte van 0,6 TWh t.o.v. de baseline van scenario 1 (49%). Het aandeel warmtebronnen blijft hierin gelijk, gezien in deze studie de aannahme is gedaan dat ongeacht het scenario/variant het maximaal praktisch potentieel voor het aantal aansluitingen op een warmtenet volledig wordt benut. Deze aannahme is besproken met de stuurgroep en in lijn met de aannahme in het Ecorys⁵ onderzoek.

Het effect van de groei van koudevraag is meegenomen in de totale elektriciteitsvraag en is gebaseerd op de studie van TNO⁶, waarbij de aannahme is dat in 2020 10% van de huishoudens koeling heeft en in 2030 22% van de huishoudens. Tevens gaat het aandeel van vaste airco's en daarmee de hoeveelheid koeling per aansluiting omhoog. Voor utiliteitsbouw is een gelijke groei aangenomen. Mogelijk is dit voor utiliteitsbouw aan de lage kant, maar daar zou extra onderzoek voor nodig zijn. De elektriciteitsvraag voor koeling in 2020 is 0,4 TWh, en neemt toe tot 1,0 TWh in 2030. De extra vraag voor koeling in 2030 is dus 0,6 TWh.

Uit de studie is gebleken dat om de doelstellingen van 2030 voor zowel 49% als 55% CO₂ reductie te behalen, er flinke stappen nodig zijn voor het realiseren van het benodigde aantal aansluitingen voor all-electric, warmtenet, en hybride warmtepompen. Dit levert een extra elektriciteitsvraag op van ca 8 TWh tot ruim 10 TWh. De keuzes met betrekking tot de mate van besparing, aandeel groen gas in de gebouwde omgeving en in het type warmtebron / warmtenet (bijvoorbeeld een (zeer)lage temperatuur in combinatie met een warmtepomp of midden temperatuur) hebben invloed op de benodigde hoeveelheid gas, elektriciteit en warmtebronnen.

⁵ Ecorys (2021), Inzicht in aanvullende beleidspakketten voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving ([link](#))

⁶ TNO (2021), Energievraag van ruimtokoeling in woningen ([link](#))

2. Aanleiding en vraagstelling

In het klimaatakkoord is voor de gebouwde omgeving het doel gesteld om 3,4 Mton extra CO₂-reductie te realiseren t.o.v. het basispad (NEV, 2017). Vertaald naar restemissies betekent dit dat voor de gebouwde omgeving in 2030 nog 15,3 Mton CO₂ mag worden uitgestoten. Daar bovenop speelt de Europese opgave om richting 2030 de ambitie van 49% CO₂-reductie t.o.v. 1990 op te hogen naar minimaal 55% CO₂-reductie. Het 55% doel is op basis van het rapport 'Bestemming Parijs'⁷ voorlopig vertaald naar een maximale restemissie van 14,9 Mton, maar daar moet nog politieke besluitvorming over plaatsvinden. Volgens de doorrekening van de meest recente Klimaat en Energieverkenning (KEV, 2021) komen we met het vastgestelde en voorgenomen beleid in 2030 uit op 18,9 Mton CO₂ restemissie (37% CO₂-reductie t.o.v. 1990). Met andere woorden, richting 2030 zijn forse stappen nodig.

Er zijn verschillende routes om het doel voor de gebouwde omgeving richting 2030 te realiseren: enerzijds minder energie verbruiken door in te zetten op het isoleren van woningen en andere gebouwen en door het realiseren van efficiëntere systemen, anderzijds door het gebruik van duurzame warmtebronnen voor de warmtebehoefte in plaats van de fossiele brandstoffen (aardgas) zoals nu nog vaak het geval is. Voor de keuze voor een aardgasvrij alternatief zijn er drie sporen, namelijk: 1. Inzet van volledig elektrische individuele warmtepompen (all-electric), 2. Inzet van collectieve warmtenetten en 3. hybride warmtepompen i.c.m. (duurzaam) gas.

Er zijn verschillende studies uitgevoerd die richting geven hoe, en of, het doel voor de gebouwde omgeving in 2030 kan worden bereikt. Recentelijk heeft Ecorys een onderzoek uitgevoerd en een doorrekening gemaakt van de gebouwde omgeving⁸ met hierin de benodigde aansluitingen voor warmtenetten, all-electric en hybride warmtepompen. Wat echter ontbreekt in deze analyses is de invloed op de benodigde hoeveelheid duurzame warmtebronnen en elektriciteit. Bijvoorbeeld,; hoeveel warmtebronnen (midden- en lage temperatuur), elektriciteit en (duurzaam) gas zijn nodig om de doelen uit het klimaatakkoord te bereiken? Ook rekening houdend met een ophoging van het doelbereik vanuit het Europese doel om minimaal 55% CO₂-reductie in 2030 te bereiken. Hierbij is het waardevol om te kijken hoeveel 'extra' nodig is ten opzichte van nu.

Om die reden staat in deze studie de volgende vraag centraal:

Wat is ten opzichte van 2020 de extra benodigde hoeveelheid warmtebronnen en elektriciteit voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving in 2030 om te komen tot 49% CO₂-reductie en 55% CO₂-reductie t.o.v. 1990?

Deze onderzoeksvraag richt zich dus op de benodigde energiebronnen voor ruimteverwarming en tapwater. Daarnaast wordt koeling meegenomen. Het overige elektriciteitsgebruik in gebouwen - zoals ten behoeve van verlichting, apparatuur - of elektriciteit voor elektrisch vervoer - is niet meegenomen. Ook ligt de opwek van elektriciteit buiten de scope van deze vraag.

Deze studie is geschreven om hier een antwoord op te geven. Allereerst geven hoofdstuk 3 en 4 een toelichting op het rekenmodel en de bijbehorende scenario's. Dit geeft kennis van hoe de

⁷ Eindrapportage studiegroep Invulling klimaatopgave Green Deal - o.l.v. Laura van Geest; opgave is 4 Mton additioneel op projectie KEV, 18,9 Mton, link: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/01/29/bestemming-parijs-wegwijzer-voor-klimaatkeuzes-2030-2050>

⁸ Studie Ecorys (2021): Inzicht in aanvullende beleidspakketten voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving.

berekeningen zijn uitgevoerd, waar de scenario's op zijn gebaseerd en hoe dit zich verhoudt tot de resultaten (hoofdstuk 5). Verder staat in hoofdstuk 6 een gevoeligheidsanalyse, en voorziet hoofdstuk 7 een nadere toelichting op pieklast van het elektriciteitsnet en het elektriciteitsgebruik voor koeling. De resultaten (incl. gevoeligheidsanalyse) worden in de discussie en conclusie (hoofdstuk 8 en 9) besproken.

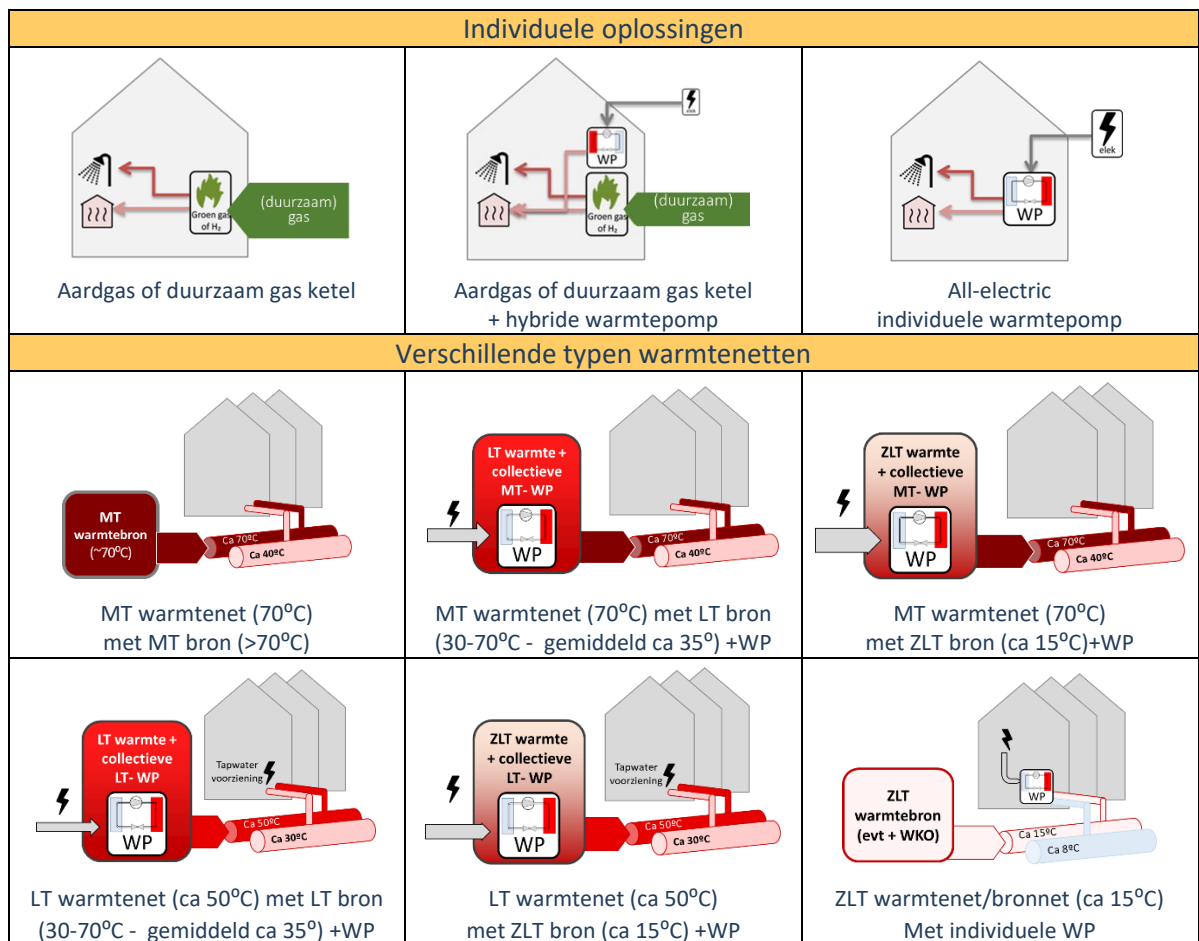
3. Methode

Dit hoofdstuk beschrijft de werking van het rekenmodel en de controle die hier op is uitgevoerd.

3.1 Werking van het rekenmodel

Voor de beantwoording van de onderzoekvraag is er gerekend met een transparant rekenmodel. Dit model is bedacht en ontworpen door het ministerie van BZK, in samenwerking met RVO en EZK, en gedurende het proces gecontroleerd door verschillende organisaties (zie paragraaf 3.3). Het rekenmodel is een Excel tool. Het doel van de tool is om op een vereenvoudigde wijze een inschatting te kunnen maken van de CO₂ reductie ten gevolge van verschillende mogelijke maatregelen in de gebouwde omgeving. Zowel besparing (d.w.z. reductie van de warmtevraag) als aansluiting op verschillende alternatieven voor aardgasvrij kunnen worden ingevoerd. Als resultaten wordt de CO₂ emissie berekend en tevens een inschatting gegeven van de benodigde bronnen of dragers (warmte, elektriciteit en (duurzaam) gas).

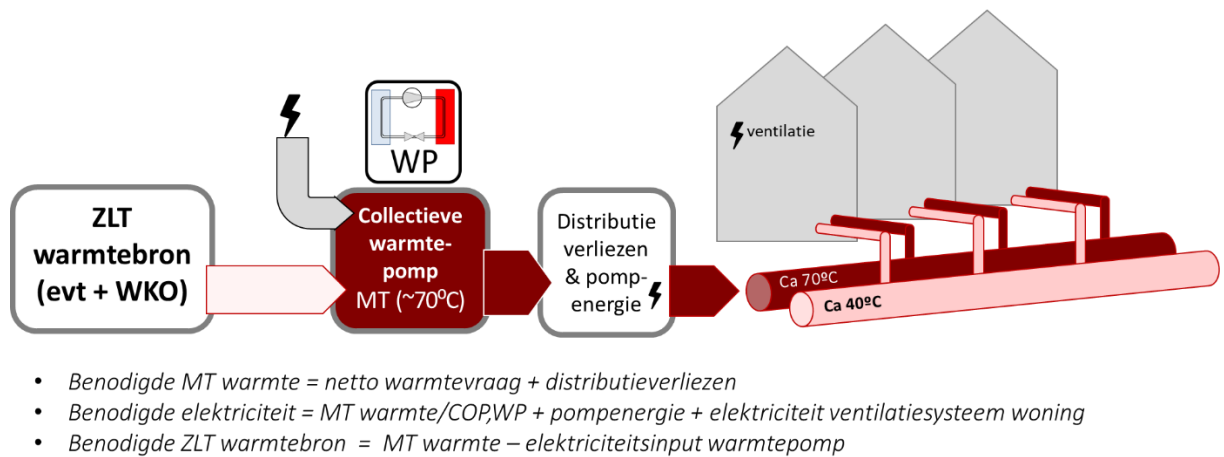
In het model zijn 9 verschillende alternatieven voor warmtevoorziening opgenomen:



Figuur 2: Overzicht van alle type warmtevoorzieningen die kunnen worden doorgerekend in het model.

De CO₂-uitstoot voor de gebouwde omgeving (GO) wordt – conform afspraken uit het Klimaatakkoord – alleen bepaald op basis van decentrale aardgasverbranding, dat wil zeggen het verbranden van aardgas in woningen en overige gebouwen. De CO₂ uitstoot van aardgasgebruik in warmtelevering en elektriciteitsgebruik worden volgens het schoorsteenprincipe niet toebedeeld aan de gebouwde omgeving. De hoeveelheden benodigde warmte en elektriciteit volgen wel uit het model; er wordt alleen geen CO₂ emissie aan toegekend voor deze berekening.

Het model is berekent de benodigde energiebronnen en –dragers per gemiddelde woning op basis van de netto warmtevraag voor ruimteverwarming en tapwater van woningen, en de efficiëntie en energieverliezen van de componenten in de verschillende warmtealternatieven (o.a. COP's van warmtepompen, pompenergie, distributieverliezen e.d.). De manier van berekenen is hieronder schematisch weergegeven voor een MT warmtenet met een ZLT bron en een collectieve warmtepomp:



Figuur 3: voorbeeld weergave van hoe de berekening wordt uitgevoerd om te komen tot de benodigde MT warmte.

Verder is ruimtekoeling meegenomen in situaties waarin dit leidt tot extra benodigde elektriciteitsvraag. Dit is het geval bij individuele koelinstallaties; koeling met bodemenergie of WKO levert nauwelijks extra elektriciteitsvraag op.

In het model kan per verduurzamingsspoor (i. warmtenet, ii. All-electric, iii. Hybride warmtepomp i.c.m. (duurzaam) gas) het aantal woningen en het gemiddelde energiegebruik (in Gigajoule/jaar) worden ingevuld. Het gemiddelde energiegebruik kan per alternatief verschillend worden ingevuld; zo is het bijvoorbeeld mogelijk om mee te nemen dat de woningen met aansluitingen op warmtenet een relatief lage warmtevraag hebben, doordat dit vaker appartementen zijn, of dat all-electric woningen vaak een lagere warmtevraag hebben omdat ze gemiddeld beter geïsoleerd zijn.

De totale benodigde hoeveelheid bronnen of dragers wordt brekend door het aantal woningaansluitingen per warmtealternatief (aardgasketel, all-electric, hybride of warmtenet) te vermenigvuldigen met de benodigde bronnen per gemiddelde woning. De aantallen (invoervariabelen, zoals hierboven toegelicht) worden per scenario toegelicht in Hoofdstuk 4. Voor utiliteitsbouw geldt dat de benodigde bronnen zijn bepaald door de warmtevraag van de utiliteitsbouw volgens dezelfde verdeling van warmtebronnen in te vullen als de warmtevraag van woningen. De warmtevraag van de u-bouw is gebaseerd op de Klimaat en Energieverkenning 2021, waarbij is aangenomen dat de extra CO₂ reductie van utiliteitsbouw volgens de raming van de KEV

voor 2030 het gevolg is van extra reductie van de warmtevraag. De reden dat de woningaantallen in detail zijn meegenomen en utiliteitsbouw niet in detail is meegenomen is dat hier minder gedetailleerde gegevens over bekend zijn en dat utiliteitsbouw in de praktijk heel veel verschillende categorieën kent.

Per scenario kan een situatie 'nu' en een situatie in 2030 en 2050 worden ingevoerd. Voor deze studie is voor de situatie 'nu' de situatie in 2020 volgens de KEV 2021 ingevoerd. De overige scenario's zijn steeds ingevoerd voor 2030; het jaar 2050 is voor deze studie niet gebruikt. Figuur 4 geeft een overzicht van hoe de input eruitziet. de lichtgele cellen zijn invoervariabelen die per scenario kunnen worden gekozen

SCENARIO:		KEV 2021	eventuele toelichting: Invoer grotendeels conform KEV 2021. Secorale uitstoot klopt nagenog. Er wordt uitgegaan van 7,5 milj bewoonde woningen in 2020 en 8,2 milj in 2030. KEV pagina 141. aantal aardgasvrij o.b.v. figuur 5.5 en bewoonde woningen							
I N V O E R	# Weq per type warmtevoorziening invullen:		variant/jaar: 2020				variant/jaar: 2030			
	Type warmtevoorziening (type WVZ)		Aantal Weq x miljoen	warmtevraag (RV+TW) per Weq	totaal PJ woningen per warmte-optie	totaal PJ Ubouw per warmte-optie	Aantal Weq x miljoen	warmtevraag (RV+TW) per Weq	totaal PJ woningen per warmte-optie	totaal PJ Ubouw per warmte-optie
			aantal ↓	GJ/jr	PJ/jaar	PJ/jaar	aantal ↓	GJ/jr	PJ/jaar	PJ/jaar
	(aard)gas ketel		6,85	39,4	270		6,47	36,4	236	
	hybride		0,02	36,0	1		0,30	36,0	11	
	All-electric		0,21	31,0	7		0,74	29,0	21	
	MT warmtenet op MT bron		0,42	29,0	12		0,69	27,0	19	
	MT warmtenet op LT bron + WP		-	29,0	-			27,0	-	
	MT warmtenet op ZLT bron + WP		-	29,0	-			27,0	-	
	LT warmtenet op LT bron		-	29,0	-			27,0	-	
	LT warmtenet op ZLT bron +WP		-	29,0	-			27,0	-	
	ZLT warmtenet met ind WP		-	29,0	-			27,0	-	
TOTALEN (aantal BEWOONDE woningen)		7,50	38,6	289	125	8,20	34,9	286,4	93	
PJ warmtevraag totaal				414				380		
Koeling (inschatting o.v.c. koudevraag en COP)		# Weq x milj	Koudevraag per woning	totaal woningen	totaal koudevraag UBOW	# Weq x milj	Koudevraag per woning	totaal woningen	totaal koudevraag UBOW	
		aantal ↓	GJ/jr/woning	PJ/jaar	PJ/jaar	aantal ↓	GJ/jr	PJ/jaar	PJ/jaar	
Woningen met koudelevering		0,75	4,2	3		1,80	6,0	11		

Figuur 4: Weergave van de input parameters zoals het rekenmodel deze toepast. Links zijn de verschillende type warmtevoorzieningen weergegeven. Rechts (in het geel) kunnen de aantallen worden ingevuld.

3.2 Aannames in het model

Er zijn verschillende aannames en vereenvoudigingen in het model gemaakt, de belangrijkste worden hieronder weergegeven.

Het model is gebaseerd op de volgende basis onderdelen van een energievoorziening:

- Netto warmtevraag van een gemiddelde woning, voor ruimteverwarming en tapwater. Deze netto warmtevraag kan per warmtealternatief verschillend worden ingevoerd
- De efficiëntie van de opwek installaties, d.w.z. efficiëntie van de hr-ketel of de COP van een warmtepomp (kan verschillen voor ruimteverwarming of tapwater, en voor individuele, hybride of collectieve warmtepompen)
- Thermische verliezen van distributienetten warmtenet (afhankelijk van de temperatuur)
- Thermische stilstandsverliezen boiler - hier is mee gerekend als het tapwater (deels) door een WP wordt geleverd. (dus ook als je invult dat hybride een deel van het tapwater levert)
- Elektriciteit voor ventilatiesysteem, waarbij de aanname is dat de warmtevoorziening met lage temperatuur afgifte ventilatiesysteem label D hebben (in dit geval is warmteterugwinning mogelijk).

- Pompenergie distributienet (COP pompenergie zelf in te vullen – afhankelijk van temperatuur warmtenet)

Overige variabelen:

- Voor de hybride warmtepomp kan worden aangegeven welk percentage van de warmtevraag wordt geleverd door de warmtepomp, voor zowel ruimteverwarming als tapwater
- Voor warmtenetten kan worden aangegeven welk percentage geleverd wordt door een gasgestookte boiler (voor de invulling van de piek-/hulpvraag) of een elektrische boiler. Dit heeft invloed op de benodigde hoeveelheid bronnen of energiedragers (gas, elektriciteit, warmte)
- De benodigde hoeveelheid gas of elektriciteit (in termen van m³ en kWh per aansluiting) kan worden opgegeven, evenals het percentage huishoudens dat op gas kookt.
- Het percentage groen gas in de mix voor (aard)gaslevering kan worden aangepast. Hiermee wordt de gemiddelde emissiefactor van gas aangepast, waardoor gasverbruik tot minder CO₂ uitstoot leidt en voor dezelfde reductie dus minder maatregelen in de gebouwde omgeving getroffen hoeven te worden, of met dezelfde maatregelen meer CO₂ reductie wordt gerealiseerd.

De volgende onderdelen zijn niet meegenomen, omdat deze weinig invloed hebben op de resultaten en niet onderscheidend zijn tussen de scenario's:

- Pompenergie vloerverwarming en/of het centrale verwarming (cv) systeem
- Recirculatieverliezen in gebouwen

Zoals in de inleiding vermeld gaat deze studie alleen over het energiegebruik voor verwarming, tapwater en koeling:

- Het elektriciteitsgebruik voor verlichting en (huishoudelijke) apparatuur, is daarom niet meegenomen, alleen gas- en elektriciteitsgebruik voor koken is wel meegenomen, omdat dit gerelateerd is aan het gekozen alternatief voor verwarmen.
- Elektrisch vervoer en de productie van zonnestroom op daken valt buiten de scope van deze studie en is daarom ook niet meegenomen in het rekenmodel.
- Het effect op de pieklast van het elektriciteitsnet is niet kwantitatief meegenomen, wel is een kwalitatieve analyse toegevoegd (zie hoofdstuk 7).

Er is een aparte handleiding geschreven die verdere toelichting geeft op het rekenmodel.

Op basis de hierboven beschreven onderdelen kan per scenario worden berekend wat het benodigde energiegebruik is in de huidige situatie en in 2030. Dit wordt gedaan voor zowel (duurzaam) gas, elektriciteit en warmte, op verschillende temperatuurniveaus. Het elektriciteitsgebruik wordt vooral bepaald door de inzet van warmtepompen. Dat kan in de vorm van 1) een hybride warmtepomp; 2) een individuele warmtepomp met de warmtebron op gebouwniveau (all-electric oplossing); 3) met een (zeer) lage temperatuur warmtenet, of door een collectieve warmtepomp die een (Z)LT bron opwaardeert tot de juiste temperatuur voor een LT of MT warmtenet. De kengetallen zijn gebaseerd op bestaande bronnen, sluiten grotendeels aan bij het Vesta Mais model, en zijn gecheckt bij experts (zie ook figuur 3).

3.3 Controle op het rekenmodel

Om de validiteit van het rekenmodel te beoordelen zijn er verschillende controles uitgevoerd. Aan de voorkant is er door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en het Planbureau door de Leefomgeving (PBL) meegekeken naar de invoerparameters. Ecorys en De WarmteTransitieMakers (DWTM) hebben meer uitgebreid gekeken naar de parameters en rekenformules.

De methode van het berekenen van de benodigde bronnen in het Excelmodel per type warmtevoorziening en netto warmtevraag is vergelijkbaar met de methode voor het berekenen van de energiebronnen in het Vesta MAIS model. Ook de invoerparameters wat betreft energiestaat (zoals COP's en efficiënties) zijn zo veel mogelijk afgestemd (een verdere toelichting wordt in de handleiding van het Excelmodel gegeven).

Wat betreft de invoer qua aantallen aansluitingen en warmtevraag per woning werken de twee modellen echter anders: Het Excel rekenmodel berekent de benodigde bronnen op basis van door de gebruiker ingevoerde aantallen aansluitingen per type warmtealternatief en de bijbehorende netto warmtevraag, dit zijn dus invoerparameters; het Vesta MAIS model is een ruimtelijke optimalisatie model om warmtetechnieken op basis van de laagste nationale kosten per buurt toe te wijzen. Het aantal aansluitingen en de warmtevraag is dus ook een resultaat van een berekening in het Vesta MAIS-model.

In samenwerking met de ontwikkelaars is onderzocht hoe de invoer van aantallen en warmtevraag het best mogelijk kan aansluiten op basis van de mogelijkheden van de modellen. Hiertoe zijn de invoerparameters van het Excel rekenmodel uitgebreid vergeleken met de invoerparameters van Vesta MAIS.

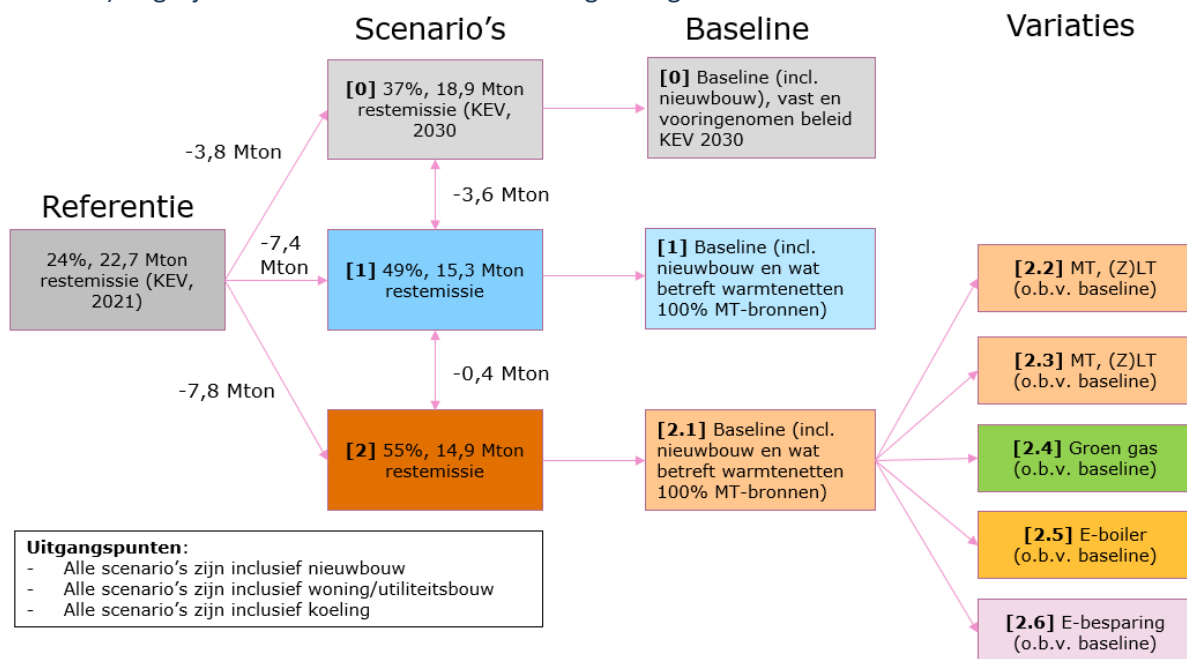
Tot slot is er door Ecorys en DWTM meegekeken op de scenario's en uiteindelijke resultaten zoals in deze studie beschreven.

4. Scenario's

Dit hoofdstuk geeft een toelichting op de scenario's.

4.1 Overzicht scenario's en varianten

Er worden drie scenario's doorgerekend (0, 1 en 2), met voor scenario 2 (55% CO2-reductie scenario) nog vijf sub varianten. Het schema in figuur 5 geeft hier een overzicht van.

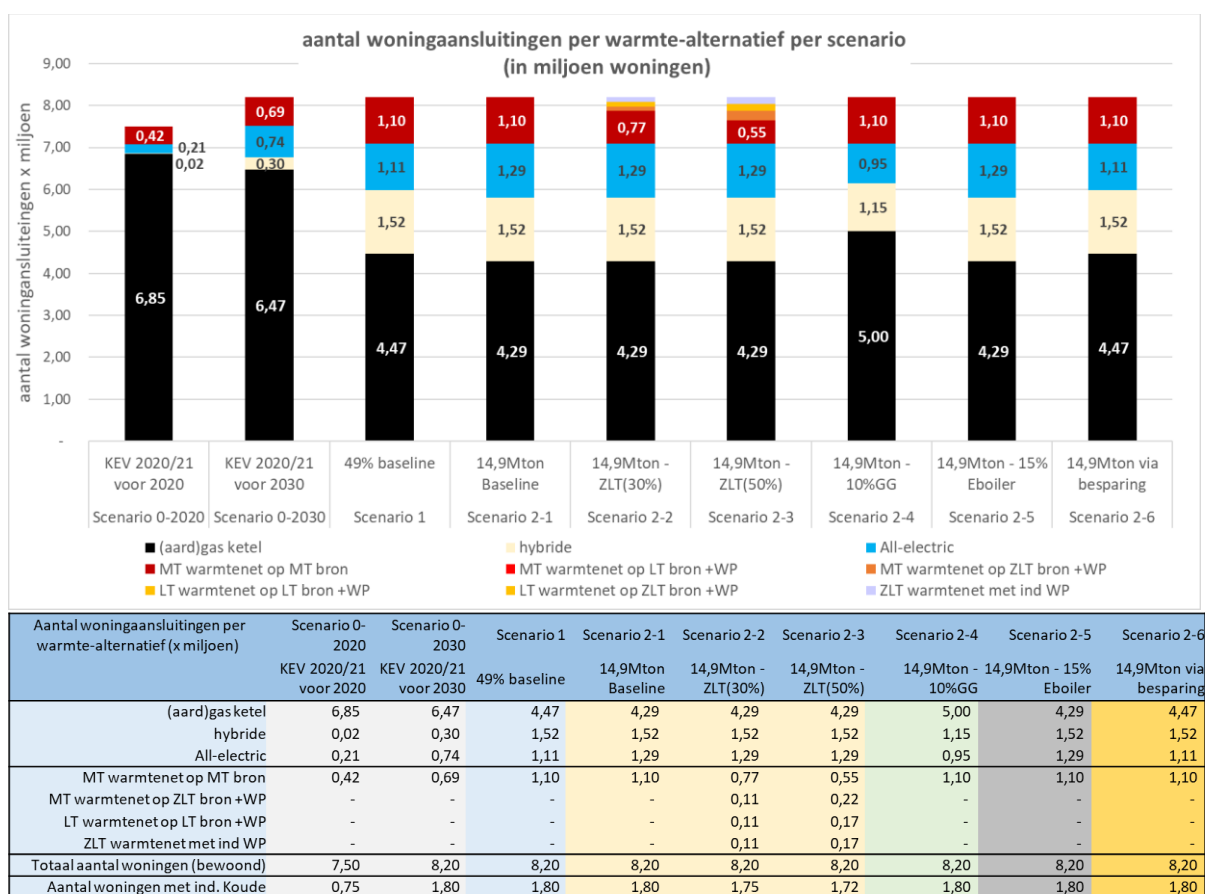


Figuur 5 Overzicht scenario's en varianten.

Zoals in hoofdstuk 3 is beschreven gebruikt het model het aantal woningen met een bepaalde techniek als input. Voor utiliteitsbouw geldt dat de benodigde bronnen zijn bepaald door de warmtevraag van de utiliteitsbouw volgens dezelfde verdeling van warmtebronnen in te vullen als de warmtevraag van woningen.

Voor scenario 0 zijn de aantallen ingevoerd volgens de KEV 2021. Voor scenario 1 zijn de aantallen gebaseerd op de studie van Ecorys en scenario 2 is een aanvulling op scenario 1 waarbij verschillende varianten zijn bekeken. De grafiek en tabel in figuur 6 geeft een overzicht van het aantal woningen per verduurzamingsscenario in 2030. In alle scenario's voor 2030 is ook rekening gehouden met nieuwbouw. Er is uitgegaan van 700.000 nieuwbouwwoningen richting 2030⁹.

⁹ Toelichting: De getallen zijn herleid uit de meest recente KEV. Er is uitgegaan van bewoonde woningen. Het aantal bewoonde woningen stijgt naar verwachting van 7,5 miljoen in 2020 naar 8,2 miljoen in 2030 (KEV 2021, p. 144)



Figuur 6 aantal woningen met een bepaalde warmtevoorziening per scenario's in grafiek en tabelvorm. Het aantal woningen is weergegeven in miljoenen.

Een verdere toelichting van de scenario's wordt in de volgende twee subhoofdstukken gegeven.

4.2 Toelichting scenario's

Referentiescenario – KEV (2021) voor het jaar 2020

Deze studie geeft inzicht in de extra benodigde hoeveelheid warmtebronnen en elektriciteitsvraag in de gebouwde omgeving in 2030 wanneer de doelen voor 49% en 55% CO₂-reductie gehaald worden. Om hier antwoord op te geven is een referentie nodig, een startpunt waar de term 'extra' op wordt gebaseerd.

Er is gekozen om de resultaten van de KEV (2021) voor de realisatie 2020 als referentie te gebruiken. De benodigde hoeveelheid warmte en elektriciteit voor dit scenario (in Petajoule, PJ) staat weergegeven in figuur 5 (hoofdstuk 5).

Scenario 0 - projectie 2030 volgens KEV met vastgesteld en voorgenomen beleid: Naast het referentiescenario (2020) is ook de raming van de KEV 2021 voor 2030 meegenomen. Deze berekening geeft inzicht in de resulterende restemissie in 2030 uitgaande van vastgesteld en voorgenomen beleid. Dit komt uit op een CO₂ reductie in 2020 van 37% t.o.v. 1990 (vertaald naar 18,9 Mton restemissie).

Voor 2030 wordt in de KEV 2021 uitgegaan van 700.000 extra bewoonde woningen t.o.v. 2020. De aantallen per type aansluiting, verdeeld over bestaande bouw en nieuwbouw, zijn als volgt:

Type aansluiting	Huidige aansluitingen (in 2020)	Extra aansluitingen bij bestaande bouw	Extra aansluitingen bij nieuwbouw	Totaal aantal aansluitingen in 2030
Hybride warmtepomp	20.000	280.000	-	300.000
All-electric	213.000	17.000	510.000	740.000
Warmtenet	419.000	79.000	190.000	689.000

Deze aantallen zijn gebaseerd op figuur 5.5 uit de KEV 2021, uitgaande van het aantal bewoonde woningen van 7,5 miljoen in 2020 en 8,2 miljoen in 2030. De genoemde extra aansluitingen bij nieuwbouw worden ook toegepast bij de scenario's 1 en 2.

Scenario 1: Dit scenario gaat uit van 49% CO₂-reductie t.o.v. 1990 conform de afspraken in het Klimaatakkoord, dit is vertaald naar 15,3 Mton restemissie voor de gebouwde omgeving in 2030. De aantallen die hierbij horen zijn gebaseerd op de studie door Ecorys (zie voetnoot 5, tabel 4.1)¹⁰. De nieuwbouwaantallen richting 2030 zijn toegevoegd o.b.v. ramingen uit de KEV voor 2030.

Scenario 2.1: Dit scenario gaat uit van 55% CO₂-reductie t.o.v. 1990; dit is vertaald naar 14,9 Mton restemissie voor de gebouwde omgeving in 2030. Er is er in dit scenario voor gekozen om het aantal warmtenet-aansluitingen gelijk te houden met scenario 1. Dit is gedaan omdat in de studie van Ecorys is onderzocht hoeveel warmtenet aansluitingen realistisch zijn t/m 2030. Hierin werd aangegeven dat er 491.000¹¹ extra aansluitingen in bestaande bouw mogelijk zijn richting 2030, bovenop de bestaande aansluitingen. De stuurgroep heeft aangegeven dat gezien deze praktische belemmering dit aantal in scenario 2 en de bijbehorende varianten gelijk blijft. Hetzelfde geldt voor het aantal hybride warmtepompen dat geïnstalleerd kan worden richting 2030.

Varianten (2.2 t/m 2.6): Er zijn vijf variaties op scenario 2 doorgerekend. Dit is gedaan om inzicht te geven in de realistische uitersten van de extra benodigde warmtebronnen en elektriciteit in 2030. Hierbij geldt dat voor elke variant het doel van 55% CO₂-reductie (c.q. 14,9 Mton restemissie) zal blijven gelden. De varianten zijn doorgerekend door de baseline (scenario 2.1) aan te passen. Elke variant wordt hieronder kort toegelicht. Een vergrootte weergave van de gehanteerde aantallen per variant is beschreven in de bijlage.

Variant 2.2 en 2.3 - Differentiatie in type warmtebronnen-/netten: Er zijn verschillende vormen van collectieve warmtenetten mogelijk om (nieuwe en bestaande) gebouwen te verwarmen. Figuur 2 (hoofdstuk 3) geeft een overzicht van de verschillende vormen die in deze studie zijn meegenomen. De varianten 2.2 en 2.3 kijken t.o.v. de baseline (scenario 2.1, waar alles middels MT-warmtenetten met MT bron is voorzien) naar de effecten op de elektriciteitsvraag wanneer er gekozen wordt voor meer (Z)LT warmtebronnen en minder MT warmtebronnen. Er zijn slechts vier van de zes warmte

¹⁰ met een kleine aanpassing vanwege het feit dat u-bouw net iets anders in dit model zit en omdat in Ecorys 1,0 Mton overige broeikasgassen (OBKG) is aangenomen voor 2030, terwijl de KEV uitgaat van 0,6 Mton OBKG in 2030. Het rekenmodel heeft voor alle scenario's in 2030 gerekend met 0,6 Mton OBKG.

¹¹ In totaal wordt er gerekend met 1,1 miljoen aansluitingen. Waarvan er momenteel 420.000 al zijn gerealiseerd, 491.000 nieuwe aansluitingen voor de bestaande bouw en 191.000 aansluitingen op een warmtenet in nieuwbouw.

opties meegenomen. Er is gekozen voor de technieken die vanuit Proeftuin Aardgasvrije Wijken (PAW) het meest voorkomen en de varianten die bij nieuwbouw zichtbaar zijn. Bestaande warmtenetten gaan meestal uit van een MT net met MT bron; in de PAW aanvragen en nieuwbouw is de variant MT warmtenet met ZLT bron het meest voorkomend, daarnaast zijn er enkele ZLT bronnetten. Verder gaan deze varianten er van uit dat richting 2030 er ook enkele LT netten zullen komen. Het verschil in elektriciteitsvraag is het grootst tussen warmtenetten met een MT bron- waarvoor alleen pompenergie nodig is - en warmtenetten met een ZLT bron, waar de bijdrage van een (collectieve) warmtepomp het grootst is. De impact op de elektriciteitsvraag van een keuze tussen de verschillende warmtenetten met (Z)LT bron is kleiner en wordt verder besproken in de gevoeligheidsanalyse.

Samenvattend is voor de varianten de volgende procentuele verdeling per type warmtenet gehanteerd:

nr.	Type warmtevoorziening	Baseline 2.1	Variante 2.2-weinig	Variante 2.3-veel
1	MT w-net op MT-bron	100%	70%	50%
2	MT w-net op ZLT-bron + WP	0%	10%	20%
3	LT w-net op LT-bron	0%	10%	15%
4	ZLT w-net met individuele WP	0%	10%	15%

Variante 2.4 - Groen gas: In de routekaart groen gas wordt gesproken over 70 PJ groen gas in 2030 (sector breed). In het Laura van Geest rapport (zie voetnoot 2) wordt voor groen gas een variatie van 10-20% in 2030 voor de gebouwde omgeving aangehouden. In deze studie wordt er voor variante 2.4 aangenomen dat van het benodigde aardgas in 2030 10% duurzaam zal zijn, wat resulteert in een lagere CO₂-intensiteit voor aardgas in de gebouwde omgeving. In de berekening van de resultaten zal het als gevolg hebben dat minder gebouwen aangesloten hoeven te worden op een van de drie verduurzamingsroutes om de doelen te halen. In de doorrekening hiervan is het aantal warmtenet aansluitingen gelijk gehouden, en wordt het aantal all-electric- en hybride warmtepompen bepaald op de waarde waarmee precies de restemissie van 14,9 wordt gehaald.

Variante 2.5 – Toepassing elektrische boiler in warmtenet: De elektrische boiler (e-boiler) is een mogelijke techniek die kan worden ingezet om warm water te genereren en op te slaan. Deze techniek kan worden ingezet tijdens negatieve elektriciteitsprijzen (c.q. overschot op het elektriciteitsnetwerk). Een e-boiler kan ook worden ingezet om de piekvraag in het warmtenet te leveren, maar het is dan waarschijnlijk niet mogelijk alleen te draaien bij een overschot aan duurzame elektriciteit. De inzet van de elektrische boiler heeft invloed op de benodigde hoeveelheid elektriciteit. Variante 2.5 berekent wat de invloed is van een inzet van de e-boiler voor 15% van de totaal benodigde warmte. De overige scenario's rekenen standaard al met een aandeel van 5% inzet van de e-boiler in 2030.

Variante 2.6 – energiebesparing: De mate van inzet op energiebesparende maatregelen is bepalend voor de netto warmtevraag en daarmee ook voor de uiteindelijke vraag naar elektriciteit en warmtebronnen. In deze variant is gekeken wat de invloed van energiebesparing is op de benodigde bronnen. In alle eerdere scenario's voor 2030 is uitgegaan van dezelfde besparing op warmtevraag. De extra opgave (van 15,3 naar 14,9 Mton restemissie) zou ook kunnen worden gehaald uit extra reductie warmtevraag door isolatie (+ kierdichting en ventilatie). Hiervoor moet de gemiddelde warmtevraag van de aardgasgestookte woning met 1,2 GJ naar beneden, wat overeenkomt met ca 35 m³/jaar per woning voor de resterende 4,5 miljoen woningen op aardgas en de 1,5 miljoen woningen met hybride warmtepomp. Een vergelijkbare reductie van de

warmtevraag zou ook kunnen worden gehaald door het isoleren van ca 0,5 miljoen slecht geïsoleerde woningen naar label A/B (vergelijkbaar met de Standaard voor woningisolatie), of ca 1 miljoen woningen met gemiddeld 2 labelstappen. Dit zijn indicaties o.b.v. gemiddeld CBS gebruik per label; de besparing hangt ook sterk af van het woningtype en de maatregel.

Algemeen koude: Het energiegebruik voor koude is gebaseerd op de notitie van TNO over koude¹² die o.a. gebaseerd is op de KEV 2021. Hierin wordt een inschatting gemaakt van het aantal mobiele en vaste airco's in 2020 en 2030, en het aantal draaiuren van deze technieken. Van deze technieken is voor 2020 en 2030 een gewogen gemiddeld energiegebruik bepaald, die is ingevoerd in het model.

De invoer is samengevat in onderstaande tabel:

	Aantal woningen met individueel koelsysteem	Gemiddelde koudevraag per woning	COP koude
2020	10% van alle bewoonde woningen	4,2 GJ/jr	3,5
2030	22% van alle bewoonde woningen	6 GJ/jr	3,5

In de scenario's wordt uitgegaan van bovenstaande getallen. Alleen in de scenario's met een ZLT warmtenet – waarmee ook koeling mogelijk is - wordt het aantal individuele koelinstallaties verminderd met het aantal woningen met ZLT net*50%. Dit i.v.m. het feit dat deze woningen (bijna) gratis kunnen koelen, maar dat dit niet per definitie woningen zijn die allemaal anders een individueel koelsysteem zouden hebben aangeschaft. Overigens heeft dit door het relatief kleine aantal ZLT netten geen significante invloed op het resulterende elektriciteitsgebruik voor koeling in 2030

De resulterende elektriciteitsvraag voor woningen voor koeling is 0,25 TWh in 2020 en 0,75 TWh in 2030. Dit is vergelijkbaar met de elektriciteitsvraag zoals gehanteerd in de KEV 2021 (respectievelijk 0,26 en 0,63).

Algemeen nieuwbouw: Nieuwbouw is meegenomen in alle scenario's voor 2030. Dit is gedaan omdat nieuwbouwwoningen -conform Nederlandse wet- en regelgeving- verplicht zijn om op een volledig aardgasvrije techniek aan te sluiten. Hierdoor heeft het effect op zowel het benodigde hoeveelheid warmtebronnen en/of elektriciteit. De nieuwbouw heeft geen effect op de CO₂ uitstoot omdat hier geen direct gebruik van aardgas geldt. In alle scenario's is de nieuwbouw gebaseerd op de raming voor 2030 van de KEV 2021.

Gemiddelde warmtevraag: De gemiddelde Gigajoule (GJ) vraag per woningequivalent ligt lager bij een warmtenet en all-electric aansluiting t.o.v. een aansluiting op een hybride warmtepomp. Voor een warmtenet aansluiting geldt dat het in de praktijk om kleinere type woningen (vaak appartementen) gaat. Voor woningen met een warmtenetaansluiting is voor de huidige warmtevraag per woning aangesloten bij de GJ/woning warmtelevering die kan worden bepaald uit het duurzaamheidsrapportage warmtenetten. Voor de scenario's in 2030 is aangesloten bij de analyse die door Ecorys is uitgevoerd. Hier kwam uit de optimalisatie naar voren dat met name

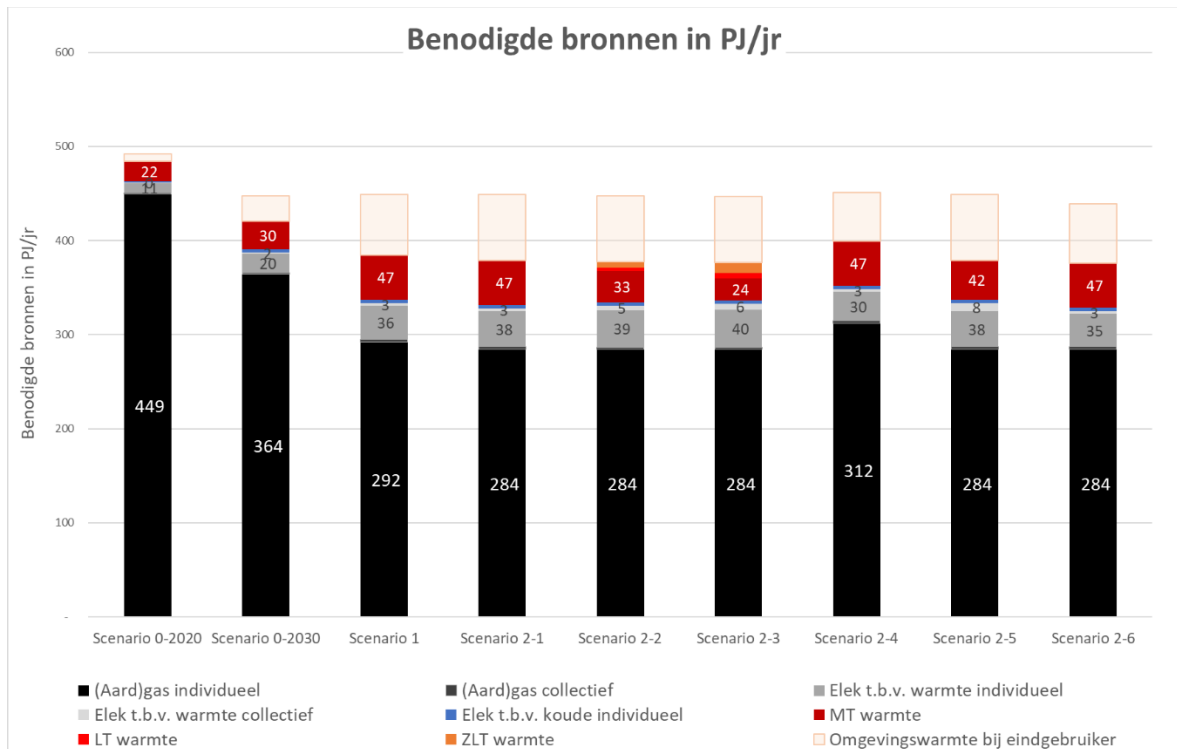
¹² TNO 2021 M11705. Energievraag van ruimtekoeling in woningen

woningen met een lage warmtevraag op en warmtenetaansluiting uitkomen. Wat betreft de warmtevraag van all-electric woningen, is er in deze studie als uitgangspunt genomen dat het grotendeels om nieuwe woningen gaat (zie figuur 5-5 van de KEV 2021). En dat de woningen goed geïsoleerd zijn. Ook daar is de warmtevraag dus laag. Voor de scenario's in 2030 volgt dit ook uit de optimalisatiestudie die door Ecorys is gedaan, aangevuld met het feit dat er veel nieuwbouwwoningen op all-electric worden aangesloten waardoor de gemiddelde warmtevraag laag is. Welke woningen in de praktijk zullen worden aangesloten kan niet worden voorspeld en dit zal moeten blijken. Maar het ligt wel in de verwachting dat de warmtevraag bij warmtenet en all-electric woningen lager zal zijn dan bij een cv-ketel en of hybride warmtepomp omdat het vaak om appartementen gaat bij warmtenetten, of om goed geïsoleerde woningen bij all-electric, en in beide gevallen omdat er relatief veel aansluitingen bij zitten.

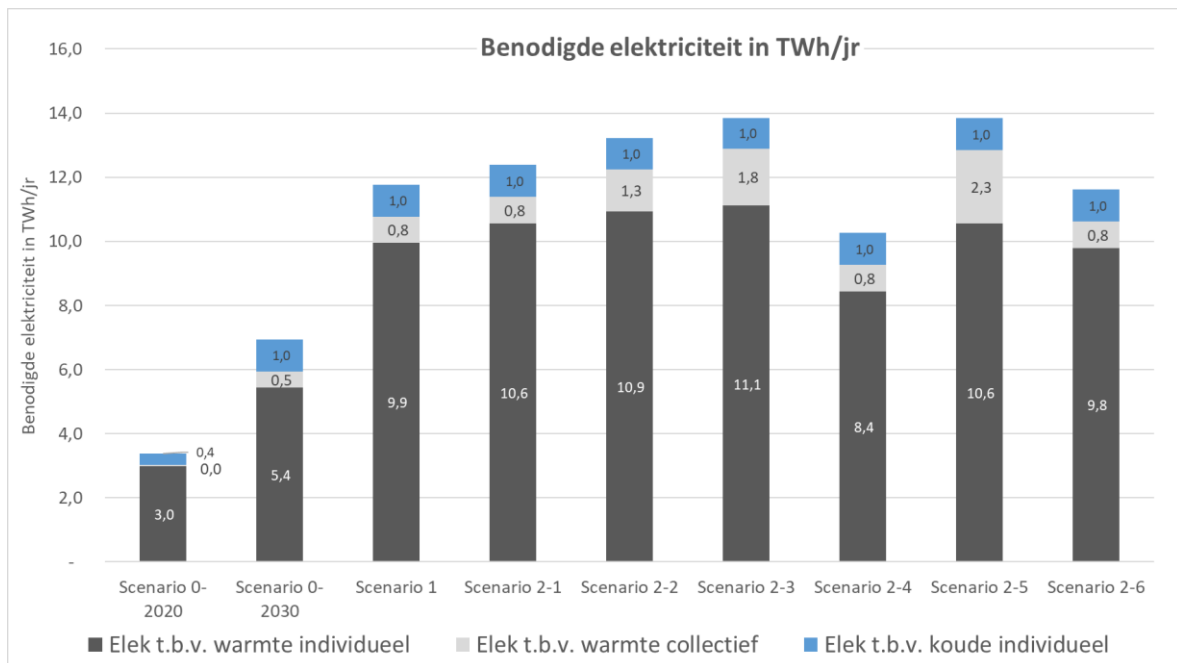
5. Resultaten

*Deze resultaten geven een antwoord op de vraag: **Wat is ten opzichte van 2020 de extra benodigde hoeveelheid warmtebronnen en elektriciteit voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving in 2030 om te komen tot 49% CO₂-reductie (15,3 Mton restemissie) en 55% CO₂-reductie (14,9 Mton restemissie) t.o.v. 1990?***

Figuur 6 geeft overzicht van de benodigde bronnen. Dit zijn niet de extra hoeveelheden t.o.v. 2020, maar een overzicht van de totaal benodigde bronnen (productie). Dit laat verschillende resultaten zien: Allereerst is zichtbaar dat het totaal aan aardgas in 2030 voor zowel 49% als 55% CO₂-reductie lager is dan wat er in 2020 nodig was, en voor alle scenario's en varianten ongeveer gelijk is. De hoeveelheid gas die nog gebruikt kan worden hangt af van de maximaal toegestane restemissie (scenario 1: 15,3 Mton, scenario 2: 14,9 Mton) en van de bijmenging van groen gas. Bij de gehanteerde aantallen warmtenetten zal er ongeveer 40-50 PJ aan warmtebronnen voor warmtenetten nodig zijn voor het doelbereik in 2030. Hierbij is wel rekening gehouden met 5% inzet van bijstook met aardgas en 5% inzet van een elektrische boiler voor collectieve warmtesystemen. De inzet hiervan wordt opgeteld bij de benodigde hoeveelheid gas en elektriciteit.

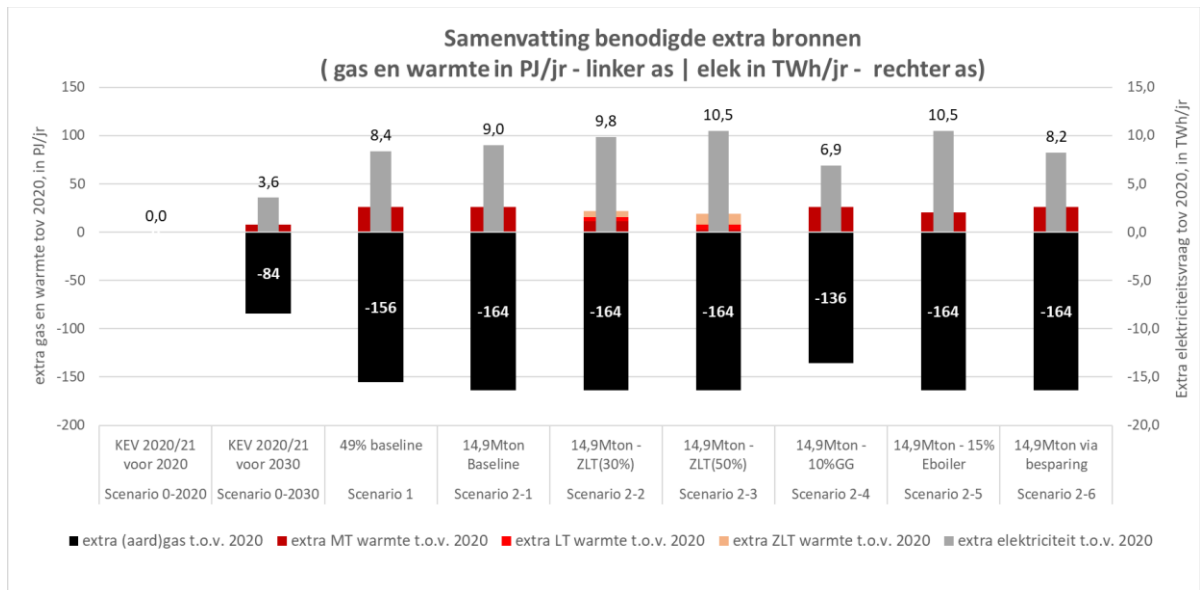


Figuur 7: Benodigde bronnen in Petajoule/jaar per scenario en variant.



Figuur 8: Benodigde elektriciteit in de referentiesituatie (2020) en de scenario's voor 2030

Figuur 7 en 8 laten ook scenario 0 – 2020 zien. Dit is het referentiescenario waarmee de overige scenario's worden vergeleken. Figuur 9 laat zien wat de extra benodigde warmtebronnen en elektriciteit zijn t.o.v. dit referentiescenario om de doelstelling van 49% (scenario 1) en 55% (scenario 2) te halen. Het referentiescenario staat hierbij op 0. Een volledige weergave van de grafiek en resultaten is in de bijlage weergegeven.



Figuur 9: Extra bronnen voor de verschillende scenario's

De resultaten zijn als volgt:

- **Scenario 0-2030:** De doorrekening van de KEV voor 2030 laat zien dat er op basis van het huidige tempo een beperkte extra elektriciteit nodig zal zijn; hetzelfde geldt voor de ontwikkeling van (duurzame) warmtebronnen. Deze raming komt uit op 37% CO₂ reductie en voldoet niet aan de doelen uit het klimaatakkoord voor de gebouwde omgeving.
- **Scenario 1 (49%):** Er is 8,4 TWh extra elektriciteit en 26 PJ extra warmtebronnen nodig t.o.v. het referentiescenario. In vergelijking met het referentiescenario betekent dit dat er richting 2030 meer dan een verdubbeling in aantal warmtebronnen nodig is (21 PJ huidig, naar 47 PJ in scenario 1). Voor elektriciteit geldt een verdriedubbeling van de elektriciteitsvraag voor verwarming en koeling, namelijk een stijging van 3,4 TWh naar 11,8 TWh.
- **Scenario 2 (55%):**
 - **Baseline 2.1:** De ophoging van 49% naar 55% is vertaald naar 0,4 Mton extra CO₂ reductie. De resultaten laten zien dat het baseline scenario (2.1) qua stijging van benodigde warmtebronnen en elektriciteit t.o.v. scenario 1 meevalt. Voor warmtebronnen geldt 26 PJ extra (gelijk aan scenario 1 - omdat is uitgegaan van een gelijk aantal warmtenetten¹³), en de extra elektriciteitsvraag groeit van 8,4 TWh naar 9,0 TWh.
 - Voor het 55% CO₂-reductie scenario zijn ook enkele varianten doorgerekend: Voor elektriciteit varieert de extra benodigde hoeveelheid tussen de 6,9 en 10,5 TWh. Hierbij hangt een lager elektriciteitsverbruik samen met de mate van groen gas bijmenging en de mate van energiebesparing richting 2030. Daarnaast leidt de ontwikkelingen van (Z)LT warmtebronnen/netten in plaats van MT bronnen en een

¹³ In lijn met de studie van Ecorys is voor alle scenario's als uitgangspunt gekozen dat het totale maximale aantal warmtenetten wordt benut.

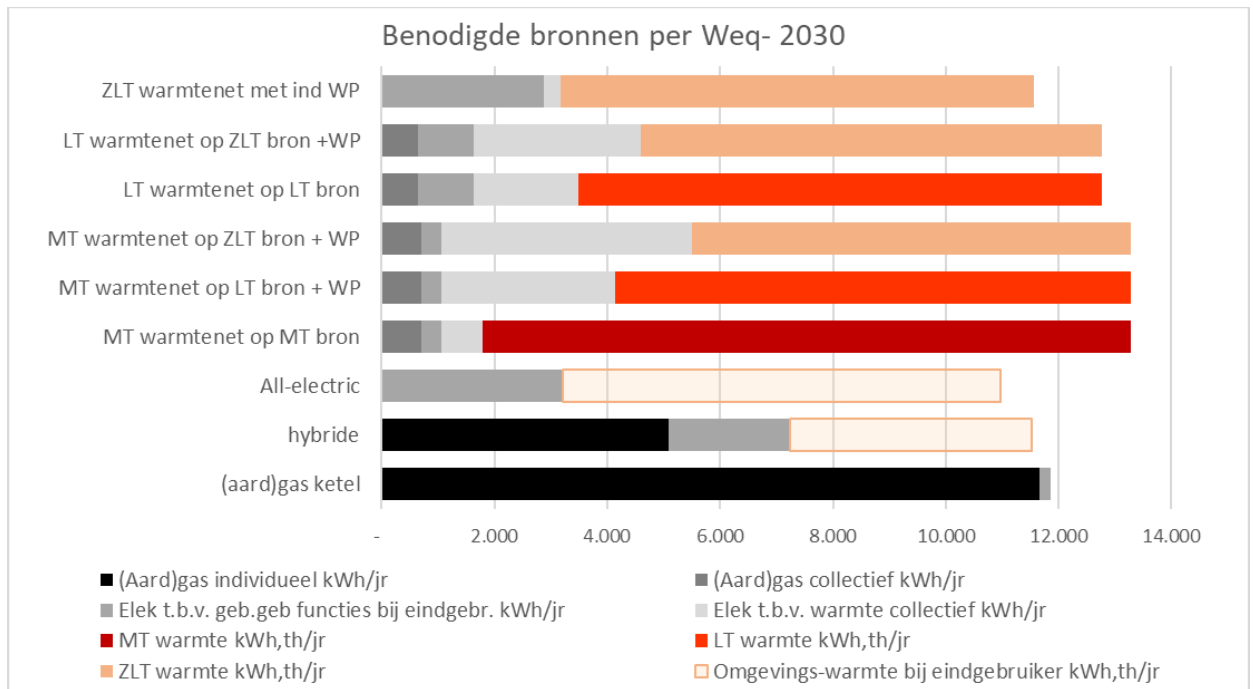
verhoogde inzet van de elektrische boiler juist tot stijging van het extra benodigde hoeveelheid elektriciteitsverbruik.

- Variant 2.2 en 2.3: Beide varianten variëren niet in het aantal warmtenet aansluitingen, maar wel in het type warmtebron/warmtenet (zie hoofdstuk 4). De resultaten laten zien dat er 9,8 – 10,5 TWh extra elektriciteit nodig is; dit is respectievelijk 0,8 en 1,5 TWh meer dan de baseline van scenario 2. De hoeveelheid extra benodigde warmtebronnen is 19-22 PJ, minder dan de baseline omdat in feite een deel van de warmte door de elektriciteit van de warmtepompen wordt geleverd. Het aandeel warmtebronnen komt lager uit dan de baseline 2.1. Dit heeft er mee te maken, dat wanneer (Z)LT warmtebronnen worden ingezet er meer elektriciteit nodig is om de benodigde temperatuur voor warmtelevering te voorzien.
- Variant 2.4: In deze situatie wordt 10% groen gas bijgemengd in het gasnetwerk. Hierdoor is bij hetzelfde doel van 55% het aantal benodigde all-electric en hybride warmtepomp aansluitingen lager, omdat ook in deze variant de aanname is dat het maximale aantal warmtenet aansluitingen (1,1 miljoen) wordt uitgevoerd. De resultaten laten zien dat er t.o.v. het referentiescenario 6,9 TWh extra elektriciteit en 26 PJ extra warmtebronnen nodig zijn. Dit valt voor elektriciteit fors lager uit dan scenario 1 en 2.1-2.3. **LET OP**: hier gaat het om een administratieve toewijzing van groen gas. Het model rekent groen gas mee door de gemiddelde CO₂ intensiteit van gas te verlagen.
- Variant 2.5 (Elektrische boiler): In de baseline (2.1) en overige varianten is er van uitgegaan dat 5% van de benodigde warmtelevering via warmtenetten wordt voorzien door de elektrische boiler. Deze variant kijkt naar de invloed op elektriciteit en warmtebronnen wanneer dit aandeel 15% zou zijn. De resultaten laten zien dat t.o.v. 2020 de extra elektriciteit 10,5 TWh en extra warmtebronnen 20 PJ is. De inzet van de elektrische boiler heeft t.o.v. scenario 2.1 relatief grote invloed op de benodigde inzet van elektriciteit (een stijging van 1,5 TWh)
- Variant 2.6 (energiebesparing): De invloed van energiebesparing op het totale extra benodigde hoeveelheid elektriciteitsverbruik is 8,2 t.o.v. de huidige situatie. Echter zorgt extra inzet van energiebesparing wel voor een lager elektriciteitsverbruik t.o.v. scenario 2.1 – baseline: Zo daalt het extra verbruik van 9,0 naar 8,2 TWh. Het aandeel warmtebronnen blijft gelijk, aangezien het aantal aansluitingen (incl. de benodigde isolatie) gelijk blijft t.o.v. de overige scenario's/varianten.

6. Gevoeligheidsanalyse

Invloed van keuze in bepaalde verduurzamingsstrategie: Het aantal aansluitingen per warmte-alternatief is bepalend voor het totaal benodigde hoeveelheid elektriciteitsverbruik en warmtebronnen. Figuur 10 geeft een overzicht van benodigde bronnen (in kWh/jaar/woningequivalent) per gekozen warmte-alternatief. De getoonde waarden zijn voor alle warmte-alternatieven gebaseerd op een netto warmtevraag van 30 GJ/woning voor ruimteverwarming en 7 GJ/woning voor tapwater. De kleuren in de staafdiagram laten zien wat er benodigd is om de gehele warmtevraag (ruimteverwarming en warm tapwater) in te vullen. Hieruit kunnen een aantal conclusies worden getrokken:

- De duurzaamheid van warmtelevering met een (aard)gasketel is sterk afhankelijk van hoe duurzaam het gas is. En dit heeft vervolgens ook invloed op de resterende CO₂ emissie die nog moet worden bereikt in 2030;
- Het onderlinge verschil tussen de type warmtebronnen/warmtenetten laten zien dat er een nauw verband is tussen de temperatuur van de warmtebron, de temperatuur in het net, de benodigde temperatuur bij de afnemer en het uiteindelijke elektriciteitsverbruik.
- Het benutten van MT warmtebronnen heeft de laagste impact op de benodigde elektriciteit; het opwaarderen van lagere temperatuur bronnen tot MT vraagt wel elektriciteit.
- Ook is zichtbaar dat vanuit het perspectief van elektriciteitsverbruik het gunstiger is om elke woning individueel aan te sluiten op een warmtepomp dan wanneer je heel het warmtenet collectief opwaardeert naar midden temperatuur, ook wanneer de warmtevraag gelijk is. Het lagere elektriciteitsgebruik bij all-electric komt doordat er geen verliezen in het net zijn en door de hogere COP. Om dit te bereiken moet de woning wel geschikt zijn voor LT afgifte (< 50°C). Hoe dit zich kostentechnisch verhoudt ligt buiten de scope van dit onderzoek.



Figuur 10: Benodigde bronnen (in kWh/jaar) per woning per strategie

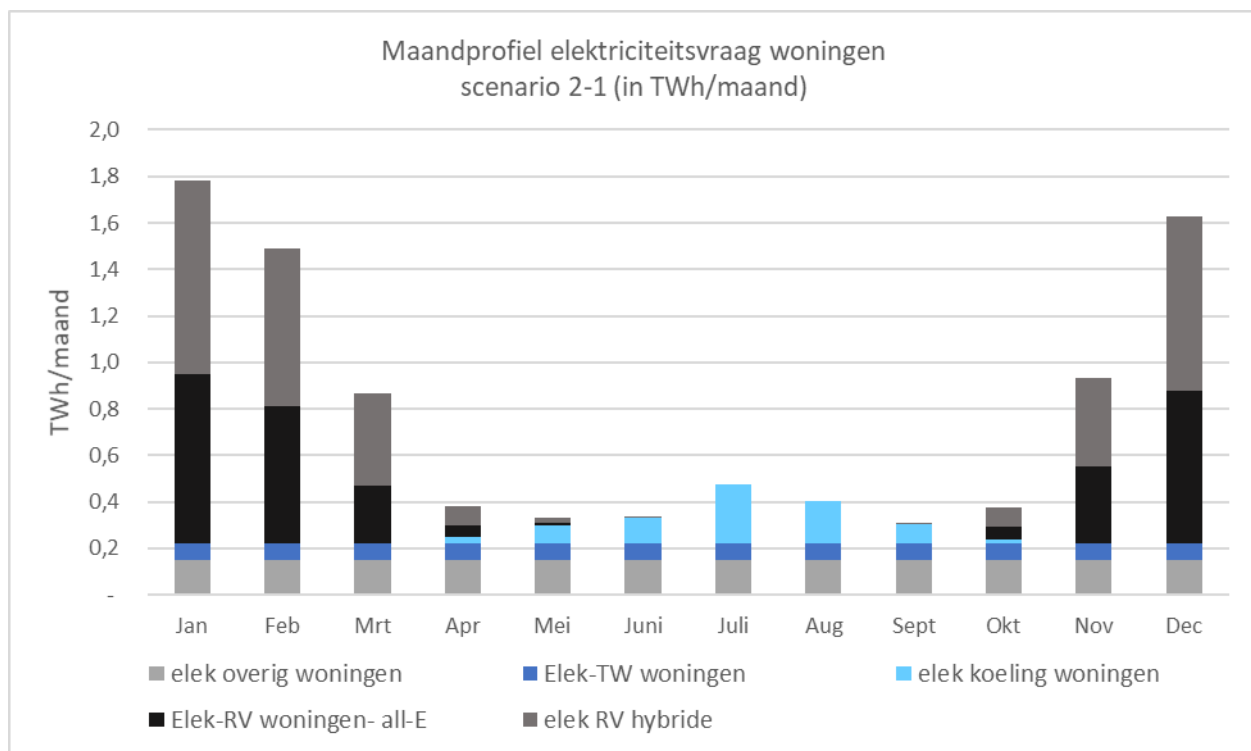
7. Pieklast elektriciteit

Het rekenmodel berekent de energiebehoefte op basis van jaartotalen en gemiddelde prestaties en kijkt niet naar pieklast en seizoenseffecten. Dit hoofdstuk zal kwalitatief in gaan op de relatie tot piekbelasting en is een maandprofiel voor de elektriciteitsvraag ingeschat.

Wat betreft piekbelasting kan een onderscheid worden gemaakt tussen een seizoens-onbalans en een piekbelasting op veel kleinere tijdschaal, zoals uren of minuten.

De seizoens-onbalans is van belang omdat de warmtevraag in de gebouwde omgeving per definitie met name in de winter plaatsvindt, terwijl de duurzame opwek door zonne-energie juist in de zomer gebeurt. Dit vereist oplossingen m.b.t. de afstemming tussen de beschikbare bronnen en de vraag, bijvoorbeeld via flexibele elektriciteitsopwekking of opslag (thermisch en of power-to-X).

Voor scenario 2-1 is in inschatting gemaakt van de elektriciteitsvraag per maand voor woningen, zie figuur 11. De elektriciteitsvraag voor warmte zit vooral in de wintermaanden. De gemiddelde elektriciteitsvraag voor woningen is ca. 0,7 TWh per maand, maar in de koudste maanden is die meer dan het dubbele.



Figuur 11: De elektriciteitsvraag per maand voor de warmte- en koude vraag van woningen.

- De piekbelasting op kleinere tijdschaal is van belang voor de capaciteit van de aansluiting in de woning en het net in de straat, wijk en groter. De pieklast zal met name veroorzaakt worden door lage COP's op koude dagen en eventuele elektrische bijstook die alleen in de

koudste dagen ingezet wordt. Bij hybride warmtepompen is er nooit elektrische bijstook en het elektrisch vermogen is lager dan bij de volledige warmtepomp. Het effect op de pieklast blijft daardoor beperkt.

- De capaciteit van het net is niet alleen een probleem van de warmtevraag voor de gebouwde omgeving, maar heeft ook te maken met elektrisch vervoer en PV op dak. Oplossingen hiervoor zijn 'demand side management' (bijv. de warmtepomp uitzetten als je elektrisch gaat koken) en 'opslag' (op verschillende schaalniveaus) en curtailing in het geval van PV panelen. Omdat er verschillende oplossingen zijn voor de warmtealternatieven, zoals het integreren van (thermische) opslag of het tijdelijk uitzetten van een warmtepomp, is het moeilijk een getal aan het piekvermogen te koppelen. Dat zou de oplossingsmogelijkheden tekort doen. Wel kunnen we verschillende aandachtspunten benoemen op dit punt.
- De seizoens-onbalans is moeilijker op te lossen met batterijen of demand side management.

Voor de warmtenetten is uitgegaan van een piek op aardgas of groengas en geen elektrische piekkel. De mate van pieklast is zeer bepalend voor de strategische keuzes in het energiesysteem. Het moment van gebruik wordt mogelijk bepalender dan de absolute hoeveelheid. Het voert te ver voor deze studie om dit verder uit te werken.

De koudevraag is vooral in de zomer, dus de elektriciteitsvraag voor koeling komt als er geen elektriciteitsvraag is voor ruimteverwarming. In de zomer is er lokaal veel aanbod van zonnestroom. De pieklast van koeling levert waarschijnlijk minder problemen dan de pieklast voor verwarmen. Als bewoners vooral 's nachts koelen kan dat wel een probleem opleveren, maar dag-nacht opslag is goed mogelijk in batterijen of door slim laden van auto's.

De verschillende scenario's en varianten geven niet veel verschil in de pieklast. Alleen de varianten met meer groengas zullen er beter uitkomen.

8. Discussie

Rekenmodel: Door de manier hoe het rekenmodel is opgebouwd, kunnen scenario's snel en transparant worden doorgerekend. Het rekenmodel projecteert op basis van huidige informatie (verwerkt in kengetallen) de toekomstige situatie. Er worden geen uitspraken gedaan over ontwikkelingen/leercurves van technieken. Het model rekent op basis van nationale gemiddelde kengetallen. Het model is gecheckt door verschillende partijen. In deze controle zijn enkele punten aan de orde gekomen die kleine afwijkingen lieten zien t.o.v. andere studies. Er is dan ook goede overeenstemming geweest over de nauwkeurigheid van dit model voor scenario's op landelijk gemiddeld niveau en jaarbasis. Andere modellen zijn gedetailleerder, maar zijn alleen te gebruiken door experts.

De resultaten geven aan met welke technische maatregelen voor de gebouwde omgeving in 2030 de doelen van 49% n 55% gehaald kunnen worden en welke bronnen hiervoor nodig zijn: De resultaten geven inzicht in de benodigde aantal aansluitingen voor warmtenetten, volledig elektrische warmtepompen en hybride warmtepompen i.c.m. (duurzaam) gas. Hierbij is niet gekeken naar hoe realistisch deze aantallen zijn. Dit ligt buiten de scope van de opdracht.

Onzekerheid van (Z)LT warmtenetten: Het is nog onzeker hoe groot het aandeel (Z)LT warmtenetten gaat zijn in de toekomst. Tegelijkertijd is wel zichtbaar dat steeds meer praktijk voorbeelden ontstaan waarbij wordt gekeken naar een (Z)LT warmtebron die aan een MT warmtenet levert. Hoewel hier minder warmte uit een warmtebron voor nodig is, vergt dit wel aanzienlijk meer elektriciteit.

Belangrijke aannames uit het rekenmodel die invloed hebben op de resultaten: In het rekenmodel is de aanname gemaakt om één gemiddelde warmtevraag per woning per type warmte-alternatief (in termen van GJ/jaar/woning) aan te nemen. Gezien de diversiteit in type woningen (en utiliteitsgebouwen) kan dit invloed hebben op de uitkomsten in termen van benodigde elektriciteitsvraag (in TWh) en warmtebronnen. In de studie is getracht om deze invoer zo goed mogelijk af te stemmen met de studies waar de oorspronkelijke scenario zijn verkend. Dit model doet geen uitspraken/berekeningen over de warmtevraag per woning of aansluitende isolatiegraden. Wel kan gesteld worden dat het om realistische isolatiegraden gaat. Ook is er voor de utiliteitsbouw een gelijke groei aangenomen, mogelijk is dit voor u-bouw aan de lage kant. Maar daar zou extra onderzoek voor nodig zijn.

Beperkte afname restemissie van 49% CO₂-reductie naar 55% CO₂-reductie: In deze studie is de aanname dat om tot 55% CO₂-reductie te komen in 2030, er t.o.v. het scenario voor 49% CO₂-reductie 0,4 Mton extra reductie nodig is. Het 55% scenario is gekozen op basis van het rapport 'Bestemming Parijs'¹⁴. Echter moet worden aangegeven dat hier nog politieke besluitvorming over moet plaatsvinden. De resultaten uit de studie laat zien dat er verschillende mogelijkheden zijn om het extra doel te halen, -afhankelijk van de gekozen verduurzamingsstrategie- waaronder ordegrrootte 180.000 extra all-electric aansluitingen of gemiddeld 35 m³/ jaar gasbesparing door alle woningen die nog op gas zijn aangesloten.

¹⁴ Eindrapportage studiegroep Invulling klimaatopgave Green Deal - o.l.v. Laura van Geest; opgave is 4 Mton additioneel op projectie KEV, 18,9 Mton, link: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/01/29/bestemming-parijs-wegwijzer-voor-klimaatkeuzes-2030-2050>

9. Conclusies

Deze studie geeft een antwoord op de vraag: Wat is t.o.v. 2020 de extra benodigde hoeveelheid warmtebronnen en elektriciteit voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving in 2030 om te komen tot 49% CO₂-reductie en 55% CO₂-reductie t.o.v. 1990?

Hiervoor is middels een transparant rekenmodel een kwantitatief onderzoek uitgevoerd waarin verschillende scenario's en varianten zijn doorgerekend waarmee de doelen van het klimaatakkoord en vanuit Europa (de exacte ophoging in Mton CO₂ vanuit Europa voor de gebouwde omgeving is nog geen politieke besluitvorming over geweest) gehaald worden. Dit model is door verschillende partijen gecheckt op inhoud en vergeleken met bestaande modellen (zoals de Startanalyse en Klimaat en Energieverkenning). De conclusie is dat het rekenmodel geschikt is om de output van gedetailleerde rekenmodellen op een transparante manier te vertalen naar de nodige beleidsopgave in termen van energieverbruik en CO₂ emissies. Door de vereenvoudigde methode op basis van gemiddelden kunnen varianten snel en transparant worden doorgerekend. Details op woning- of adresniveau zijn niet mogelijk, maar zijn voor dit doel ook niet nodig.

Uit de resultaten kan de extra elektriciteit en warmtebronnen behoefte in 2030 t.o.v. de situatie in 2020 volgens de KEV 2021 worden bepaald. Deze is per scenario als volgt:

- Scenario 1 (49% CO₂-reductie): 8,4 TWh (elektriciteit) en 26 PJ (warmtebronnen). Dit is nodig om doelen uit het huidige klimaatakkoord te bereiken. Voor dit scenario zijn geen varianten doorgerekend. Wanneer de varianten zoals voor scenario 2 op scenario 1 worden toegepast, zal ook een bandbreedte in benodigde bronnen te zien zijn.
- Scenario 2 (55% CO₂ reductie): heeft een bandbreedte van 6,9 en 10,5 TWh (elektriciteit) en voor warmte een bandbreedte van 19 en 26 PJ (warmtebronnen).
 - o Voor elektriciteit vraagt de baseline een extra benodigde hoeveelheid elektriciteitsverbruik van 9,0 TWh. De bandbreedte laat zien wat de inzet van groen gas, elektrische boiler, lagere temperatuur warmtebronnen voor warmtenetten en extra besparing van woningen en gebouwen doet op het totaal benodigde hoeveelheid elektriciteitsverbruik. Enkele conclusie die hieraan kunnen worden verbonden zijn:
 - Extra isolatie – zoals ook in het Coalitieakkoord is opgenomen – leidt tot minder elektriciteit of een lagere restemissie.
 - Wanneer wordt uitgegaan van 20% groen gas bijmenging (i.p.v. 10%) zal dit leiden tot minder vraag naar elektriciteit of kan het bijdragen aan een lagere restemissie in 2030 dan waar in deze studie mee is gerekend.
 - Een verhoogde inzet op lagere temperatuur warmtebronnen, en de elektrische boiler laten het elektriciteitsverbruik juist fors toenemen.
 - o Voor warmtebronnen geldt dat de hoeveelheid benodigde warmtebronnen sterk afhangt van welke temperatuur warmtebron wordt ingezet, en in hoeverre de elektrische boiler een rol krijgt in de levering van warmte.
- Als je de baseline scenario's 1 en 2 met elkaar vergelijkt is de conclusie dat de verhoging van 49% naar 55% leidt tot 0,6 TWh extra elektriciteit. Het aandeel warmtebronnen blijft

hierin gelijk, aangezien in deze studie is aangenomen dat ongeacht het scenario/variant het maximaal praktisch potentieel voor het aantal aansluitingen op een warmtenet volledig wordt benut.

Scenario's:	Referentie	Scenario 0	Scenario 1	Scenario 2.1 (14,9 Mton restemissie)+varianten (2.2 t/m 2.6						
	KEV 2021 voor 2020	KEV 2021 voor 2030	49% baseline	Baseline	Warmtenetten 30% ZLT	Warmtenetten 50% ZLT	10% groen gas bijmenging	Warmtenet 15% Eboiler	via besparing warmtevraag	
	[0-2020]	[0-2030]	[1]	[2.1]	[2.2]	[2.3]	[2.4]	[2.5]	[2.6]	
Aantallen woningaansluitingen (x miljoen woningen)										
# met aardgasketel	6,85	6,47	4,47	4,29	4,29	4,29	5,00	4,29	4,47	
# hybride	0,02	0,30	1,52	1,52	1,52	1,52	1,15	1,52	1,52	
# all-electric	0,21	0,74	1,11	1,29	1,29	1,29	0,95	1,29	1,11	
# MT warmtenet	0,42	0,69	1,1	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	
<i>Waarvan:</i>										
MT net met ZLT bron +WP	0%	0%	0%	0%	10%	20%	0%	0%	0%	
LT net met LT bron +WP	0%	0%	0%	0%	10%	15%	0%	0%	0%	
ZLT warmtenet met ind.WP	0%	0%	0%	0%	10%	15%	0%	0%	0%	
Extra benodigde bronnen t.o.v. 2020 (voor woningen + utiliteit, waarbij voor utiliteit dezelfde verdeling benodigde bronnen per PJ warmtevraag is aangenomen als voor woningen)										
extra (aard)gas	PJ/jr	0	-84	-156	-164	-164	-164	-136	-164	-164
extra elektriciteit	TWh/jr	0,0	3,6	8,4	9,0	9,8	10,5	6,9	10,5	8,2
extra MT warmte	PJ/jr	0	8	26	26	12	2	26	20	26
extra LT warmte	PJ/jr	0	0	0	0	4	6	0	0	0
extra ZLT warmte	PJ/jr	0	0	0	0	6	11	0	0	0
extra elektriciteit	PJ/jr	0	13	30	32	35	38	25	38	30

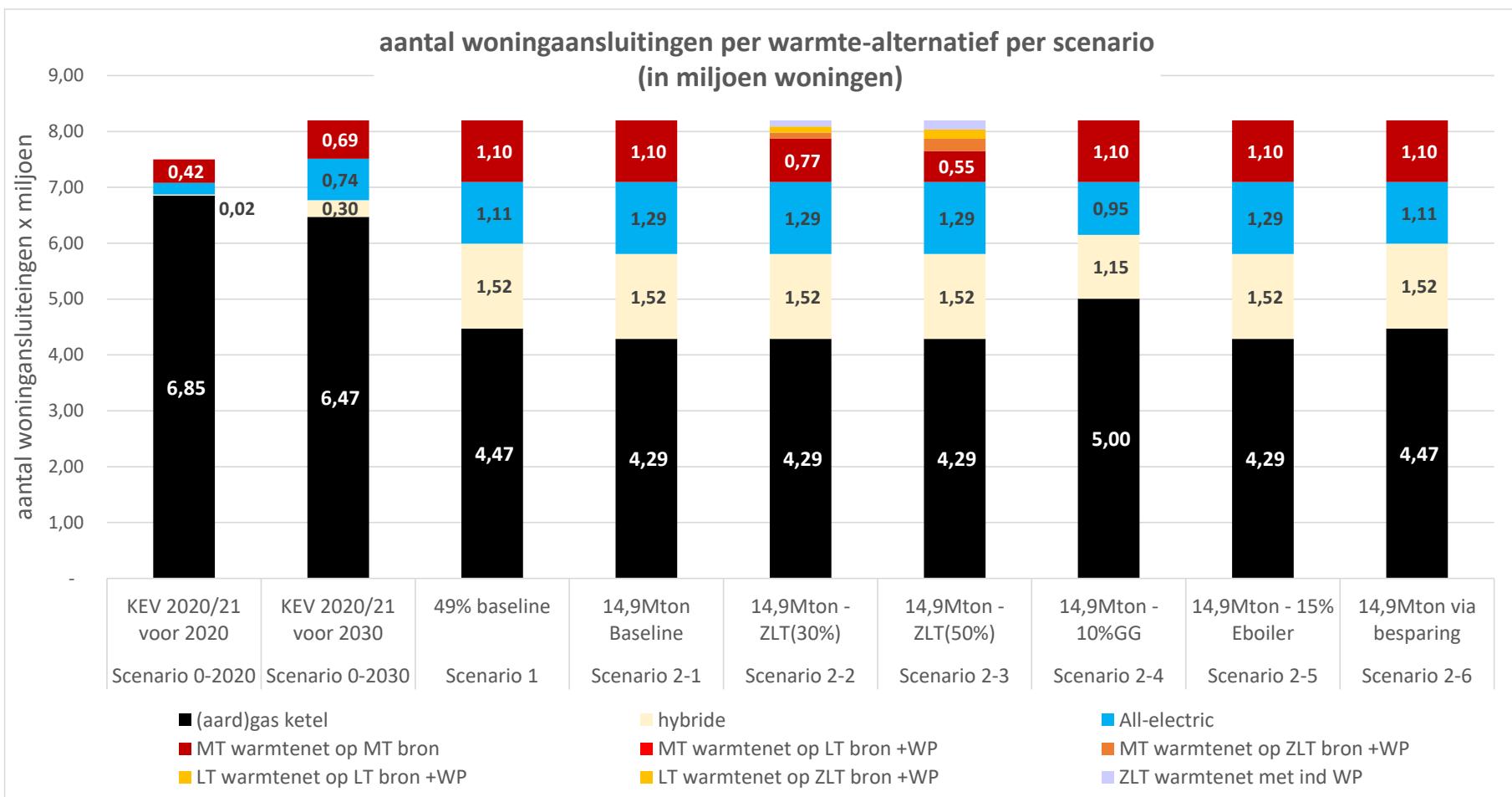
Tabel Samenvatting resultaten.

Het effect van de groei van koudevraag is meegenomen in de totale elektriciteitsvraag. De elektriciteitsvraag voor koeling in 2020 is 0,4 TWh, en neemt toe tot 1,0 TWh in 2030. De extra vraag voor koeling in 2030 is dus 0,6 TWh.

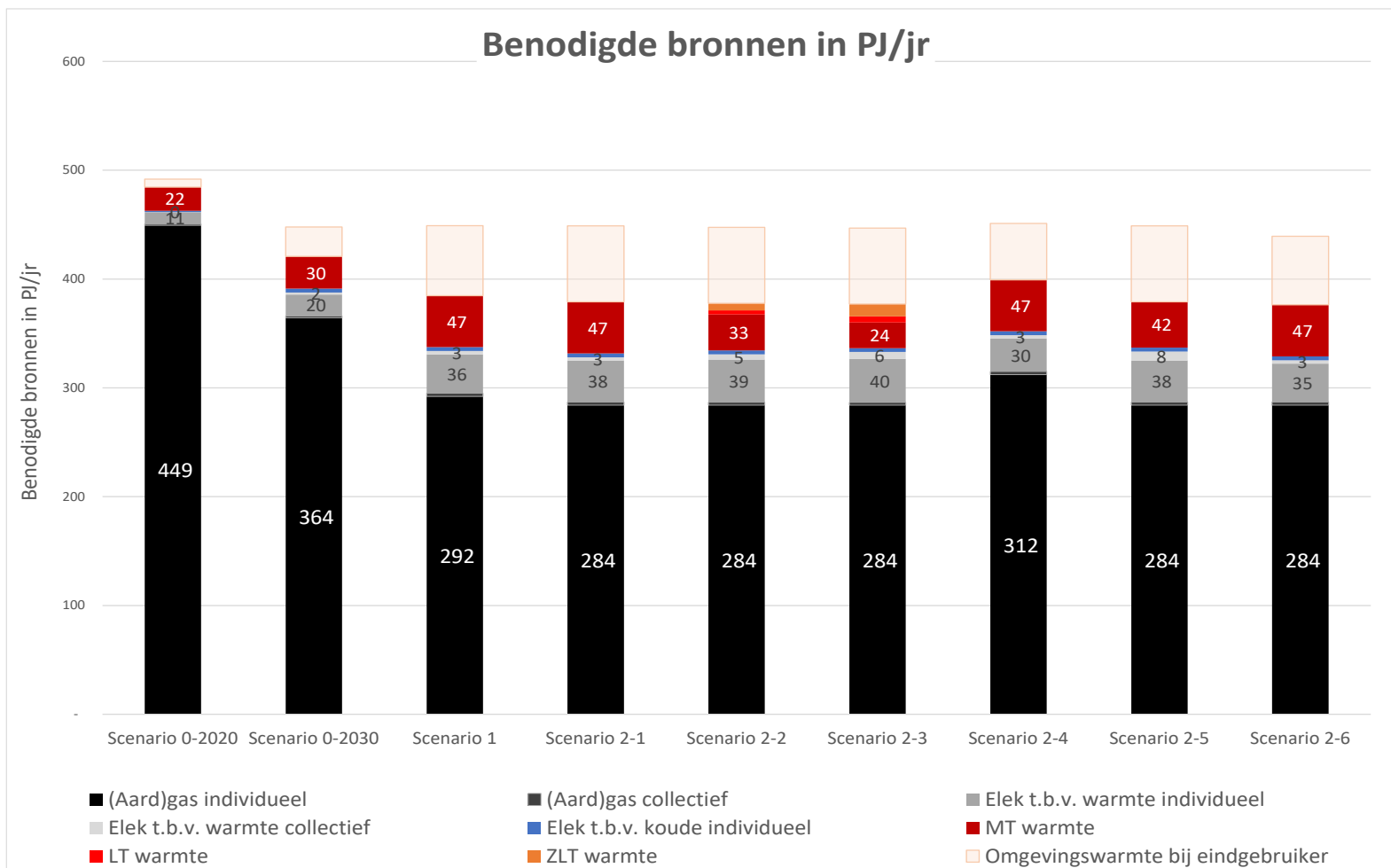
De tabel 'Samenvatting resultaten' geeft een volledig overzicht van de resultaten, waarbij ook de varianten zijn weergegeven. Uit het onderzoek is gebleken dat om de doelstellingen van 2030 voor zowel 49% als 55% CO₂ reductie te behalen, er flinke stappen nodig zijn in het realiseren van aantal aansluitingen voor all-electric, warmtenet, en hybride warmtepompen. Dit leidt tot ca 8 a 10 TWh extra benodigde elektriciteit. Binnen deze bandbreedte heeft met name de keuzes in het type warmtebron / warmtenet (bijvoorbeeld een (zeer)lage temperatuur in combinatie met een warmtepomp of midden temperatuur warmtenet) invloed op de benodigde hoeveelheid elektriciteit en warmtebronnen.

De studie is een scenario studie dat uitgaat van de mogelijke technische maatregelen en aantallen aansluitingen; er is niet gekeken naar wat voor beleid hiervoor nodig is of welke scenario's realistischer of wenselijker zijn.

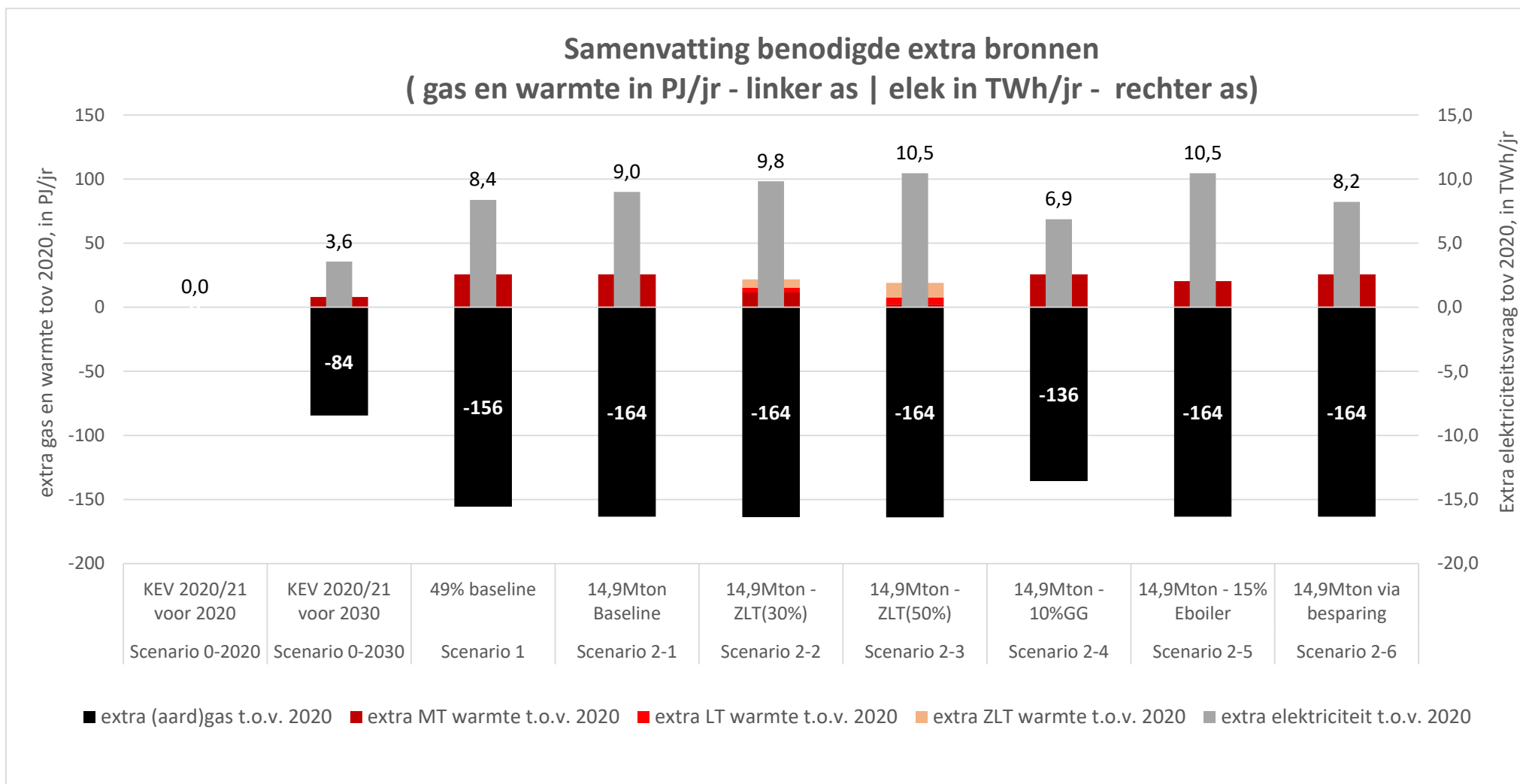
Bijlage A: Grafieken en tabellen met details per scenario



Figuur A: Overzicht van het aantal woningaansluitingen per warmte alternatief per gekozen scenario/variant.



Figuur B: Overzicht van de totaal benodigde bronnen (dus niet 'extra' t.o.v. het referentiescenario).



Figuur C: Overzicht van de benodigde extra bronnen t.o.v. het referentiescenario.

Plaats & Datum:

Den Haag, 2021

24 december 2021

Contact:

Sabine Jansen - sabine.jansen@minbzk.nl

Jaap de Keijzer - j.l.dekeijzer@minezk.nl

Auteurs:

Sabine Jansen - ministerie van BZK

Jaap de Keijzer - ministerie van EZK

Lex Bosselaar - RVO

Met ondersteuning van:

Ecorys

De WarmteTransitieMakers
