



CO₂-effecten van de Transitievisie Warmte

Gemeente Amsterdam



Committed to the Environment

CO₂-effecten van de Transitievisie Warmte

Gemeente Amsterdam

Dit rapport is geschreven door:
Jasper Schilling, Fenneke van de Poll, Pien van Berkel

Delft, CE Delft, juni 2020

Publicatienummer: 20.200154.074

Energievoorziening / Warmte / Stedelijke omgeving / Gemeenten / Beleid / Kooldioxide / Effecten

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Jasper Schilling](#) (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	7
	1.1 Aanleiding	7
	1.2 Leeswijzer	7
2	Bevindingen	8
	2.1 Effecten op de energievraag van de stad	9
	2.2 CO ₂ -effecten	11
	2.3 Discussie	14
3	Methode	15
	3.1 Verschillende typen buurten	15
	3.2 Functionele warmtevraag	15
	3.3 Nieuwbouw	19
	3.4 CO ₂ -emissiefactoren	20
	Bibliografie	23



Samenvatting

De gemeente Amsterdam heeft CE Delft gevraagd om aanvullend op de doorrekeningen van de Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal (CE Delft, 2020a; 2020b) ook de CO₂-effecten van het volgens plan uitvoeren van de Transitievisie Warmte (Gemeente Amsterdam, 2020b) uit te rekenen. De gemeente Amsterdam heeft de ambitie om in 2040 een aardgasvrije warmtevoorziening te hebben voor de gebouwde omgeving (woningen en utiliteitsgebouwen). De Transitievisie Warmte (TVW) geeft voor alle Amsterdamse buurten aan op welke termijn deze op een alternatieve manier van verwarmen overstappen.

Aanpak

In de berekeningen hebben we zo goed mogelijk de aannames gevolgd zoals gehanteerd in de TVW. We hebben grofweg vier stappen genomen om de CO₂-effecten van de toekomstige warmtevoorziening te bepalen:

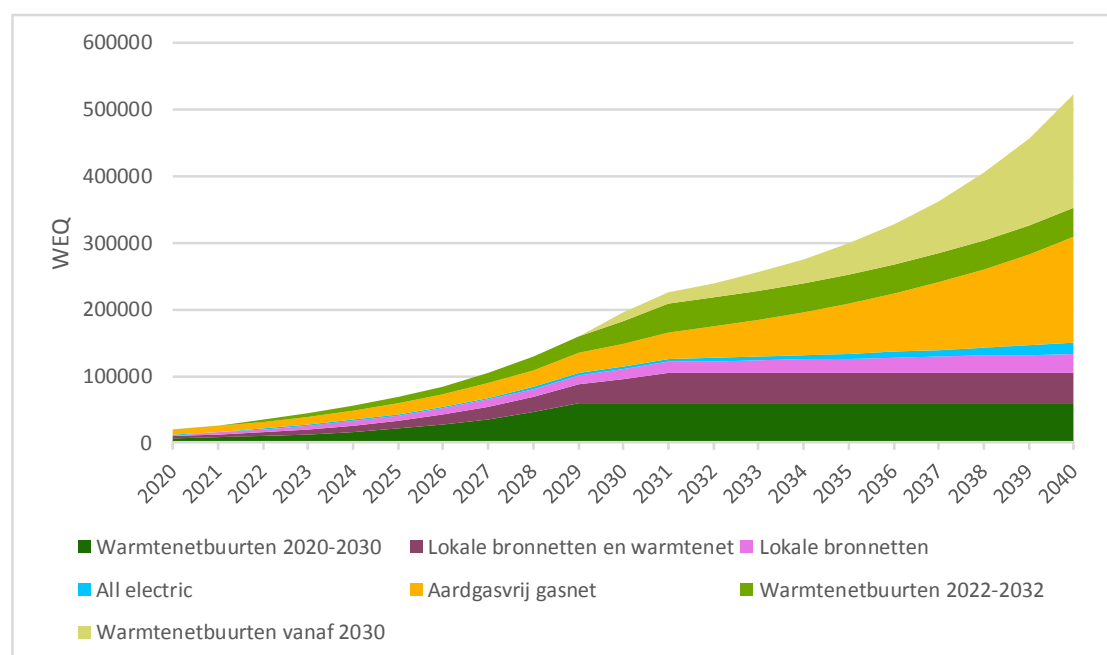
- 1. Bepalen van de huidige functionele warmtevraag**
We hebben gerekend met de zogenaamde functionele warmtevraag. Dit is de totale hoeveelheid energie (in de vorm van warmte of elektriciteit) die nodig is voor de warmtevoorziening. De functionele warmtevraag bestaat uit energie voor ruimteverwarming, warm tapwater, eventuele koudevraag, ventilatie, apparatuur en hulp-energie. Ook de energie die nodig is voor de piekvoorziening van het warmtenet is onderdeel van de functionele warmtevraag.
- 2. Bepalen van de toekomstige functionele warmtevraag**
We hebben de toekomstige totale energievraag van de warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving berekend met behulp van gegevens over de verwachte groei van de stad (nieuwbouw van woningen en utiliteitsgebouwen) en besparing door middel van isolatie.
- 3. Vertalen warmtevraag naar vraag naar energiedragers**
Iedere warmteoplossing uit de TVW zorgt voor een andere vraag naar warmte uit een warmtenet, gas en elektriciteit. Per warmteoplossing hebben we bepaald wat de huidige en toekomstige vraag is naar deze energiedragers.
- 4. Vertalen van toekomstige vraag naar energiedragers naar CO₂-uitstoot**
Tot slot hebben we de vraag naar energiedragers omgerekend in CO₂-uitstoot door deze vraag te vermenigvuldigen met de (toekomstige) CO₂-emissiefactor van de betreffende energiedrager.

Bevindingen

Figuur 1 laat zien dat volgens de TVW in 2040 het grootste gedeelte van de huidige gebouwen in Amsterdam met een aardgasaansluiting aangesloten zal zijn op een warmtenet. Daarnaast zal een groot deel van de gebouwen worden aangesloten op een gasnet dat in de toekomst met een steeds groter aandeel groengas gevoed zal worden.



Figuur 1 - Tijdspad naar aardgasvrij in 2040 voor de bestaande bouw met een aansluiting op het aardgasnetwerk in woningequivalenten (WEQ) per warmteoptie

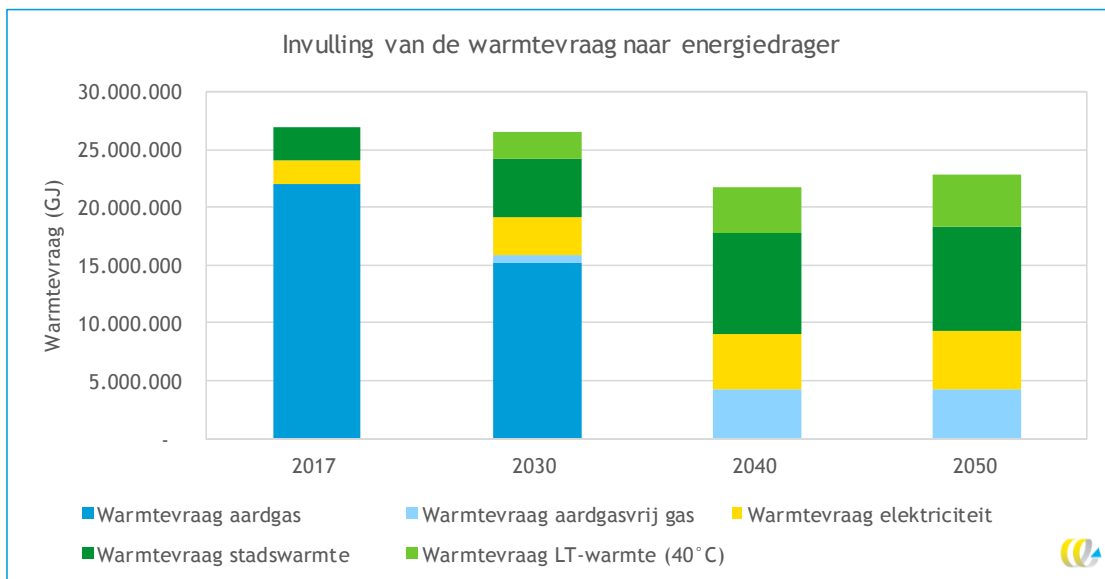


Bron: Over Morgen.

Figuur 2 geeft de (toekomstige) warmtevraag van de gebouwde omgeving in Amsterdam weer. Doordat in deze figuur rekening is gehouden met groei van de stad, is de totale warmtevraag in 2050 hoger dan in 2040. De figuur laat zien dat in 2040 en 2050 niet langer gebruik wordt gemaakt van aardgas voor de warmtevraag. In plaats daarvan worden warmtenetten de belangrijkste leveranciers van warmte¹.

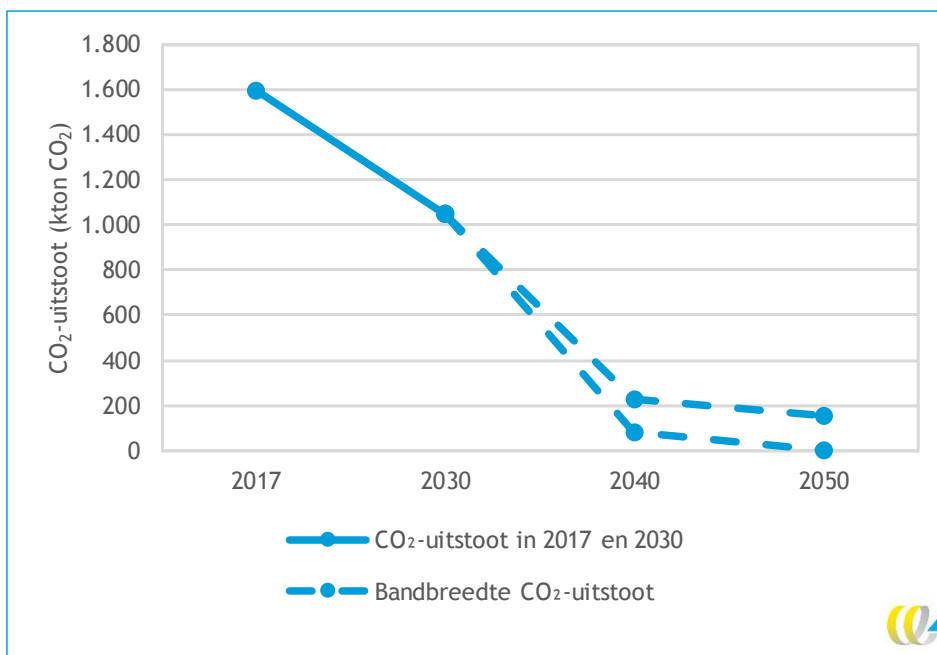
¹ Voor woningen en gebouwen die reeds op een warmtenet zijn aangesloten wordt aangenomen dat het temperatuurniveau zal dalen tot een MT-niveau (70°C). In de grafieken in deze rapportage zijn deze dan ook meegenomen in de categorie 'stadswarmtenet'. De vraag naar laagtemperatuurwarmte (40°C) zijn separaat weergegeven.

Figuur 2 - Invulling van de warmtevraag naar energiedrager, bestaande bouw en nieuwbouw



Tot slot hebben we de vraag naar energiedragers vertaald naar CO₂-uitstoot door gebruik te maken van CO₂-emissiefactoren. Figuur 3 geeft de CO₂-uitstoot van de warmtevoorziening voor de Amsterdamse gebouwde omgeving weer. Op basis van drie scenario's voor het verduurzamen van het stadswarmtenet hebben we een bandbreedte van de CO₂-effecten opgesteld. Hierdoor wordt duidelijk wat het effect zou zijn van een stadswarmtenet gevoed met de warmtebron met de laagste CO₂-emissiefactor (geothermie), alsook het effect van het niet verder verduurzamen van het huidige stadswarmtenet na 2030.

Figuur 3 - Totale CO₂-uitstoot van de warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving. Vanaf 2030 geven we een bandbreedte van de CO₂-uitstoot weer op basis van de mogelijke verduurzaming van het warmtenet



Als de TVW volgens plan uitgevoerd wordt, is de CO₂-besparing in 2030 ten opzichte van 2017 35%. In 2040 is de CO₂-besparing ten opzichte van 2017 85-95%, en in 2050 zal de uitstoot 90-100% lager liggen dan in 2017.

Discussie

Deze studie kijkt enkel naar de CO₂-effecten van het volgens plan uitvoeren van de TVW. In onze berekeningen blijven wij dan ook zo dicht mogelijk bij de aannames zoals gehanteerd in de TVW. Deze studie kijkt niet naar de haalbaarheid van de TVW, en kan ook niet worden gebruikt om conclusies te trekken over welke warmtetechnieken voor Amsterdam het beste ingezet kunnen worden.

Wel komt uit de berekeningen naar voren welke aspecten het meest van impact zijn op de CO₂-emissies. De meest belangrijke factor hierin is het tempo waarin gebouwen de isolerende maatregelen toepassen en op een alternatieve warmtetechniek overstappen. Hiernaast is de verduurzaming van energiedragers van invloed op de toekomstige CO₂-uitstoot.

Figuur 3 laat zien dat de daadwerkelijke CO₂-besparing mede afhankelijk is van de verduurzaming van het huidige stadswarmtenet. Tevens is het nog niet bekend of de in de Klimaatwet afgesproken doelstelling van CO₂-neutrale elektriciteitsvoorziening in 2050 ook daadwerkelijk gehaald wordt. In deze studie is hier wel van uitgegaan. Ook buurten die overstappen op een 'aardgasvrij gasnet' zullen niet meteen 100% aardgasvrij zijn. Het aandeel duurzaam gas in het aardgasnet zal geleidelijk toenemen. In de situatie dat het aardgasnet tot 2050 in deze buurten helemaal niet verduurzaamd zal worden, zal de CO₂-reductie in 2030, 2040 en 2050 ten opzichte van 2017 respectievelijk maximaal 33%, 70-80% en 75-85% bedragen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

CE Delft heeft de CO₂-effecten van de Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal door-gerekend voor zowel 2025 als 2030 (CE Delft, 2020a; 2020b). In deze berekeningen is de Transitievisie Warmte (TVW) nog niet in detail opgenomen omdat deze nog niet beschikbaar was bij het uitvoeren van de genoemde onderzoeken.

De gemeente Amsterdam heeft CE Delft gevraagd om aanvullend op de doorrekeningen van de Routekaart ook de CO₂-effecten van de TVW uit te rekenen. De gemeente Amsterdam heeft de ambitie om in 2040 een volledig aardgasvrije warmtevoorziening te hebben voor de gebouwde omgeving (woningen en utiliteitsgebouwen). De TVW geeft voor alle Amsterdamse buurten aan op welke termijn deze op een alternatieve manier van verwarmen overstappen. In deze studie presenteren wij een doorrekening van de CO₂-effecten van het volgens plan uitvoeren van de TVW.

Scope

Deze studie kijkt enkel naar de CO₂-effecten van het volgens plan uitvoeren van de TVW. In onze berekeningen blijven wij dan ook zo dicht mogelijk bij de aannames zoals gehanteerd in de TVW. Deze studie kijkt niet naar de haalbaarheid van de TVW, en kan ook niet worden gebruikt om conclusies te trekken over welke warmtetechnieken voor Amsterdam het beste ingezet kunnen worden. Wel komt uit de berekeningen naar voren welke aspecten het meest van impact zijn op de CO₂-emissies van de warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving.

Gas wordt naast het gebruik voor ruimteverwarming en warm tapwater ook ingezet voor koken. Deze vraag naar kookgas is slechts 2% van de totale gasvraag (PBL, 2018). Omdat de onzekerheidsmarge van deze doorrekening groter is dan dat, is de vraag naar energie voor koken buiten beschouwing gelaten.

1.2 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 presenteren wij onze bevindingen: welke CO₂-besparing wordt gerealiseerd met het aardgasvrij maken van de Amsterdamse buurten? We gaan in op de CO₂-besparing in de jaren 2030, 2040 en 2050.

In Hoofdstuk 3 van dit rapport gaan wij in op de methode. We geven aan op welke gegevens onze berekeningen zijn gebaseerd en welke aannames we hebben gedaan.

2 Bevindingen

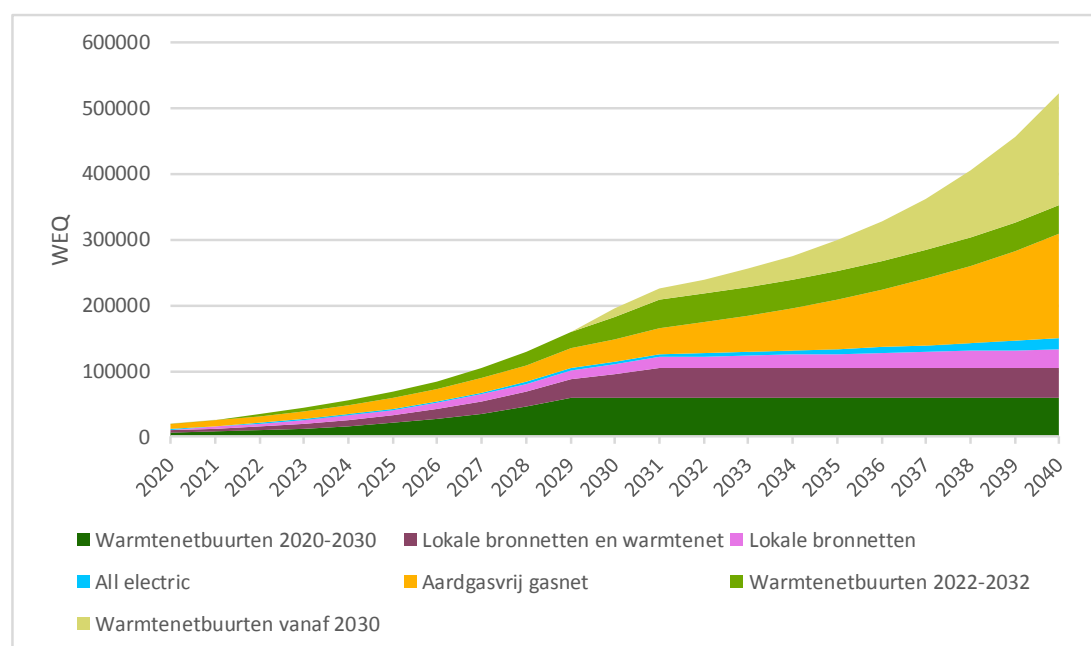
In dit hoofdstuk presenteren wij de resultaten van de doorrekening van de Transitievisie Warmte (TVW) van de gemeente Amsterdam. In deze studie kijken we naar de effecten van de TVW op de CO₂-emissies van de warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving voor een drietal tussenjaren: 2030, 2040 en 2050. Dit laatste jaar is toegevoegd, omdat in dat jaar ook de emissies van elektriciteit naar verwachting CO₂-neutraal zijn (PBL, 2019). In dit hoofdstuk schetsen wij eerst het tijdspad dat in de TVW wordt verondersteld, vervolgens wat dit betekent voor de energievraag van de stad, en tot slot hoe deze gewijzigde energievraag leidt tot een reductie in de CO₂-uitstoot.

Als we het hebben over energie die nodig is voor de warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving, bedoelen we de totale energievraag (hierna: functionele warmtevraag). De functionele warmtevraag bestaat uit alle energie (in de vorm van warmte of elektriciteit) die nodig is voor ruimteverwarming, warm tapwater, eventuele koudevraag, ventilatie, apparatuur en hulpenergie. Ook de energie die nodig is voor de piekvoorziening van het warmtenet is onderdeel van de functionele warmtevraag. De gasvraag voor koken is slechts 2% van de totale gasvraag, en is om deze reden niet meegenomen in deze berekeningen.

Tijdspad

De TVW gaat uit van een aardgasvrij Amsterdam in 2040. Alle bestaande gebouwen zijn dan van het aardgasnet afgesloten (zie Figuur 4). In de figuur is nog geen rekening gehouden met de verwachte groei van de stad.

Figuur 4 - Tijdspad naar aardgasvrij in 2040 voor de bestaande bouw met een aansluiting op het aardgasnetwerk in woningequivalenten (WEQ²) per warmteoptie



Bron: Over Morgen.

Groei van de stad

Amsterdam groeit. Zowel het aantal woningen als het aantal kantoren neemt de komende jaren naar verwachting nog fors toe. De TVW zegt over nieuwbouw dat hiervan 70% op een laagtemperatuurwarmtenet zal worden aangesloten, 10% op een warmtenet van 70 °C, 10% op een lokaal bronnet, en 10% all-electric zal worden. Deze aannames verschillen van de aannames die zijn gedaan in de doorrekeningen van de Routekaart Amsterdam Klimaat-neutraal (CE Delft, 2020a; 2020b). Om deze reden hebben we de groei van de stad opnieuw doorgerekend, ditmaal gebruikmakend van de aannames in de TVW.

2.1 Effecten op de energievraag van de stad

In totaal heeft Amsterdam 650.000 woningequivalenten (WEQ). Daarvan zijn er al zo'n 100.000 WEQ aangesloten op het warmtenet (Gemeente Amsterdam, 2020b). Voor de overige 550.000 WEQ wordt in de TVW per buurt aangegeven op welke warmtetechniek deze gebouwen overgaan, bijvoorbeeld een warmtenet of een warmtepomp (all-electric). De overgang naar deze nieuwe warmtetechnieken leidt tot een andere vraag naar energiedragers. De vraag naar aardgas neemt af en wordt vervangen door verschillende andere energiedragers (zie Tabel 1). Zo is er bij een warmtenet ook elektriciteit nodig voor het rondpompen van water en het bijhouden van temperatuur, druk, etc. Een nadere toelichting waarvoor deze energiedragers per warmtetechniek worden ingezet, is opgenomen in Tabel 3 in Hoofdstuk 3.

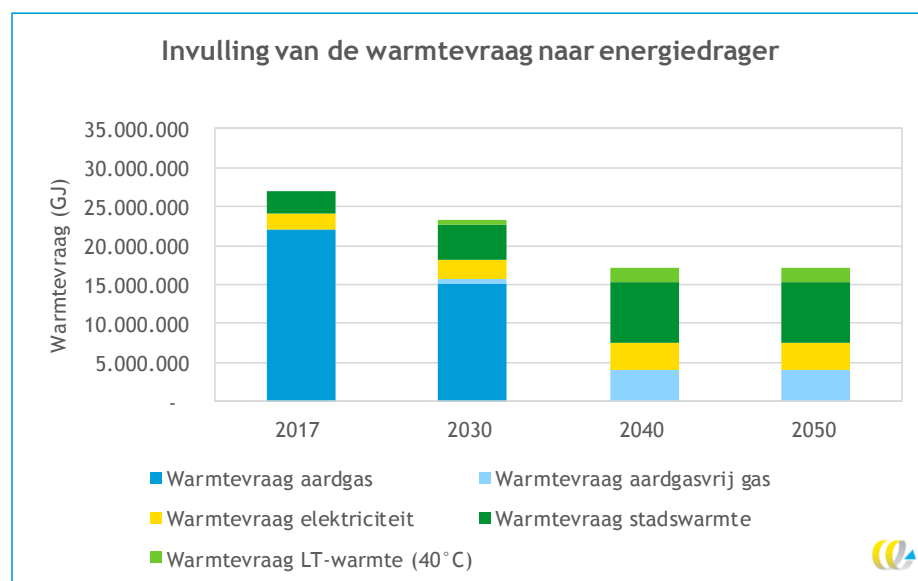
² Woningequivalent: de hoeveelheid warmte-energie die nodig is om een gemiddelde woning in Amsterdam van ruimteverwarming en warm water te voorzien. In de TVW is voor utiliteitsbouw 1 WEQ gelijkgesteld aan 80 m² bruto vloeroppervlakte (BVO).

Tabel 1 - Overzicht inzet energie per warmtetechniek

Warmteoptie	Techniek	Inzet elektriciteit	Inzet (stads)warmte	Inzet aardgas/aardgasvrij gas
Huidige situatie aardgas	Hr-ketel			
All-electric	Warmtepomp			
Warmtenetbuurt	Stadswarmtenet (MT ³)		MT-warmte	
Lokale bronnetten	Warmtenet LT ⁴		LT-warmte	
Aardgasvrij gasnet	Hybride warmtepomp			

Woningen en andere gebouwen stappen niet alleen over op een andere warmtetechniek, maar worden ook geïsoleerd. Hierdoor neemt de totale warmtevraag af: ten opzichte van 2017 met circa 15% in 2030, en circa 40% in 2040. Figuur 5 laat zien dat na 2040 is aangenomen dat de warmtevraag van de bestaande bouw constant blijft, omdat de warmtetransitie dan voltooid is. Voor gebouwen die reeds op het stadswarmtenet zijn aangesloten wordt aangenomen dat deze in hetzelfde ritme worden verduurzaamd als gebouwen die nieuw op dit warmtenet worden aangesloten: ook deze gebouwen worden geïsoleerd tot het hoge isolatieniveau, en het temperatuurniveau van het stadswarmtenet zal dalen tot een MT-niveau (70°C). In volgende grafieken zijn deze dan ook meegenomen in de categorie 'stadswarmte'.

Figuur 5 - Invulling van de warmtevraag naar energiedrager, enkel bestaande bouw

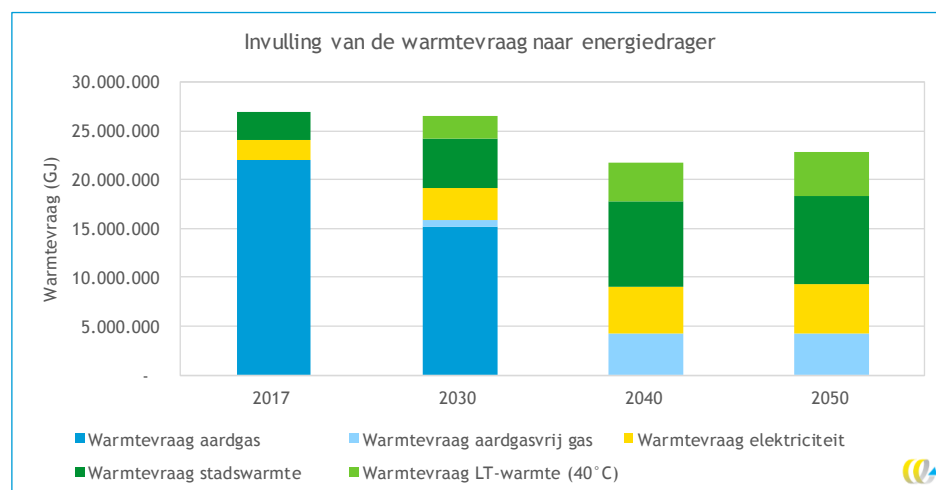


³ Middentemperatuurverwarming is een verwarmingssysteem waarbij een gebouw met een temperatuur van 55 tot 70°C wordt verwarmd en voorzien van warm tapwater (Gemeente Amsterdam, 2020b).

⁴ Lagetemperatuurverwarming is een verwarmingssysteem waarbij een gebouw met een temperatuur van 55°C of lager verwarmd wordt. Tapwater wordt separaat verwarmd (Gemeente Amsterdam, 2020b).

Amsterdam groeit. Als we de groei van het aantal woningen en utiliteitsgebouwen toevoegen aan de warmtevraag van de bestaande gebouwde omgeving, zien we dat de totale vraag naar energie in Amsterdam tot 2040 afneemt. Door de verwachte groei van de stad is de totale warmtevraag in 2050 hoger dan de warmtevraag in 2040. De warmtevraag in 2040 en 2050 wordt gedomineerd door de vraag naar warmte uit warmtenetten (zie Figuur 6).

Figuur 6 - Invulling van de warmtevraag naar energiedrager, bestaande bouw en nieuwbouw



NB: Aard(gasvrij)gas wordt niet enkel gebruikt in gebouwen met een hr-ketel, maar bijvoorbeeld ook als piekvoorziening voor een warmtenet. Op dezelfde manier wordt elektriciteit niet enkel gebruikt bij de all-electric warmteoptie, maar hebben warmtenetten en hr-ketels ook elektriciteit nodig om te functioneren (zie ook Tabel 1).

2.2 CO₂-effecten

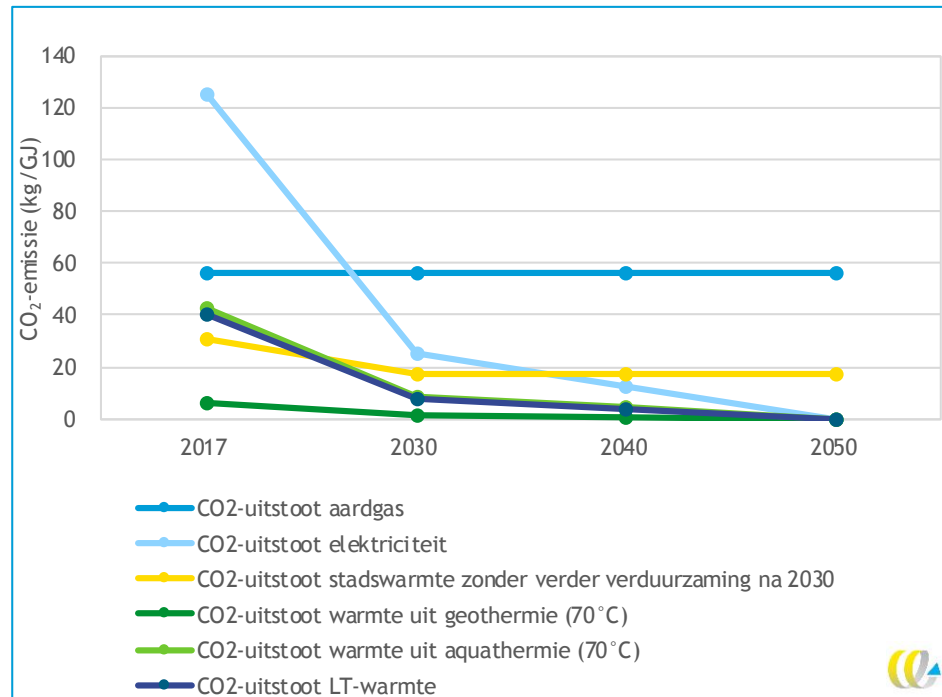
Elke energiedrager heeft een andere CO₂-emissie. De CO₂-emissiefactor van aardgas blijft constant, maar de emissiefactor van elektriciteit neemt af over de tijd. Ook de warmte geleverd in Amsterdam via het stadswarmtenet zal verduurzamen. Voor de emissies van dit stadswarmtenet in het jaar 2030 heeft CE Delft al aannames gedaan (CE Delft, 2020a). Hoe deze verduurzaming zich na 2030 gaat doorzetten is echter nog onbekend. Om deze reden schetsen wij in deze studie drie scenario's voor het verduurzamen van het stadswarmtenet, met als doel een bandbreedte van CO₂-effecten op te stellen:

1. De stadswarmtenetten worden na 2030 niet verder verduurzaamd: de CO₂-uitstoot van de warmte is in 2040 en 2050 gelijk aan de uitstoot in 2030.
2. De stadswarmtenetten worden in de toekomst enkel gevoed met geothermie.
3. De stadswarmtenetten worden in de toekomst enkel gevoed met aquathermie dat met een collectieve warmtepomp opgewaardeerd wordt naar 70°C.

We hebben deze scenario's opgesteld om een bandbreedte van CO₂-effecten weer te kunnen geven. Deze zijn dus niet opgesteld met de intentie realistische scenario's te zijn. De scenario's zijn daarmee expliciet geen keuzeoptie: uiteindelijk zal het stadswarmtenet worden gevoed door een mix van deze, en mogelijk nog andere, bronnen.

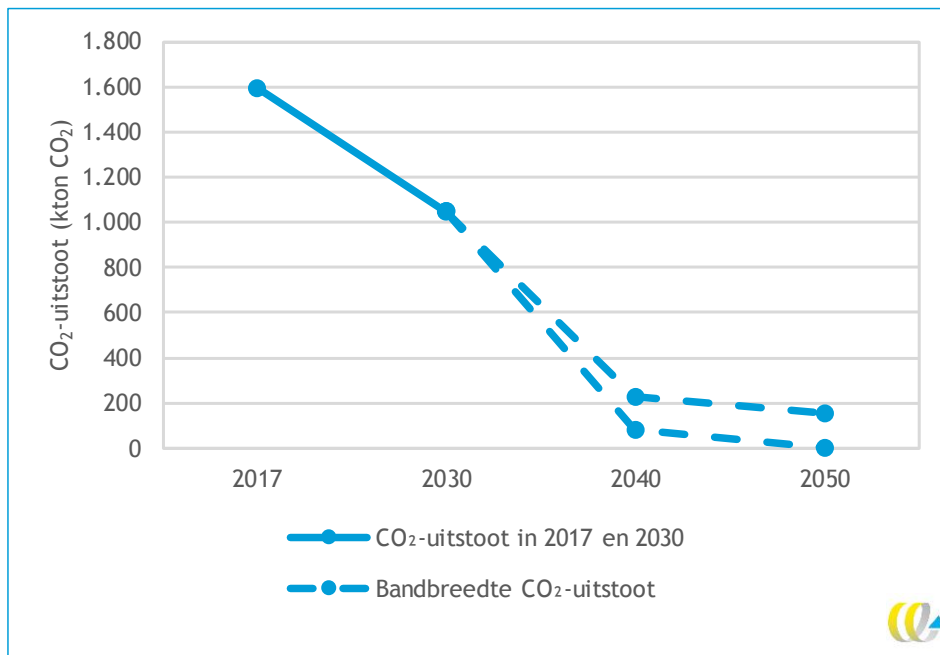
Figuur 7 laat zien hoe de CO₂-emissies van de verschillende energiedragers zich naar verwachting over de tijd ontwikkelen.

Figuur 7 - Verwachte ontwikkeling CO₂-emissiefactoren van de verschillende energiedragers



Figuur 8 laat de CO₂-uitstoot van de warmtevoorziening voor de gehele gebouwde omgeving in Amsterdam zien voor de jaren 2017, 2030, 2040 en 2050. Wanneer de plannen uit de TVW worden uitgevoerd, zal de CO₂-uitstoot van de warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving snel dalen. In 2030 is de emissie in alle scenario's met 35% gedaald ten opzichte van 2017. De CO₂-besparing ten opzichte van 2017 is 85-95% in 2040 en 90-100% in 2050.

Figuur 8 - Totale CO₂-uitstoot van de warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving in Amsterdam⁵. Vanaf 2030 geven we een bandbreedte van de CO₂-uitstoot weer op basis van de mogelijke verduurzaming van het warmtenet



Tabel 2 geeft in meer detail het effect van de verschillende warmtenetscenario's weer die zijn gebruikt voor het bepalen van de bandbreedte in Figuur 8. In het scenario met gebruik van geothermie zijn de emissies in 2040 het laagst (95% besparing ten opzichte van 2017). Voor een stadswarmtenet van 70°C op basis van aquathermie is meer elektriciteit nodig, die in 2040 nog niet CO₂-neutraal is. In 2050 is dit naar verwachting echter wel het geval. In 2050 zijn er enkel in het scenario zonder verdere verduurzaming van het stadswarmtenet nog emissies. Zoals eerder gesteld zijn deze scenario's geen keuzeopties. Uiteindelijk zal het stadswarmtenet worden gevoed door een mix van deze, en mogelijk nog andere, bronnen.

⁵ Onze berekeningen laten zien dat de CO₂-uitstoot van de warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving in 2017 zo'n 1.590 kton is. Dit wijkt af van de CO₂-uitstoot van de gebouwde omgeving die gehanteerd is in de doorrekening van de Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal, namelijk 1.250 kton (CE Delft, 2020a). Het verschil kan verklaard worden doordat we in de huidige berekeningen ook het elektriciteitsverbruik van de warmtevoorziening hebben meegerekend. De CO₂-uitstoot van het elektriciteitsverbruik wordt in de doorrekening van de Routekaart apart meegenomen bij het transitiepad Elektriciteit. Daarnaast kunnen kleine verschillen zijn ontstaan door gebruik van andere databronnen. Zo zijn wij voor de warmtevraag van de woningen uitgegaan van de gegevens die Over Morgen heeft gehanteerd in de berekeningen van de TVW.

Tabel 2 - Reductie in de CO₂-uitstoot ten opzichte van de uitstoot in 2017 in de verschillende scenario's

	CO ₂ -uitstoot t.o.v. 2017		
	2030	2040	2050
Scenario zonder verdere verduurzaming na 2030	35%	85%	90%
Scenario warmte uit geothermie (70 °C)	35%	95%	100%
Scenario warmte uit aquathermie (70 °C)	35%	93%	100%

2.3 Discussie

Uit de berekeningen komt naar voren welke aspecten het meest van impact zijn op de CO₂-emissies. De meest belangrijke factor hierin is het tempo waarin gebouwen de isolerende maatregelen toepassen en op een alternatieve warmtetechniek overstappen. Hiernaast is de verduurzaming van energiedragers van invloed op de toekomstige CO₂-uitstoot.

De bandbreedte in laat zien wat het effect is van een stadswarmtenet op de warmtebron met de laagste CO₂-uitstoot (geothermie), alsook het effect van het niet verduurzamen van het huidige warmtenet na 2030 (waarbij in 2050 maximaal 90% CO₂-reductie behaald wordt). Tevens is het nog niet bekend of de in de Klimaatwet afgesproken doelstelling van CO₂-neutrale elektriciteitsvoorziening in 2050 ook daadwerkelijk gehaald wordt. Ook buurten die overstappen op een 'aardgasvrij gasnet' zullen niet meteen voor 100% aardgasvrij zijn. In de TVW wordt de aanname gedaan dat buurten die overgaan op een aardgasvrij gasnet, tot 2040 gestaag tot 70% gas zullen besparen. Wanneer in de buurten die overstappen op een 'aardgasvrij gasnet' het aardgasnet tot 2050 gevoed zal blijven worden met 100% aardgas, kan in 2030, 2040 en 2050 respectievelijk maximaal 33%, 70-80% en 75-85% CO₂-reductie behaald worden ten opzichte van 2017.

3 Methode

In dit hoofdstuk gaan we in op onze aanpak en de belangrijkste aannames die we hebben gemaakt om de CO₂-besparing van de Transitievisie Warmte (TVW) van de gemeente Amsterdam te berekenen. Omdat in de berekeningen van de Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal is gerekend met data uit het jaar 2017 (destijds de meest recente beschikbare data), gaan we in deze studie ook uit van hetzelfde jaartal. De energievraag uit 2017 wordt in deze analyse dan ook gelijk verondersteld met die van 2020.

3.1 Verschillende typen buurten

De TVW geeft voor alle buurten in Amsterdam aan op welke alternatieve warmtetechniek deze over zal stappen. Ook geeft de TVW inzicht in het tijdsfad waarop de buurt van het aardgasnet wordt afgesloten. De buurten kunnen grofweg verdeeld worden in tien groepen, namelijk:

1. **All-electric:** gestaag aardgasvrij tussen 2020 en 2040.
2. **Aardgasvrij gasnet:** gestaag tot 70% gasbesparing tot 2040.
3. **Lokale bronnetten en warmtenet:** gestaag aardgasvrij tussen 2020 en 2032.
4. **Lokale bronnetten:** gestaag aardgasvrij tussen 2020 en 2040.
5. **Warmtenetbuurt:** gefaseerd aardgasvrij tussen 2020 en 2030.
6. **Warmtenetbuurt:** gefaseerd aardgasvrij tussen 2022 en 2032.
7. **Warmtenetbuurt:** gefaseerd starten vanaf 2030.
8. Al (bijna) volledig op het warmtenet.
9. **Nieuwbouw- en transformatiegebied:** volgt de fasering van de gebiedsontwikkeling.
10. Grotendeels onbebouwd.

Op pagina 21 van de TVW staan deze opties verder toegelicht. De buurten die grotendeels onbebouwd zijn hebben we niet in de berekeningen opgenomen. Deze buurten hebben namelijk (vrijwel) geen warmtevraag.

Nieuwbouw- en transformatiegebieden waren in de doorrekening van de Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal reeds meegenomen. Echter werden hier andere aannames gehanteerd voor de warmtetechnieken waar deze gebieden op zouden overstappen. Daarom hebben wij deze berekening geüpdatet naar de aannames zoals deze worden gehanteerd in de TVW.

3.2 Functionele warmtevraag

Een woning heeft voor verwarming, koeling en warm tapwater energie nodig. De warmtevraag bestaat niet enkel uit warmte die uit de radiatoren komt. Een hr-ketel heeft ook elektriciteit nodig om te werken, zowel voor de interne elektronica als het rondpompen van water. Ook bij andere warmtetechnieken is het belangrijk om deze volledige vraag mee te nemen (zie Tabel 3 voor een overzicht van welke energie per techniek wordt ingezet). Deze volledige energievraag voor verwarming, koeling en warm tapwater heet de *functionele warmtevraag*.

Tabel 3 - Overzicht inzet energie per warmtetechniek

Techniek	Inzet elektriciteit	Inzet (stads)warmte	Inzet (hernieuwbaar) gas
Warmtepomp	Opwaarderen warmte Pompenergie Ventilatie & koeling Elektronica warmtepomp	-	-
Stadswarmtenet	Pompenergie Ventilatie & koeling	Levering basislast warmte	Levering pieklast warmte (centraal)
Warmtenet LT/lokaal bronnet	Levering pieklast warmte Pompenergie Ventilatie & koeling	Levering basislast warmte	-
Hybride warmtepomp	Levering basislast warmte Pompenergie Ventilatie & koeling Elektronica ketel	-	Levering pieklast warmte
Hr-ketel	Pompenergie Elektronica ketel Ventilatie & koeling	-	Levering warmte

Door te rekenen met de functionele warmtevraag worden alle bovenstaande aspecten meegenomen in de berekening van de CO₂-uitstoot. Hiermee ontstaat een volledig beeld van de effecten van de warmtetransitie.

Gas wordt naast ruimteverwarming en warm tapwater ook ingezet voor koken. Deze vraag naar kookgas is slechts 2% van de totale gasvraag (PBL, 2018). Omdat de onzekerheidsmarge van deze doorrekening groter is dan dat, is de vraag naar energie voor koken buiten beschouwing gelaten.

3.2.1 Huidige functionele warmtevraag

Allereerst hebben we de huidige functionele warmtevraag van de verschillende buurten bepaald. We hebben onderscheid gemaakt in de warmtevraag van woningen en utiliteitsgebouwen. Industriële bedrijven vallen buiten de scope van de TVW.

Voor het uitvoeren van deze berekeningen hebben wij inzicht gekregen in de achterliggende data die adviesbureau Over Morgen heeft gebruikt bij het opstellen van de TVW. Over Morgen heeft de warmtevraag van woningen per buurt bepaald door middel van een analyse waarbij voor 24 woningtype-bouwjaarcombinaties het gemiddelde gasverbruik is bepaald voor heel Nederland. Hiervoor is de kleinverbruiksdata van netbeheerders gebruikt op PC6-niveau. Ook is gecorrigeerd voor zaken zoals blokverwarming. Het Nederlands gemiddelde is zodoende de norm voor deze berekeningen. Deze gegevens zijn vervolgens geaggregeerd naar buurten middels een middeling. Deze methodiek wijkt hiermee licht af van de cijfers over aardgas- en warmtegebruik uit de berekeningen van de Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal, welke zijn gebaseerd op cijfers vanuit CBS en direct aan-geleverd door Vattenfall. Wij hebben de warmtevraag van woningen per buurt overgenomen van deze berekeningen van Over Morgen.

De huidige warmtevraag van utiliteitsgebouwen is in de TVW niet bepaald. Om de huidige warmtevraag van de utiliteitsgebouwen te bepalen, hebben wij gebruik gemaakt van een eerdere studie die CE Delft heeft uitgevoerd in het kader van de Regionale Energiestrategie (RES). In die studie zijn berekeningen gemaakt om een inschatting te kunnen maken van de

warmtevraag van de utiliteitsgebouwen in Amsterdam in 2017. Dit is gedaan met rekenregels die voortkomen uit het CEGOIA-model⁶.

Deze warmtevraag van woningen en utiliteiten is vervolgens vertaald naar een functionele warmtevraag door de warmtevraag per buurt te vertalen naar de energievraag voor ruimteverwarming, tapwater, ventilatie, eventuele koudevraag en hulpenergie. Hierbij hebben wij rekening gehouden met de huidige aanwezigheid van stadsverwarming. Het aandeel stadsverwarming per buurt is overgenomen uit de berekeningen die Over Morgen heeft gedaan voor de TVW.

3.2.2 Toekomstige functionele warmtevraag

Om de toekomstige functionele warmtevraag te bepalen, is het noodzakelijk te weten in hoeverre de gebouwen in een buurt zullen worden geïsoleerd. De TVW hanteert hiervoor twee isolatieniveaus. Het basisisolatieniveau is nodig bij warmtetechnieken die warmte op lage temperatuur leveren en het minimumisolatieniveau wordt toegepast bij technieken die warmte op middentemperatuur (70°C) leveren. Bij warmtelevering op lage temperatuur wordt dus een hoog isolatieniveau gehanteerd, bij warmtelevering op middentemperatuur is een lager isolatieniveau nodig.

Tabel 4 geeft het isolatieniveau van woningen en utiliteiten in de verschillende typen buurten weer met de bijbehorende warmtevraag (excl. tapwater), zoals opgenomen in de TVW. In de buurt 'gemengd lokale bronnetten en warmtenet' wordt voor woningen een ander isolatieniveau gehanteerd dan voor utiliteitsgebouwen. De TVW gaat er namelijk van uit dat de woningen in dit type buurt vooral worden aangesloten op een warmtenet (70°C) en overige gebouwen (de utiliteiten) op lokale bronnetten.

Tabel 4 - Isolatie-niveau per warmteoplossing

Type buurt	Isolatieniveau woningen	Isolatieniveau utiliteit
Aardgasvrij gasnet	Laag (<80 kwh/m ²)	Laag (<80 kwh/m ²)
All-electric	Hoog (<65 kwh/m ²)	Hoog (<65 kwh/m ²)
Gemengd lokale bronnetten en warmtenet	Laag (<80 kwh/m ²)	Hoog (<65 kwh/m ²)
Lokale bronnetten	Hoog (<65 kwh/m ²)	Hoog (<65 kwh/m ²)
Warmtenet	Laag (<80 kwh/m ²)	Laag (<80 kwh/m ²)

CE Delft heeft voor het bepalen van de veranderingen in de functionele warmtevraag kentallen gehanteerd, die gebaseerd zijn op energielabels. Om te bepalen welke kentallen gebruikt moeten worden, is de door Over Morgen bepaalde energiebesparing geanalyseerd. Op basis van de besparing is gekeken welk schillabelniveau aansluit bij de gevraagde besparing. Dit is een label C-niveau bij lage isolatie, en een label A bij een hoog isolatieniveau. Op basis van deze isolatieniveaus hebben we de toekomstige functionele warmtevraag van woningen en utiliteitsgebouwen berekend. Vervolgens hebben we deze nieuwe functionele warmtevragen gebruikt voor het bepalen van de vraag naar warmtedragers (elektriciteit, warmte, gas) bij de verschillende technieken. Dit beschrijven wij hieronder. Allereerst gaan wij in op de fasering van de transitie en de opt-out.

⁶ CEGOIA is een rekenmodel, ontwikkeld door CE Delft. Het berekent de kosten van duurzame warmteopties over de hele keten: productie, distributie, besparing en consumptie. Zie voor meer informatie over dit model [CEGOIA: inzicht in warmtekosten](#)

Fasering

In de TVW is een indicatie gegeven van het groeipad van het aantal woningequivalenten dat tot 2040 de transitie naar aardgasvrij doorloopt. In deze doorrekening zijn wij ervan uitgegaan dat dit tijdspad ook daadwerkelijk wordt gerealiseerd. Wij hebben in deze studie geen controle gedaan op de haalbaarheid van deze aannames. De TVW laat zien dat er per jaar tussen de 5.500-64.000 woningequivalenten zullen overstappen op een andere warmte-techniek. Deze range is zo groot, omdat op verschillende momenten buurten starten of eindigen met de warmtetransitie, en dat aangenomen wordt dat er een groei is in het aantal woningequivalenten dat overgaat per techniek per jaar (zie ook Figuur 1 op Pagina 4).

De berekeningen in deze studie zijn uitgevoerd voor de jaren 2030, 2040 en 2050. In 2030 zijn nog niet alle gebouwen aangepakt. Op basis van de achterliggende gegevens van de TVW is bepaald welk aandeel van de gebouwen in Amsterdam in 2030 zal zijn overgestapt (zie Figuur 1 en Tabel 5). We hebben aangenomen dat de woningequivalenten die over zijn gestapt op dat moment ook de gevraagde energiebesparende maatregelen hebben genomen. Daarnaast geldt de aanname dat de woningen en utiliteiten die nog niet aan de beurt zijn om over te gaan op een nieuwe warmtetechniek, vooralsnog geen energiebesparende maatregelen treffen.

Tabel 5 - Overzicht aandeel woningequivalenten per warmteoptie dat in 2030 is overgestapt op deze warmteoptie

Warmteoptie TVW	Percentage gerealiseerd in 2030
All-electric	22%
Gasnet/hybride	22%
Lokale bronnetten	52%
Lokale bronnetten en warmtenet	80%
Warmtenetwijken 2020-2030	100%
Warmtenetwijken 2022-2032	77%
Warmtenetwijken vanaf 2030	8%

Opt-out

De TVW maakt de inschatting dat een bepaald percentage van de vastgoedeigenaren niet kiest voor de voorkeurswarmteoptie in de buurt. Dit wordt een 'opt-out' genoemd. De opt-out uit de TVW van Amsterdam is weergegeven in Tabel 6. Deze opt-out is meegenomen in de berekeningen. Hierbij is aangenomen dat de opt-out-percentages voor 2030 gelijk zijn als in het eindbeeld in 2040. Voorbeeld: in 2030 zijn 22% van de gebouwen in de optie all-electric overgestapt op deze warmteoptie (zie Tabel 5). Van deze 22% stapt 80% daadwerkelijk over op een all-electric-oplossing, en 20% op een lokaal bronnet.

Tabel 6 - Indicatieve differentiatie warmteopties binnen buurten (Gemeente Amsterdam, 2020b)

	All-electric	Aardgasvrij gasnet	Lokale bronnetten	Warmtenet 70 °C	Warmtenet 40 °C
All-electric	80%	0%	20%	0%	
Aardgasvrij gasnet	15%	70%	15%	0%	
Lokale bronnetten	20%	0%	80%	0%	
Stadswarmtenet (70 °C)	10%	0%	10%	80%	
Lokale bronnetten en warmtenet	20%	0%	40%	40%	
Nieuwbouw- en transformatiegebied	10%	-	10%	10%	70%
Grotendeels onbebouwd	n.v.t.				

Voor woningen die reeds op een warmtenet zitten wordt aangenomen dat deze in hetzelfde ritme worden verduurzaamd als woningen die nieuw op een warmtenet worden aangesloten: ook deze woningen worden geïsoleerd tot het hoge isolatieniveau. Ook is aangenomen dat deze buurten uiteindelijk dezelfde differentiatie zullen krijgen zoals gesteld in Tabel 6.

Vertaling functionele vraag naar energievraag

Op basis van het aantal woningen en utiliteiten dat naar een bepaalde warmteoptie overgaat en de opt-out-percentages, hebben we berekend hoeveel woningequivalenten er in 2030 zijn overgestapt op een aardgasvrije warmteoplossing. Per warmteoplossing hebben we berekend wat de vraag is naar aardgas, fossielvrij gas, elektriciteit, LT-warmte en MT-warmte. In 2040 en 2050 zijn alle woningen en utiliteiten overgestapt op een aardgasvrije warmteoplossing.

3.3 Nieuwbouw

Nieuwbouw waarvoor een vergunning na 1 juli 2018 is afgegeven, wordt niet meer op het aardgasnet aangesloten. In de doorrekening van de Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal (CE Delft, 2020a) zijn de CO₂-effecten van nieuwbouw reeds meegenomen met de aanname dat tot 2030 10.000 nieuwbouwwoningen aangesloten worden op een warmtenet, en de overige 60.000 woningen, en alle utiliteitsgebouwen, all-electric zullen zijn. In de achterliggende data van de TVW, die CE Delft heeft ontvangen, is duidelijk dat in de TVW wordt uitgegaan dat van alle nieuwbouw in Amsterdam er 44% op een laagtemperatuurwarmtenet zal worden aangesloten, 25% op een stadswarmtenet van 70 °C, 21% op een lokaal bronnet, en 10% all-electric zal worden. Deze percentages verschillen van de percentages genoemd in Tabel 6. Dit komt omdat Tabel 7 enkel gaat om de nieuwbouw buiten bestaande wijken, maar er ook in bestaande wijken nieuwbouw wordt gerealiseerd.

Omdat de aannames van de TVW verschillen van die van de doorrekening van de routekaart, hebben we de CO₂-effecten van groei van de stad opnieuw doorgerekend. We hebben gebruik gemaakt van de aannames in de TVW. De groei van de aantallen woningen en oppervlakten utiliteiten waar mee is gerekend is weergegeven in Tabel 7. Daarnaast is er voor woningen uitgegaan van gemiddelde functionele warmtevraag van 38 GJ/woning en schillabel A, een gemiddelde oppervlakte van 60 m², en gemiddeld twee inwoners. Voor utiliteitsbouw zijn we uitgegaan van een gemiddelde warmtevraag van 0,31 GJ/m², wat het gemiddelde is van de bij CE Delft bekende kentallen voor verschillende typen utiliteitsbouw met een goed isolatieniveau.

Tabel 7 - Gehanteerde prognoses voor de groei van de stad Amsterdam

	Aantal	Eenheid	Bron
Huidig aantal woningen (2018)	432.720	Woningen	Primos (ABF Research, sd)
Aantal woningen 2030	500.460	Woningen	Primos (ABF Research, sd)
Aantal woningen 2040	534.120	Woningen	Primos (ABF Research, sd)
Aantal woningen 2050	561.290	Woningen	Primos (ABF Research, sd)
Nieuwbouw kantoren 2030 (o.b.v. gegevens t/m 2026)	1.038.000	m ²	Monitor Kantoren Amsterdam (Gemeente Amsterdam, 2020a)
Nieuwbouw utiliteit tot 2040	1.600.000	m ²	TVW Amsterdam (Gemeente Amsterdam, 2020b)

3.4 CO₂-emissiefactoren

Om de warmtevraag na besparing om te rekenen in uitstoot van CO₂, maken we gebruik van CO₂-emissiefactoren. Tabel 8 geeft de emissiefactoren weer die we in deze studie hebben gehanteerd. Onder de tabel lichten wij per emissiefactor toe wat de gehanteerde bron of aanname hiervoor is. De uitstoot van overige broeikasgassen is buiten beschouwing gelaten.

Tabel 8 - Gehanteerde emissiefactoren

Emissiefactoren	2017	2030	2040	2050	
CO ₂ -uitstoot aardgas	56,4	56,4	56,4	56,4	kg/GJ
CO ₂ -uitstoot aardgasvrij gas	0	0	0	0	kg/GJ
CO ₂ -uitstoot elektriciteit	125	25	12,5	0	kg/GJ
CO ₂ -uitstoot lagetemperatuurwarmte ³	40,5	8,1	4,1	0	kg/GJ
CO ₂ -uitstoot warmte 70 °C zonder verdere verduurzaming na 2030	31	17	17	17	kg/GJ
CO ₂ -uitstoot warmte uit geothermie (70 °C) ⁷	6,3	1,3	0,6	0	kg/GJ
CO ₂ -uitstoot warmte uit aquathermie (70 °C) ³	42,8	8,6	4,3	0	kg/GJ

CO₂-emissiefactor aardgas

Om CO₂-uitstoot van aardgasgebruik in de gemeente te bepalen, hanteren wij de emissiefactor van de Rijksoverheid voor 2020: 56,4 kg/GJ (MinEZK, 2020). Deze emissiefactor is verondersteld als constant.

CO₂-emissiefactor aardgasvrij gas

Een aardgasvrij gasnet wordt gevoed met groengas of groenwaterstofgas. Een keuze hierin is in de TVW nog niet gemaakt.

Groengas stoot bij verbranding wel CO₂ uit, maar als het gas afkomstig is uit reststromen van biomassa, leidt dit volgens IPCC-richtlijnen niet tot een extra uitstoot van CO₂: deze CO₂ was anders ook vrijgekomen doordat de biomassa van nature verteert. Groengas wordt dan ook beschouwd als CO₂-neutrale brandstof.

Groene waterstof wordt geproduceerd uit hernieuwbare elektriciteit, en leidt bij verbranding niet tot CO₂-uitstoot. Aangenomen is dat in buurten die overgaan op aardgasvrij gas, het gasnet langzaam wordt bijgemengd met aardgasvrij gas, totdat er in 2040 volledig aardgasvrij gas wordt geleverd. Het bijmengpercentage in 2030 is aangenomen als gelijk aan het aandeel gebouwen dat in 2030 over zou moeten zijn op deze techniek (22%).

Hiernaast wordt (aardgasvrij) gas ook ingezet in warmtenetten, om in de piekvraag te kunnen voorzien en te zorgen voor back-up-capaciteit⁸. Ook hier is aangenomen dat in 2017 deze piekvoorziening volledig gebruikt maakt van aardgas, en in 2040 volledig van aardgasvrij gas. Voor het jaar 2030 is hierbij hetzelfde percentage aangehouden als voor de gebouwde omgeving (22% bijmenging).

⁷ Deze CO₂-kentallen zijn direct afhankelijk van het verduurzamen van de elektriciteitsvoorziening.

⁸ Ten tijde van het maken van de berekeningen was het nieuws dat Vattenfall wil overstappen op elektrische boilers (Energiea, 2020) nog niet bekend. Deze ontwikkeling is dan ook niet meegenomen in de berekeningen.

CO₂-emissiefactor elektriciteit

Voor de CO₂-emissiefactor van elektriciteit in 2017 en 2030 hebben we de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) geraadpleegd (PBL, 2019). In de KEV wordt tevens aangegeven dat de elektriciteitsproductie in 2050 volledig CO₂-neutraal moet zijn, volgens de afspraken in de landelijke Klimaatwet. We hebben aangenomen dat de uitstoot van elektriciteit in 2040 een gemiddelde is van de uitstoot in 2030 en 2050. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de marginale CO₂-emissies, conform de richtlijnen van (Agentschap NL, CBS, ECN, PBL, 2012).

CO₂-emissiefactor laagtemperatuurwarmte

Lokale bronnetten maken gebruik van laagtemperatuurwarmte (LT-warmte). Om de CO₂-uitstoot van een GJ LT-warmte te bepalen, hebben we gebruik gemaakt van een eerdere studie van CE Delft naar de CO₂-uitstoot van warmtenetten in Amsterdam (CE Delft, 2018). De emissiekentallen voor elektriciteit die in deze studie zijn gehanteerd, hebben we aangepast naar de meest recente getallen uit de KEV (PBL, 2019).

Aangenomen is dat deze LT-warmte is gebaseerd op WKO⁹ met TEO¹⁰ en individuele warmtepompen. Zo een systeem heeft een Coefficient of Performance (COP) van 3,1. Dit houdt in dat ruwweg een derde deel van de warmte uit elektriciteit afkomstig is. Deze elektriciteit is in de jaren vóór 2050 nog niet volledig CO₂-neutraal.

CO₂-emissiefactor warmte 70°C

Voor het stadswarmtenet wordt uitgegaan van een warmtenet van 70°C. De CO₂-emissiefactor van warmte geleverd door een warmtenet van 70°C voor de jaren 2017 en 2030 is gelijk gehouden aan de emissiefactor die in de doorrekening van de Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal is gehanteerd (CE Delft, 2020a). Deze CO₂-emissies zijn de emissies van de bron, en houden nog geen rekening met piek- en bijstook. Bijstook is separaat meegenomen in de berekeningen (zie Tabel 3 op Pagina 16).

De emissies van het stadswarmtenet na 2030 zijn nog onbekend. Dit hangt af van de bron waarmee het stadswarmtenet zal worden gevoed. Om deze reden hebben we gebruik gemaakt van drie scenario's, met als doel een bandbreedte van CO₂-effecten op te stellen:

1. CO₂-uitstoot van de warmte in 2040 en 2050 is gelijk aan de uitstoot in 2030, in het geval warmtebronnen waarmee het warmtenet gevoed wordt na 2030 niet verder worden verduurzaamd.
2. CO₂-uitstoot van de warmte is gelijk aan de CO₂-uitstoot van een warmtenet gevoed met enkel geothermie.
3. CO₂-uitstoot van warmte is gelijk aan de CO₂-uitstoot van een warmtenet gevoed met enkel aquathermie dat met een collectieve warmtepomp opgewaardeerd is naar middentemperatuur.

De scenario's zijn enkel opgesteld om een bandbreedte van CO₂-effecten weer te kunnen geven. De scenario's zijn geen keuzeoptie: uiteindelijk zal een toekomstig warmtenet worden gevoed door een mix van deze, en mogelijk nog andere, bronnen.

⁹ Warmtekoudeopslag.

¹⁰ Thermische energie uit oppervlaktewater.

De CO₂-uitstoot van warmte in Scenario 2 en 3 hebben we, net zoals de CO₂-uitstoot van laagtemperatuurwarmte, bepaald aan de hand van de studie naar warmtenetten in Amsterdam (CE Delft, 2018). Deze studie hanteert een COP van 20,0 voor geothermie en een COP van 2,0 voor warmte uit een laagtemperatuurwarmtebron (aquathermie is een laagtemperatuurwarmtebron) dat met collectieve warmtepompen naar middentemperatuur is gebracht. De emissies bij beide bronnen komen voort uit het elektriciteitsgebruik dat nodig is om de bron te benutten.

Gebouwen die nu reeds zijn aangesloten op een HT-warmtenet profiteren ook van de verduurzaming van het warmtenet. Voor deze gebouwen zijn dezelfde CO₂-kentallen gehanteerd.

Bibliografie

ABF Research, sd *Primos Online*. [Online]

Available at: <https://primos.abfresearch.nl/>

[Geopend 19 mei 2020].

Agentschap NL, CBS, ECN, PBL, 2012. *Berekening van de CO2-emissies, het primair fossiel energiegebruik en het rendement van elektriciteit in Nederland*, sl: sn

CE Delft, 2018. *Duurzame warmtelevering Sluisbuurt*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2020a. *Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal: Effect van voorgenomen beleid op CO2-uitstoot*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2020b. *Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal: Effect van voorgenomen beleid op de CO2-uitstoot in 2025*, Delft: CE Delft.

Energiea, 2020. Vattenfall wil elektrische boilers voor stadswarmtenet regio Amsterdam. *Energiea*, 03 06.

Gemeente Amsterdam, 2020a. *Monitor Kantoren Amsterdam: Stand van zaken per 1 januari 2020*, Amsterdam: Gemeente Amsterdam.

Gemeente Amsterdam, 2020b. *Transitievisie Warmte - versie voor inspraak*, Amsterdam: Gemeente Amsterdam.

MinEZK, 2020. *Kennisgeving standaard CO2-emissiefactor aardgas voor emissiehandel 2020*, Den Haag: Rijksoverheid.

PBL, 2018. *Energieverbruik van particuliere huishoudens*. [Online]

Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2018/14/energieverbruik-van-particuliere-huishoudens>

[Geopend 28 05 2020].

PBL, 2019. *Klimaat- en Energieverkenning 2019*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

