



Verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving

EEN WELVAARTSECONOMISCHE BENADERING

MW. MR. V.C.E. WATTENBERG

Verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving

EEN WELVAARTSECONOMISCHE BENADERING

Amsterdam School of Real Estate

Naam : mr. Violet Wattenberg

Emailadres : violet.wattenberg@alliander.com

Datum : mei 2019

Studie : Master of Science in Real Estate (scriptie)

1^e beoordelaar : drs. Wim van der Post

2^e beoordelaar : dr. Bert Tieben (SEO)

VOORWOORD

De transitie naar een aardgasloze samenleving is een complexe reis. De eindbestemming ligt vast, maar wat de reis precies betekent voor de reiziger en welke route het beste te kiezen, is nog ongewis. Deze zoektocht intrigeerde me. Met de scriptie die voor u ligt, heb ik een klein gedeelte van de tocht in beeld willen brengen. In het bijzonder: wat betekent het uit een oogpunt van welvaart voor een gemiddelde rijwoning om van aardgas over te schakelen naar een duurzaam warmte-alternatief?

Het schrijven van de scriptie was eveneens een zoektocht. Soms verplaatste ik me met een sneltrein, maar ik zat ook vaak in de stoptrein, pauzerend bij zinnen en woorden. Gelukkig verscheen mijn scriptiebegeleider Wim van der Post af en toe op het perron om mij te bemoedigen. Met nieuwe inspiratie en vol ideeën verliet ik dan weer het station op weg naar de volgende bestemming. Nieuwsgierig als ik ben, via allerlei interessante omwegen.

Halverwege mijn reis ontmoette ik Bert Tieben en later Carl Koopmans. Ervaren experts die mij via boeiende plekken de weg naar de eindbestemming wezen. En natuurlijk reisde ik af en toe samen met mijn behulpzame collega's. Elke tussenstop heeft me veel geleerd, maar bovenal erg verwonderd. Het was een onvergetelijk, leerzaam en fascinerend avontuur. Waarvoor dank aan alle betrokkenen!

Ten slotte wil ik ook Huub Jansen, mijn partner, ouders en vrienden bedanken. Het schrijven van de scriptie was me niet gelukt zonder de steun en het goede gezelschap die zij tijdens de gehele reis voor mij waren.

Violet Wattenberg
Nijmegen, mei 2019

SAMENVATTING

Om een verandering van het klimaat tegen te gaan, heeft de Nederlandse overheid zich in 2005 gecommitteerd aan het VN Klimaatakkoord van Parijs. Het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen is hiermee voor de overheid een belangrijk doel geworden de komende decennia. Het energiebeleid vormt een belangrijk onderdeel om tot CO₂-reductie te komen. Voor de gebouwde omgeving betekent het energiebeleid een vergaande reductie van de warmtevraag door energiebesparing, maar ook een sterke vermindering van het aardgasgebruik. Tegelijkertijd moet de energievoorziening veilig, betrouwbaar en betaalbaar zijn. Het huidige energiebeleid introduceert daarom twee maatregelen in gebouwde omgeving:

1. een verhoging van de belasting op het aardgasverbruik;
2. een lokale warmtevisie die per wijk en in samenspraak met de gebouw eigenaren vaststelt welke warmteoplossing als alternatief voor aardgas het beste is van onderstaande drie varianten:
 - a. *all-electric* verwarming door middel van een warmtepomp;
 - b. warmtenetten;
 - c. hybride warmtepomp gecombineerd met een HR-ketel.

In onderhavige studie is een welvaartstheoretisch denkkader gehanteerd om te beoordelen of het huidige energiebeleid in de gebouwde omgeving tot optimale maatschappelijke welvaart leidt.

Dat hiertoe overheidsbeleid nodig is, is evident. De markt voor aardgas komt zonder een ingrijpen van de overheid niet tot een maatschappelijk optimaal resultaat. Door de gehele keten is sprake van marktfalen. Hoewel aardgas zich niet kwalificeert als een publiek goed en de allocatie van aardgas via de markt kan plaatsvinden, spelen er bij het verbruik van aardgas in de gebouwde omgeving twee vormen van marktfalen. De leidingen in het systeem vertonen kenmerken van een natuurlijk monopolie. Uit maatschappelijke doelmatigheidsoverwegingen is ervoor gekozen om het monopolistische beheer en eigendom van deze leidingen in handen van de overheid te leggen. Daarnaast nemen betrokken partijen het maatschappelijke gevolg van klimaatverandering niet mee in hun transacties. Om dit marktfalen te corrigeren, bepaalt de overheid de uitstoot van CO₂ door het heffen van belastingen. Dit onderzoek toont aan dat het optredende marktfalen weliswaar wordt gecorrigeerd, maar niet volledig. Dit komt door de inelasticiteit van de vraag naar aardgas die mede wordt veroorzaakt door het gebrek aan rendabele alternatieven in de gebouwde omgeving.

Vervolgens is een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uitgevoerd om te beoordelen of de drie beleidsalternatieven voor aardgas in de gebouwde omgeving welvaartverhogend zijn. De uitkomsten van de MKBA laten zien dat het huidige energiebeleid voor een rijwoning, gebouwd tussen 1975 en 1990, te ver gaat. De kosten van het beleid zijn hoger dan de maatschappelijke opbrengst (tabel).

In het All-electric en Hybride alternatief ligt de oorzaak in de hoge (her)investering voor de nieuwe technologie. Bij het alternatief Warmtenet spelen de hoge verbruikskosten voor warmte een belangrijke rol. De waardering van CO₂ in het nulalternatief is te laag om dit alternatief ten opzichte van de beleidsalternatieven kostenneutraal te maken. De baat 'voorzieningszekerheid' (+ pm) is in de analyse niet gekwantificeerd. De invloed van dit effect op de saldi is daarmee niet inzichtelijk.

Tabel: Saldo kosten en baten voor de beleidsalternatieven over 30 jaar

	 Warmtepomp	 Warmtenet	 Hybride
- scenario hoog	€ -25.930 + pm	€ -9.076 + pm	€ -23.909 + pm
- scenario laag	€ -29.629 + pm	€ -12.775 + pm	€ -25.628 + pm

Overheidsingrijpen in deze klimaatopgave is complex. Niet alleen door het decentrale karakter van de ‘warmtetransitie’, maar ook vanwege de geringe mogelijkheden die de Nederlandse overheid heeft om invloed uit te oefenen op de totstandkoming van de aardgas- en CO₂-prijzen. Subsidies en belastingen kunnen de individuele woningeigenaar weliswaar stimuleren om over te stappen naar duurzame alternatieven, maar deze overheidsinterventies zijn economisch niet efficiënt en daarom relatief duur voor de maatschappij. Vanuit een welvaartseconomisch oogpunt, kan de overheid beter (ook) op zoek gaan naar andere, goedkopere opties in de gebouwde omgeving én andere sectoren om de Parijse klimaatdoelen te bereiken.

Hoewel de transitie naar een duurzame warmtevoorziening vooral een lokale opgave is, heeft de praktijk ook behoefte aan een landelijk afwegingskader. De totale investeringskosten van de beleidsalternatieven zijn namelijk erg afhankelijk van gebouw- en gebiedskenmerken. Het afwegingskader moet inzichtelijk maken bij welke gebouw- en gebiedskenmerken de drie duurzaamheidsopties gunstig kunnen zijn. Dit maakt het voor alle betrokken partijen eenvoudiger om te kiezen voor de investering die het beste rendeert. Juist bij selectief investeren in deze complexe opgave is de maatschappij het meest gebaat.

Inhoud

1 INLEIDING.....	7
1.1 Aanleiding.....	7
1.2 Onderzoeksvraag.....	7
1.3 Relevantie.....	9
1.4 Onderzoeksmethode en -opzet	9
2 THEORETISCH RAAMWERK	10
2.1 Wat is welvaart.....	10
2.2 Neoklassieke theorie	11
2.3 Non-evenwichtstheorieën.....	13
2.4 Ingrijpen van de overheid.....	15
2.5 Een falende overheid	16
3 MARKTEN VOOR AARDGAS.....	17
3.1 Het verbruiksgoed aardgas	17
3.2 Nederlandse aardgasketen	17
3.3 Gebruik aardgas in gebouwde omgeving	20
3.4 Vervuiler betaalt	21
4 METHODOLOGIE	23
4.1 Maatschappelijke kosten-batenanalyse	23
4.2 Afbakening.....	23
4.3 Aannames MKBA.....	24
4.4 Stappenplan MKBA	25
4.5 Nulalternatief	26
4.6 Beleidsalternatieven	26
5 MAATSCHAPPELIJKE KOSTEN-BATENANLYSE	27
5.1 Directe effecten	27
5.2 Indirecte effecten.....	35
5.3 Externe effecten	36
5.4 Uitkomsten MKBA	39
5.5 Gevoeligheidsanalyse.....	40

5.6 Overheidsingrijpen.....	42
6 CONCLUSIE.....	44
6.1 Conclusie.....	44
6.2 Beleidsaanbeveling	45
6.3 Reflectie	46
LITERATUURLIJST	47
BIJLAGEN	
1. Nulalternatief	
2. Beleidsalternatief: All-electric	
3. Beleidsalternatief: Warmtenet	
4. Beleidsalternatief: Hybride	
5. Samenvatting	

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Aardgas speelt een essentiële rol in de Nederlandse samenleving. Door de ontdekking van het Groninger aardgasveld in 1959, het grootste gasveld in West-Europa, kon Nederland meer dan een halve eeuw zelf voorzien in de behoefte aan aardgas. Tot op de dag van vandaag draagt aardgas voor 40% bij aan de Nederlandse energiebehoefte (Ministerie van Economische Zaken, 2016). De gebouwde omgeving, waaronder woningen en kantoren, verbruikt het grootste deel (51%) van het aardgas. Daarna volgen de industrie (32%), de elektriciteitscentrales (15%) en de aardgaswinning (2%).¹ Het Groninger gas heeft de schatkist sinds de jaren zestig zo'n 280 miljard aan gasbaten opgeleverd en bracht de Nederlandse samenleving welvaart.

De winning en het gebruik van het 'vloeibare goud' heeft ook een keerzijde; er komt onder meer koolstofdioxide (CO₂) vrij. Door de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen, stijgt de temperatuur op aarde. Hierdoor verandert het klimaat met ingrijpende gevolgen voor de leefomgeving van mens en dier. Bovendien is de bodem door de jarenlange gaswinning in Groningen verzakt. Aardbevingen, die sinds 2013 toenemen in aantal, zijn het gevolg.

Om een verandering van het klimaat tegen te gaan, heeft de Nederlandse overheid zich in 2005 gecommitteerd aan het VN Klimaatakkoord² van Parijs. Het akkoord verbindt 195 landen aan de afspraak de mondiale gemiddelde temperatuurstijging tot ruim onder de twee graden Celsius, ten opzichte van het pre-industriële niveau, te beperken. Vanwege het risico op aardbevingen en de daarmee gepaard gaande maatschappelijke onrust heeft het kabinet onlangs besloten om de winning van aardgas uiterlijk in 2030 tot nul te reduceren.³

Het kabinet heeft de komende decennia daarom één doel: het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen, oftewel 'sturen op CO₂-reductie' (Ministerie van Economische Zaken, januari 2016). Tegelijkertijd moet de energievoorziening veilig, betrouwbaar en betaalbaar zijn. Voor de gebouwde omgeving betekent dit klimaatbeleid een vergaande reductie van de warmtevraag door energiebesparing, maar ook een sterke vermindering van het aardgasgebruik (Ministerie van Economische Zaken, januari 2016).

Om de beschreven klimaatdoelstellingen te halen, is het noodzakelijk om voor het einde van deze kabinetsperiode in 2021 50.000 bestaande woningen aardgasvrij te maken of zodanig energie-efficiënt dat het aardgasvrij maken van de woningen op een korte termijn mogelijk is. Het is een eerste stap op weg naar de verduurzaming van 200.000 woningen per jaar, hét tempo dat nodig is om in 30 jaar tot 2050 de gehele, bestaande woningvoorraad van zeven miljoen woningen, te verduurzamen.⁴

1.2 Onderzoeksvraag

De energievoorziening is een groot maatschappelijk goed waarbij de overheid van oudsher een belangrijke rol vervult. Sinds lange tijd bestond de aardgassector uit verticaal geïntegreerde bedrijven die geheel in handen waren van de lokale en provinciale overheid (Mulder en Willems, 2009). De productie en levering

¹ <http://www.aardgas-in-nederland.nl/nederland-aardgasland/aardgas-in-de-nederlandse-energievoorziening/> (geraadpleegd: 4 november 2017).

² Klimaatakkoord Parijs via www.cop21paris.org.

³ Brief Minister van Economische Zaken en Klimaat van 29 maart 2018 'Gaswinning Groningen' (DGETM-EI/18057375).

⁴ Regeerakkoord via www.tweedekamer.nl/sites/default/files/atoms/files/regeerakkoord20172021.pdf.

van aardgas diende een duidelijk publiek belang. De overheid was ervan overtuigd dat wanneer zij zich de behartiging van dit belang niet aantrok, het belang niet goed tot zijn recht zou komen (WRR, 2000).

Met de introductie van marktwerking in de aardgassector in 2004 veranderde dit beeld. Door de toegenomen concurrentie hoefde de overheid zich bijvoorbeeld niet meer volledig te committeren aan de productie van aardgas. Sindsdien vindt de vaststelling van de productie en prijzen van aardgas niet langer centraal plaats. Bedrijven zelf bepalen de productie. Gasprijzen komen tot stand via vraag en aanbod.

Toch spelen overheden onverminderd een invloedrijke rol. Zonder overheidsbemoeienis komt de aardgasmarkt namelijk niet tot maatschappelijk optimale welvaart (Mulder en Willems, 2009). Door de gehele gasketen is de overheid daarom nog in verschillende rollen aanwezig. De bemoeienis van de overheid richt zich alleen nog op de randvoorwaarden waaronder de productie en levering plaatsvindt, bijvoorbeeld duurzaamheid, betaalbaarheid en betrouwbaarheid (WRR, 2000). Daarmee is de aard van het publieke belang verschoven (WRR, 2000).

Het in december 2018 gepresenteerde ontwerp van het nationale Klimaatakkoord⁵ werkt het klimaatbeleid verder uit. Het akkoord introduceert twee maatregelen om de klimaatdoelen in de gebouwde omgeving dichterbij te brengen:

1. een verhoging van de belasting op het aardgasverbruik in de gebouwde omgeving;
2. een lokale warmtevisie die per wijk en in samenspraak met de gebouwde omgeving vaststelt welke warmteoplossing als alternatief voor aardgas het beste is. De energieagenda beschreef al eerder drie beleidsalternatieven (Ministerie van Economische Zaken, december 2016):
 - a. warmtenetten;
 - b. *all-electric* verwarming door middel van warmtepompen;
 - c. hernieuwbare gasen in het bestaande netwerk.

Met deze alternatieven vult de overheid het energiebeleid richting de gebouwde omgeving in. In de praktijk blijkt echter dat de verduurzaming van de warmtevoorziening - die de overheid in de gebouwde omgeving voor ogen heeft - niet vanzelf tot stand komt. Deze studie onderzoekt waarom de verduurzaming niet of nauwelijks van de grond komt en op welke manier de overheid kan ingrijpen om de welvaart te stimuleren.

De centrale onderzoeksvraag luidt:

“In hoeverre draagt het huidige energiebeleid omtrent de verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving bij aan het bereiken van meer welvaart?”

De beantwoording van de centrale onderzoeksvraag vindt plaats aan de hand van de volgende deelvragen:

1. Wat is welvaart?
2. Wat is welvaartstheorie?
3. Waarom leidt het gebruik van aardgas in de gebouwde omgeving niet tot maximale welvaart?
4. Leidt een belastingheffing op het gebruik van aardgas tot maximale welvaart?
5. Wat zijn de beleidsalternatieven voor de gebouwde omgeving?
6. Wat zijn de welvaartseffecten van de beleidsalternatieven?
7. Onder welke voorwaarden is overheidsingrijpen effectief?

⁵ Ontwerp van het Klimaatakkoord via www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2018/12/21/ontwerp-klimaatakkoord.

1.3 Relevantie

Er is een maatschappelijk debat over het nut en de noodzaak van het terugdringen van de uitstoot van CO₂. De één ziet de miljarden euro's als een noodzakelijke investering in de toekomst. De ander vindt de Nederlandse bijdrage aan het behalen van de mondiale klimaatdoelen marginaal en stelt het voeren van klimaatbeleid stevig ter discussie. Ondanks het gevoerde debat is in 2018 een (ontwerp) Klimaatakkoord vastgesteld. Het akkoord beschouwt de 'gebouwde omgeving' als een van de vijf sectoren waar een CO₂-reductie noodzakelijk is om de klimaatdoelen te halen. Dit is niet vreemd nu de gebouwde omgeving maar liefst 51% van het beschikbare aardgas verbruikt.

Een reductie van CO₂ in de gebouwde omgeving vergt investeringen in woningen. De kosten die gemoeid zijn bij het klimaatneutraal maken van dergelijke vastgoedobjecten zijn niet altijd even duidelijk. Bovendien is de winst voor het klimaat onzeker. Deze studie beoogt daarom een relevant en breder inzicht te verschaffen in de kosten van en de baten bij het verduurzamen van de warmtevoorziening van een individuele woning. Op deze wijze tracht dit onderzoek een inhoudelijke bijdrage te leveren aan het maatschappelijke debat.

1.4 Onderzoeksmethode en -opzet

Het onderzoek is te beschouwen als een kwalitatief onderzoek, waarbij de toetsing van de theorie plaatsvindt door middel van een (kwantitatieve) maatschappelijke kosten-batenanalyse, alsmede interviews.

Allereerst bevat hoofdstuk 2 een theoretisch kader dat het begrip welvaart en de welvaartstheorie beschrijft. Een literatuurstudie brengt in beeld in welke gevallen en onder welke voorwaarden de markt dan wel een ingrijpen van de overheid tot optimale maatschappelijke welvaart kan leiden. Vervolgens beschrijft en verklaart hoofdstuk 3 in welke rollen de overheid in de huidige aardgasmarkt aanwezig is en welke welvaartseffecten in de gebouwde omgeving optreden.

In hoofdstuk 4 is de gekozen methodologie verantwoord. De kern van de studie, de maatschappelijke kosten-batenanalyse, is opgesteld in hoofdstuk 5. Dit hoofdstuk bevat tevens een presentatie en analyse van de uitkomsten van de maatschappelijke kosten-batenanalyse. Ook is beschouwd of en onder welke voorwaarden effectief ingrijpen van de overheid in deze opgave mogelijk is.

Hoofdstuk 6 sluit af met een conclusie die bestaat uit de beantwoording van de deelvragen, de centrale onderzoeksvraag, een aanbeveling en de reflectie op het onderzoek.

2 THEORETISCH RAAMWERK

De studie hanteert een welvaartseconomisch denkkader. Welvaartstheorie is een normatieve discipline en biedt bij uitstek het kader om te beoordelen of het huidige Nederlandse energiebeleid omtrent de verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving leidt tot optimale maatschappelijke welvaart. Welvaart is bovendien een van de kernbegrippen in de economie. Het komt in verschillende verschijningsvormen voor.

Het theoretisch raamwerk bestaat daarom uit twee elementen: een beschrijving van het begrip welvaart en een uiteenzetting van de welvaartstheorie. Het kader start met een beschrijving van de markt en de omstandigheden waaronder de markt tot optimale welvaart kan leiden. Vervolgens maakt het hoofdstuk inzichtelijk in welke gevallen markten kunnen falen. Tot slot wordt duidelijk hoe de overheid kan ingrijpen, maar ook welke nadelen aan het ingrijpen kunnen kleven.

2.1 Wat is welvaart

In de welvaartseconomie staat vanzelfsprekend het begrip welvaart centraal. Welvaart geldt volgens Tieben (2013) als maat voor het welbevinden van burgers in een land. In de economie omvat een brede invulling van het begrip niet alleen materiële, maar ook immateriële aspecten van welzijn.

Voor meer dan een halve eeuw was het Bruto Binnenlands Product (BBP) een algemeen aanvaarde maat om welvaart te meten (Costanza *et al.*, 2009). Het BBP meet enkel de economische activiteit en geen welzijn. Voor de beleving van het welzijn zijn ook ecologische en sociale aspecten van belang (Stiglitz *et al.*, 2009). Brede welvaart omvat daarom meer dan economische groei. De beperking die de toepassing van het BBP als maat voor welvaart met zich bracht, leidde tot alternatieven.⁶ Een verkenning van de alternatieven valt buiten deze studie.

Welvaartseconomie geeft een andere invulling aan het welvaartsbegrip. De basis voor de hedendaagse welvaartseconomie is gelegd door Pareto (1927). Hij ontwikkelde een criterium om welvaart te meten. Er treedt Pareto-efficiëntie op als niemand er in de samenleving meer op vooruit kan gaan, zonder dat dit ten koste gaat van anderen. Immers, was een verbetering wel mogelijk geweest, dan was de ruil wel tot stand gekomen. De welvaart van de samenleving is in zo'n situatie maximaal. Dit resultaat staat in de economische wetenschap bekend als de *eerste hoofdstelling van de welvaartstheorie*.

Voor de beleidseconomie is de praktische bruikbaarheid van het Pareto-criterium beperkt (Theeuwes, 2008). Het komt zelden voor dat de welvaart van de een groter wordt, zonder dat het de welvaart van de ander schaadt. Het criterium werkt dus alleen als er geen winnaars en verliezers zijn. Echter, veranderingen in beleid brengen vaak winnaars en verliezers met zich mee. Deze tekortkoming leidde tot een ander, algemeen aanvaard criterium, de Kaldor-Hicks efficiëntie. Volgens Kaldor (1939) en Hicks (1939) gaat de welvaart van de samenleving er ook op vooruit als de welvaartstoename van de winnaars meer dan voldoende is om de verliezers te compenseren. Met andere woorden, er is sprake van een verbeterde gezamenlijke welvaart als alle betrokkenen er op vooruit kunnen gaan. Het betreft een 'kunnen' want de compensatie hoeft niet plaats te vinden. Van belang is dat de mogelijkheid om te compenseren er is. Aan de hand van het voorbeeld in tabel 2.1 is de Pareto en Kaldor en Hicks efficiëntie nader uitgelegd.

⁶ Als alternatief voor economische groei geldt bijvoorbeeld duurzame ontwikkeling (Brundtland, 1987). Bij duurzame ontwikkeling neemt de economische groei toe, terwijl de kwaliteit van leefomgeving en het sociale welzijn tenminste gelijk blijven.

Tabel 2.1: Voorbeeld Pareto en Kaldor-Hicks efficiëntie

	Opbrengsten (in miljoenen)	Kosten (in miljoenen)
Passagiers	€ 100 m	
Vliegtuigmaatschappij	€ 120 m	
Omwonenden		€ 20 m
Milieu		€ 30 m
Totale opbrengsten	€ 220 m	
Totale kosten		€ 50 m

De bouw van een vliegveld levert de passagiers en de vliegtuigmaatschappij in totaal € 220 miljoen op. Omwonenden en het milieu gaan er in totaal € 50 miljoen op achteruit. In het voorbeeld is de bouw van het vliegveld niet Pareto-efficiënt: de netto opbrengst is € 170 miljoen en twee groepen gaan er op achteruit. Volgens het Kaldor-Hicks criterium kan de bouw van het vliegveld wel doorgang vinden. De opbrengst voor de passagiers en de omwonenden is namelijk meer dan voldoende om de omwonenden en het milieu te compenseren.

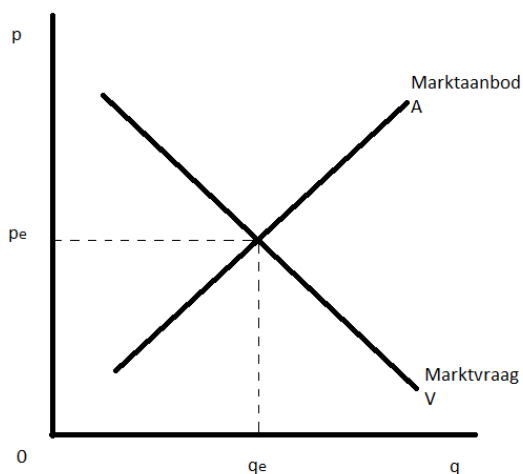
De toepassing van het Kaldor-Hicks criterium veronderstelt inzicht in de winnaars en verliezers van een bepaalde beleidsmaatregel. Deze studie richt zich op de vragen of verduurzaming van een bepaalde woning tot meer of minder welvaart leidt ten opzichte van een voortzetting van het aardgasverbruik en de mogelijkheden om te welvaart te vergroten. Hoe de welvaart over de betrokken partijen is verdeeld, valt buiten de reikwijdte van deze studie. De toepassing van het Kaldor-Hicks criterium blijft om die reden buiten beschouwing.

Vanuit een welvaartsperspectief is het van belang dat markten optimaal functioneren. In de economische theorie wordt echter verschillend gedacht over de vraag op welke wijze markten tot optimale welvaart leiden of aangestuurd moeten worden. De volgende paragrafen zetten de verschillende theoretische visies uiteen.

2.2 Neoklassieke theorie

Marktwerving leidt tot optimale welvaart. Het theoretische bewijs voor deze stelling begon bij het vermoeden van Smith (1776) in *The Wealth of Nations* over de optimale werking van het prijsmechanisme als *invisible hand*. De kern van de theorie ligt in de gedachte dat het marktmechanisme, onder volledige mededinging, het economisch proces evenwichtig en doelmatig coördineert en onder bepaalde voorwaarden tot optimale welvaart leidt. Wanneer individuen hun natuurlijk eigenbelang nastreven, bevordert dat de welvaart meer dan strenge regels van een overheid (Smith, 1776).

In figuur 2.1 is de neoklassieke theorie in het model van Marshall (1890) weergegeven. Het totaal van vraag naar en het aanbod komt samen op de markt van een goed. In die markt wisselen consumenten en producenten informatie uit. Deze informatie ligt besloten in de vraagcurve (V) en de aanbodcurve (A). De figuur laat zien welke hoeveelheid (q) consumenten en producenten bij een bepaalde prijs (p) kopen en verkopen of welke prijs ze bij een gegeven hoeveelheid voor het goed betalen of ontvangen.



Figuur 2.1: Neoklassieke theorie in model Marshall

Het totaal van de vraag naar en het aanbod van het goed gezamenlijk creëert een evenwichtsprijs.⁷ In figuur 2.1 is dit (p_e).

Elke markt zorgt zelf voor een evenwicht. De neoklassieke theorie stelt dat consumenten daarbij hun nut maximaliseren. Het nut wordt onder de restrictie van een gegeven inkomen bepaald door de goederen die een consument gebruikt. In het evenwicht is de prijs maximaal gelijk aan het nut of de waarde van het product voor de consument.

Producenten handelen met het doel tot maximale winst gegeven de productiefunctie. In het evenwicht zijn de prijzen van de reproduceerbare goederen gelijk aan de marginale productiekosten. Bij een lage prijs neemt de betalingsbereidheid van consumenten toe en zal de vraag naar het goed toenemen. Potentiële producenten zullen bij een lage prijs uit winstoogpunt besluiten tot minder productie zolang de productiekosten de verkoopprijs niet overstijgen. Deze situatie leidt tot een kleiner aanbod waardoor de prijs zal stijgen. Er ontstaat een nieuw evenwicht. Ongelijkheden zijn daarom slechts van tijdelijke aard.

In het marktevenwicht zijn omvang en samenstelling van de productie optimaal afgestemd op de wensen van de consument. In de figuur 2.1 is dit (p_e , q_e). De allocatie van productiefactoren en, of goederen is in zo'n situatie economisch efficiënt. Een beleidsvoornemen dat leidt tot een verandering in zo'n efficiënte toestand impliceert dat het beleid te maken krijgt met tenminste één verliezer (Teulings et al., 2005). Eijgelshoven et al. (2010) laten zien dat een marktevenwicht ook Pareto-efficiënt is.

Overheidsingrijpen

Volgens de neoklassieke theorie werken markten perfect en is er geen reden om het economisch handelen van de betrokken partijen verder te coördineren. Het prijsmechanisme is hét instituut dat alle informatie levert die voor partijen nodig is om tot handelen over te gaan. Vraag en aanbod sluiten naadloos op elkaar aan. Er

⁷ In een markt onder volledige mededinging is het voor individuele producenten en consumenten afzonderlijk niet mogelijk om invloed uit te oefenen op de hoogte van de marktprijs.

is geen reden voor een overheid om in te grijpen. Volgens het neoklassieke denken leidt elke overheidsinterventie per definitie tot een verstoring van de markt. Bovendien is het niet efficiënt. De overheid heeft slechts een aantal publieke taken, zoals onderwijs en gezondheidszorg. Voor deze goederen werkt de markt niet. De bekostiging vindt plaats via belastingheffing.

2.3 Non-evenwichtstheorieën

De neoklassieke theorie ligt al decennialang onder vuur. Dit heeft binnen de economische wetenschap geleid tot een verfijning en uitbreiding van het neoklassieke paradigma; de non-evenwichtstheorieën. Stiglitz en Charlton (2005) vatten de kritiek samen door te stellen dat op grond van de assumpties van Smith, de intellectuele basis voor de veronderstelling dat markten in het algemeen vanzelf werken in de praktijk te zwak is. De assumpties⁸ die de neoklassieke theorie veronderstelt, vereisen een utopische wereld; in werkelijkheid beweegt de markt niet automatisch naar optimaliteit. De markt faalt. Op een macro-economische schaal is het Keynes (1936) die in *General Theory* in non-evenwichtssituaties een belangrijke rol weglegt voor de overheid, bijvoorbeeld om de werkeloosheid te bestrijden.

De economische theorie onderscheidt een groot aantal vormen van marktfalen. De voor deze studie relevante vormen zijn:

1. Monopolievorming (marktmacht en schaalvoordelen)
2. Publieke goederen
3. Externe effecten
4. Informatieproblemen

Monopolie (marktmacht en schaaffecten)

Het aanbod van goederen vindt in een markt onder volledige mededinging plaats door een groot aantal bedrijven. Ieder afzonderlijk bedrijf voorziet een deel van de totale marktvraag. Kleine bedrijven produceren tegen lage kosten en houden de concurrentiestrijd vol. In verschillende bedrijfstakken zijn echter schaalvoordelen te behalen door een toename van de productie. Dit geldt in het bijzonder voor goederen die gepaard gaan met hoge initiële kosten, denk aan de realisatie van een aardgasnetwerk. Hoge initiële kosten werpen marktdrempels op en leiden ertoe dat marktpartijen een dergelijk goed niet snel zelf zullen voortbrengen.

Hoewel schaalvoordelen de welvaart verhogen, deze zorgen immers voor een afname van de productiekosten, kunnen schaalvoordelen tegelijkertijd de markt verstoren. De belangen van de aanbieder en de maatschappij lopen in een dergelijke situatie uiteen. De aanbieder is gebaat bij een hoge prijs om de kosten te dekken, terwijl de maatschappij belang heeft bij een zo groot mogelijke productie. Daarnaast kunnen schaalvoordelen leiden tot marktmacht voor aanbieders. De schaalvoordelen zijn dan zo sterk dat gegeven de omvang van de markt slechts één aanbieder tegen de laagste kosten kan leveren, er ontstaat een natuurlijk monopolie (Baarsma et al., 2010). Een aanbieder met marktmacht kan het zich permitteren om zich grotendeels onafhankelijk van andere partijen, zoals concurrenten en consumenten te gedragen en schaadt op die manier de welvaart.

Publieke goederen

Markten zijn alleen efficiënt in het geval van private goederen (Winston, 2006). De allocatie van zogenaamde publieke goederen (*pure public goods* in tabel 2.1) via de markt is uitgesloten. Volgens de *Public Choice*

⁸ Dit veronderstelt een reeks assumpties waaronder een gegeven prijs; volledige informatie en dus markttransparantie; geen marktmacht van vragers of aanbieders en dus voldoende vragers en aanbieders; vrije toe- en uitreding; homogene consumentenvoorkeuren; geen schaalvoordelen, externe effecten of collectieve goederen.

school (Buchanan, 1965) hebben dit type goederen twee eigenschappen. De goederen zijn niet-rivaliserend (*non-rival goods*); de consumptie van het goed kan door iedereen tegelijkertijd plaatsvinden. Bovendien is niemand van het gebruik van het goed uit te sluiten (*non-excludable goods*). Ofwel: het goed heeft geen prijs of is onbeprijstbaar (Tordoir, 2012). Overigens beschreef Samuelson het onderscheid tussen deze type goederen al ruim een decennium eerder (Samuelson, 1954). Vanwege deze eigenschappen kunnen consumenten een publiek goed gebruiken en profiteren, zonder dat zij een prijs betalen. Er ontstaat *free rider*-gedrag. Door dit gedrag worden de kosten om het publieke goed te vervaardigen niet gedekt. Dientengevolge zullen producenten het goed niet vervaardigen. Bij dit type goederen komt een markt en daarmee een marktprijs niet tot stand. De markt faalt. Voorbeelden van publieke goederen zijn nationale veiligheid (defensie) en straatverlichting.

In tabel 2.2 is de classificatie van vier typen goederen en diensten weergegeven die voortkomen uit de eigenschappen uitsluitbaar en rivaliserend en geeft een voorbeeld van elk type goed.

Tabel 2.2: Classificatie voor verschillende type goederen (Perman et al., 2003)

	Excludable	Non-excludable
Rival	Pure private good Ice cream	Open access resource Ocean fishery (outside territorial waters)
Non rival	Congestible resources Wilderness area	Pure public good Defence

Externe effecten

Een andere vorm van marktfalen kan optreden als er sprake is van externe effecten. Teulings (2003) beschrijft in de *Calculus van het Publieke Belang* een extern effect als volgt: “Wanneer door een actie van één partij of door een transactie tussen twee (of meer) partijen een andere partij die niet bij de besluitvorming over de (trans)actie betrokken is daarvan gevolgen ondervindt, dan is er sprake van een extern effect. Die gevolgen kunnen zowel positief of negatief zijn, er zijn bijgevolg positieve dan wel negatieve externe effecten.”

Een in de economische literatuur veel beschreven voorbeeld van een negatief extern effect is de fabriek die geluidsoverlast geeft voor de omgeving. De geluidsoverlast speelt geen rol in de marktprijs van de producten, maar neemt wel waarde weg voor de omwonenden. In dit geval is de maatschappelijke waarde van de productie lager dan de marktwaarde. Wanneer de fabriek daarentegen restwarmte geeft die woningen kan verwarmen dan genereert het externe effect juist waarde. Er is sprake van een positief extern effect. In de voorbeelden ligt het optimum inclusief externe effecten respectievelijk lager en hoger dan exclusief externe effecten (Tordoir, 2012). Beide voorbeelden laten zien dat marktwerking niet automatisch tot optimale welvaart leidt. Wanneer externe effecten optreden, is dit een teken dat het transactiemechanisme niet goed werkt. In het voorbeeld neemt de fabrikant namelijk niet alle maatschappelijke gevolgen mee in de transactie.

De fabrikant houdt immers geen rekening met de gevolgen voor de omwonenden. Teulings et al. (2005) beschrijft dat externe effecten in feite een probleem zijn van een ontbrekende markt. In het voorbeeld ontbreekt een markt voor geluidsoverlast. Zou die markt er zijn geweest dan lag een compensatie voor omwonenden voor de hand. Bij een te hoge compensatie ziet de fabrikant af van de betreffende productie. De extra markt voor geluidsoverlast vult het gat in de markt en Smith's invisible hand doet weer zijn werk (Teulings et al., 2003). De fabrikant en omwonenden internaliseren dus de externe effecten zelf via aanvullende onderhandelingen.

Informatieproblemen

In het neoklassieke denken zijn markten transparant en beschikken betrokken partijen over volledige informatie. In zo'n situatie draagt de markt optimaal bij aan de welvaart. In de werkelijkheid gebeurt dit niet. Er is namelijk regelmatig een informatieasymmetrie tussen de producent en de consument. Dit is volgens Eijgelshoven (2010) het geval als de ene partij meer en betere informatie heeft dan de andere partij. De ongelijkheid in informatie kan onder andere gaan over prijzen, kosten en de kwaliteit van het goed. Informatieproblemen kunnen dus van invloed zijn op de welvaart.

Wanneer de ene partij over meer of betere informatie beschikt dan de andere partij valt de transactie voor de ene partij mogelijk ongunstiger uit dan voor de andere partij. Informatieasymmetrie heeft dus allereerst invloed op de verdeling van de welvaart (Eijgelshoven, 2010). Voorts gaan onvolledig geïnformeerde partijen mogelijk transacties aan waar, als ze de beschikking hadden over alle informatie, van af zouden zien. Dit is niet efficiënt en kan zelfs zover reiken dat het (voort)bestaan van markten in gevaar komt (Eijgelshoven, 2010).

2.4 Ingrijpen van de overheid

Marktfalen is het empirische bewijs dat marktwerking niet altijd tot optimale welvaart leidt. De markt brengt onevenwichtigheden. In onder andere non-evenwichtstheorieën is daarom ruimte voor coördinatie door een centrale overheid. Pigou (1921) beschrijft in *Economics of Welfare* hoe een zorgvuldige overheid de welvaart kan verhogen. Hij was, in tegenstelling tot Smith, van mening dat individuen die in het economische verkeer het eigenbelang nastreven geen rekening houden met het grotere, maatschappelijke belang. Met name in situaties waarin de private en maatschappelijke kosten door externe effecten uiteenlopen. Het heffen van belastingen of het verstrekken van subsidies kan dan helpen om het externe effect te internaliseren en zo het marktfalen te corrigeren. Denk aan de milieubelastingen die de prijs van het externe effect genererend goed, verhoogt waardoor de schade voor anderen door de consumptie ervan is ingeprijsd.

In *The problem of social costs* beschrijft Coase (1960) dat externe effecten niet altijd leiden tot een falen van de markt. Bij transacties tussen enkele partijen ligt het voor de hand dat betrokken partijen zelf via onderhandelingen een adequate marktoplossing zoeken. Wanneer bij een extern effect veel belanghebbenden betrokken zijn, brengt organisatie via de markt vaak hoge transactiekosten met zich mee. Bovendien zijn sancties tegen *free-riders* moeilijk af te dwingen. In deze gevallen kan een overheid met haar geweldsmonopolie betrokken partijen verplichten om bij te dragen (Teulings et al., 2003).

Naast het corrigeren van verschillende vormen van marktfalen heeft de overheid vanuit een welvaartseconomisch perspectief volgens Van Damme en Schinkel (2009) nog twee taken. Zo moet de overheid de verantwoordelijkheid nemen voor randvoorwaarden waaronder economische activiteiten plaatsvinden, zodat markten optimaal kunnen werken.

Ten slotte heeft de overheid een rol bij de herverdeling van ongewenste marktuitskomsten. Een Pareto-efficiënte situatie heeft geen betrekking op de verdeling van opbrengsten. Na het bereiken van een Pareto-efficiënte uitkomst kan de verdeling uit een oogpunt van rechtvaardigheid ongewenst zijn voor bepaalde groepen in de samenleving. De overheid kan dan via het politieke proces besluiten tot herverdeling van de baten. Dit staat in de economische wetenschap bekend als de *tweede hoofdstelling van de welvaartstheorie*. Baarsma et al. (2010) voegt nog een vierde reden toe voor een overheid om in te grijpen; paternalisme.

De overheid heeft verschillende manieren om marktfalen te corrigeren en de efficiëntie te verbeteren (Winston, 2006). Le Grand (1991) noemt in *The Theory of Government Failure* drie vormen van overheidsbemoeienis. Allereerst kan de overheid ervoor kiezen om goederen en diensten zelf voort te brengen. Zo heeft de overheid de productie en de levering van aardgas lange tijd zelf verzorgd. Voorts heeft de overheid de mogelijkheid om subsidies te verstrekken en belastingen te heffen. Op deze manier verhoogt en verlaagt ze prijzen om markt en partijen te beïnvloeden. Een actueel voorbeeld is het voorstel in het

Klimaatakkoord om de aardgasprijs in 2020 te verhogen. De belasting is van belang om het gebruik van aardgas in de gebouwde omgeving te verminderen. Verder kan de overheid regels uitvaardigen om invloed uit te oefenen op de hoeveelheid, de kwaliteit en de prijs van goederen en diensten of op de marktstructuur (Le Grand, 1991). In de gassector reguleert de overheid de marktstructuur door bijvoorbeeld het aantal gasproducenten die op de energiemarkt actief zijn, te beperken.

2.5 Een falende overheid

De non-evenwichtstheorie onderscheidt een groot aantal vormen van marktfalen. Bovendien suggereert het hoe de overheid kan ingrijpen om het marktfalen te corrigeren. Maar in de beleidspraktijk kent overheidsingrijpen ook duidelijke tekortkomingen. Wanneer de kosten om het marktfalen te corrigeren groter zijn dan de baten, of in het geval dat de overheid niet ingrijpt (*failures of commission and omission*), kan overheidsfalen optreden (Winston, 2006). De economische literatuur onderscheidt verschillende redenen voor overheidsfalen. Le Grand (1991) bespreekt deze aan de hand van de, in de vorige paragraaf beschreven, drie typen overheidsingrijpen. Wanneer de overheid het goed of de dienst zelf verzorgt, kan overheidsfalen optreden. De overheid is vaak monopolist. Andere marktpartijen brengen het goed of de dienst niet voort. Door gebrek aan concurrentie is de overheid niet efficiënt. Bij het verstrekken van subsidies en het heffen van belastingen weet de overheid niet altijd de juiste prijsprikkels te geven. Een subsidie kan leiden tot een te hoge vraag. Bij het uitvaardigen van regels kan de overheid eveneens falen. Tot slot beschikt de overheid vaak niet over de juiste informatie (of capaciteit) om de regels in te voeren en te handhaven.

Hoewel de overheid dus kan falen, zijn er volgens economen voldoende (niet-)efficiency argumenten die een rol voor de overheid legitimeren.

De economische theorie onderscheidt niet alleen de beschreven uitersten ‘markt’ en ‘overheid’. Er bestaat ook een publiek-privaat middenveld. Bijvoorbeeld een hybride variant die zich in hoofdzaak vindt in contractuele bepalingen. Deze ordeningsmogelijkheden zijn benoemd in de neo-institutionele theorie. Deze studie laat de neo-institutionele theorieën verder buiten beschouwing.

3 MARKTEN VOOR AARDGAS

De markt voor aardgas komt zonder een ingrijpen van de overheid niet tot een maatschappelijk optimaal resultaat (Mulder en Willems, 2009). Door de gehele keten vertoont de markt gebreken. De overheid is daarom in verschillende rollen aanwezig. Dit hoofdstuk beschrijft in algemene zin de aardgasketen en de betrokken partijen, de rol die de overheid in de verschillende delen van de keten aanneemt en het publieke belang dat ze daarmee tracht te dienen. Daarnaast analyseert dit hoofdstuk - aan de hand van economische modellen - of er in het laatste deel van de aardgasketen, het eindgebruik van aardgas door bedrijven en consumenten in de gebouwde omgeving, marktfalen optreedt. Het hoofdstuk vangt daarom aan met een economische beschouwing van het gebruiksgoed aardgas.

3.1 Het verbruiksgoed aardgas

In het vorige hoofdstuk is beschreven dat de allocatie van zogenaamde publieke goederen via de markt is uitgesloten. Aardgas voldoet als gebruiksgoed niet aan de kenmerken van een publiek goed. Een eerste kenmerk is dat de consumptie van het goed door iedereen tegelijkertijd kan plaatsvinden (*non-rival goods*). Dit is voor het gebruiksgoed aardgas niet het geval. Er is sprake van rivaliteit tussen bedrijven en consumenten onderling: aardgas is een schaars goed, de voorraad is immers beperkt (Kocsis et al., 2013). Daarnaast heeft een publiek goed een tweede kenmerk, niemand is van het gebruik van het goed uit te sluiten (*non-excludable goods*). Ook hier voldoet het gebruiksgoed aardgas niet aan. Het is mogelijk om bedrijven en consumenten uit te sluiten van het gebruik van aardgas. Leveranciers zijn in de gelegenheid om partijen af te sluiten wanneer bijvoorbeeld de energierekening niet betaald is (Kocsis et al., 2013). Gezien het voorgaande kwalificeert aardgas niet als een publiek goed. Economisch gezien kan de allocatie van aardgas dus via de markt plaatsvinden.

Wel speelt er bij het verbruik van aardgas een andere vorm van marktfalen. Het verbruiksgoed aardgas is een voorziening die aan leidingen gebonden is. De productie en consumptie zijn rechtstreeks en voortdurend met elkaar verbonden middels een omvangrijk systeem. De leidingen in het systeem vertonen kenmerken van een natuurlijk monopolie. De exploitatie van één centraal leidingensysteem is doorgaans doelmatiger dan verschillende leidingen. Dit verschijnsel staat bekend als het, in paragraaf 2.3 beschreven, schaalvoordeel. Wanneer het schaalvoordeel zo sterk is dat gegeven de omvang van de markt slechts één aanbieder tegen de laagste kosten kan leveren, ontstaat een natuurlijk monopolie. Uit een oogpunt van maatschappelijke doelmatigheid is er in deze situatie voor gekozen om het monopolistische beheer en eigendom van de leidingen in handen van de overheid te leggen.

3.2 Nederlandse aardgasketen

Volgens de literatuur is de Nederlandse aardgasketen grofweg te verdelen in drie verschillende schakels: de productie, het transport en het eindgebruik. Binnen de keten onderscheiden Mulder en Zwart (2006) vervolgens drie markten: 1) de exploratie en productie, 2) de binnenlandse markt voor transport en distributie, import en internationaal transport, opslag en handel en 3) de *retail* markt. Hoewel de productie, import, opslag en handel aparte koppelingen vormen binnen de aardgasketen zijn deze activiteiten wel sterk gerelateerd aan de keten. De activiteiten wedijveren namelijk op dezelfde markt: de *wholesale* markt voor aardgas.⁹

⁹ Met de *wholesale* markt wordt de markt voor de *commodity* gas bedoeld, gedifferentieerd naar tijdperiode en kwaliteitslabel.

Productie

De productie van aardgas start met de exploratie van aardgasreservoirs. De reservoirs bevinden zich niet alleen op het Nederlands territorium, maar ook op het continentaal plat (Noordzee). Zodra de reservoirs zijn gelokaliseerd, worden deze leeggemaakt. Pijpleidingen transporteren het geproduceerde aardgas vervolgens naar het hogedruk transportnetwerk. Daar vindt de verkoop van het aardgas op de *wholesale* markt plaats.

In Nederland houdt zich een beperkt aantal bedrijven bezig met de exploratie en productie van aardgas. Het zijn de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) - een gemeenschappelijke onderneming van Shell en Exxon - en een aantal buitenlandse bedrijven.

In dit deel van de keten reguleert de overheid de toegang tot gasvelden via het toedelen van vergunningen. De competitie tussen de bedrijven op een bepaald gasveld kan namelijk leiden tot een te hoog productieniveau in een te korte periode. Hardin (1968) beschreef dit probleem in *The Tragedy of the Commons*. De benutting van gasvelden is het meest efficiënt als er een gecoördineerde afstemming plaatsvindt (Mulder en Willems, 2009). Individuele bedrijven houden bij hun productietempo geen rekening met de gevolgen voor de totale hoeveelheid te winnen gas. Alleen een spaarzaam gebruik van het gasveld leidt tot voldoende capaciteit voor ieder bedrijf om economisch voordeel te behalen. De rol van de overheid in dit deel van de keten richt zich op de borging van publieke belangen, zoals de betrouwbaarheid en duurzaamheid van de aardgasvoorziening.

Transport

Dit deel van de keten onderscheidt twee aardgasnetwerken: het landelijke transportnetwerk (hogedruk) en de regionale distributienetwerken (lagedruk). Het landelijk transportnetwerk is door interconnectoren verbonden met Duitsland, België, Noorwegen en het Verenigd Koninkrijk. Bovendien verbindt het landelijk transportnetwerk de regionale distributienetwerken. Het landelijke en de regionale aardgasnetwerken vormen samen de essentiële infrastructuur die nodig is om andere partijen met elkaar te laten handelen en het aardgas aan de consumenten te leveren.

De beheerder van het landelijk transportnetwerk is Gasunie Transport Services (GTS). Het beheer van de regionale netwerken is in handen van zeven beheerders, waaronder Liander. Netbeheerders zijn monopolisten. De realisatie van een aardgasnetwerk gaat gepaard met hoge initiële kosten en ook schaalvoordelen. In dit geval zijn er langs een natuurlijke weg monopolies ontstaan (Mulder en Willems, 2009). Wanneer een onderneming eenmaal de investering in de infrastructuur (het vaste kapitaal) heeft gedaan, is er geen plek meer voor een tweede aanbieder (Eijgelshoven, 2010). Het monopolie is bij wet geregeld. Dit betekent dat de concessie om het product te leveren, in dit geval het transport en de distributie van aardgas, slechts aan één partij is verleend. De overheden zijn bovendien eigenaar van de monopolistische netbeheerders.

Door het monopolie kunnen netbeheerders meer kosten maken dan noodzakelijk is en deze hogere kosten in rekening brengen bij bedrijven en consumenten. Om dit te voorkomen, houdt de overheid toezicht en reguleert ze, via de Autoriteit Consument en Markt (ACM), de tarieven die netbeheerders bij bedrijven en consumenten in rekening mogen brengen. Tegelijkertijd zorgt de overheid voor voldoende inkomsten om een betrouwbare gasvoorziening te kunnen garanderen. De overheid tracht in dit deel van de keten de publieke belangen, zoals de betaalbaarheid, leveringszekerheid en betrouwbaarheid van de aardgasvoorziening te borgen.

In de productie-, en transportschakels vinden ook activiteiten zoals de import, opslag en handel van aardgas plaats. Ook hier vervult de overheid een rol om gebreken bij de marktwerking te herstellen. Zo is de Staat aandeelhouder van Energie Beheer Nederland (EBN) dat gasvelden exploiteert en van GasTerra dat handelt in aardgas. Daarnaast houdt de Staat in dit deel van de keten via het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) toezicht op de delfstoffen- en energiewinning en de veiligheid van het gasnetwerk. Het voert te ver om al

deze taken, marktgebreken en publieke belangen in deze studie te beschrijven. EBN, GasTerra en SodM zijn daarom niet opgenomen in tabel 3.1.

Eindgebruik

In de laatste schakel van de keten bevinden zich de leveranciers en eindgebruikers van aardgas. De leveranciers verkopen het aardgas aan de eindgebruikers: de bedrijven en consumenten.

In Nederland zijn er 56 gasleveranciers, waaronder bijvoorbeeld Nuon en Essent.¹⁰ Het toetreden tot de retailmarkt van aardgas is niet vrij. De overheid regelt de toegang tot deze markt via het toedelen van vergunningen. Om een vergunning te krijgen hebben gasleveranciers een leveringsplicht, moet de levering betrouwbaar zijn en tegen redelijke tarieven en voorwaarden. Met het vergunningstelsel dient de overheid publieke belangen zoals de betrouwbaarheid, de leveringszekerheid en de betaalbaarheid van de gaslevering.

Een niet onbelangrijk effect van het gebruik van aardgas is de uitstoot van onder meer CO₂. Door de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen stijgt de temperatuur op aarde waardoor het klimaat verandert. De betrokken partijen nemen het maatschappelijke gevolg van klimaatverandering niet mee in hun transacties. Het negatieve externe effect dat optreedt bij het gebruik van aardgas wordt door de betrokken partijen niet geïnternaliseerd in de prijs. Volgens Mulder en Willems (2009) is daarvoor het aantal partijen te groot (vrijwel iedereen), terwijl andere spelers nog niet bestaan (toekomstige generaties). Om dit marktfalen te corrigeren, beprijst de overheid de uitstoot van CO₂ door bijvoorbeeld belastingen te heffen. Wanneer overheidsoptreden in zo'n situatie achterweg blijft, leidt het externe effect tot een overmatig gebruik van aardgas. De rol van de overheid richt zich hier voornamelijk op het publieke belang duurzaamheid. Paragraaf 3.3 gaat verder in op het optreden van deze externaliteit bij het gebruik van aardgas in de gebouwde omgeving.

Tabel 3.1 bevat een samenvattend overzicht van de beschreven onderdelen van de aardgasketen, de betrokken partijen, de rol van de overheid en het te dienen publieke belang.

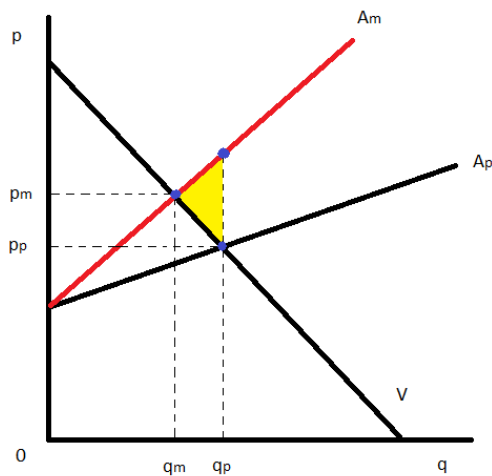
Tabel 3.1: Samenvattend overzicht

Keten	Partijen	Rol overheid	Publiek belang
Productie	NAM	Regelgever	Betrouwbaarheid
	Internationale bedrijven	Aandeelhouder	Duurzaamheid
		Toezichthouder	
Transport	GTS en regionale	Toezichthouder	Betaalbaarheid
	Netbeheerders	Aandeelhouder	Betrouwbaarheid
		Regelgever	Leveringszekerheid
Eindverbruik	Leveranciers	Regelgever	Betaalbaarheid
	Bedrijven en consumenten		Betrouwbaarheid
			Leveringszekerheid
			Duurzaamheid

¹⁰ <https://www.acm.nl/nl/onderwerpen/energie/energiebedrijven/vergunningen/vergunninghouders-gas> (geraadpleegd: 3 november 2018).

3.3 Gebruik aardgas in gebouwde omgeving

In de gebouwde omgeving gebruiken bedrijven en consumenten het aardgas onder meer om de kantoren en woningen te verwarmen. De vorige paragraaf beschreef dat de betrokken partijen het maatschappelijke gevolg zoals klimaatverandering niet meenemen in hun transactie. Met andere woorden, het negatief externe effect dat optreedt bij de consumptie van aardgas is door de genoemde partijen niet geïnternaliseerd in de prijs die bedrijven en consumenten voor het aardgas betalen. De maatschappelijke kosten van het aardgasgebruik zijn in zo'n situatie dus hoger dan de prijs die partijen ervoor betalen. Dit leidt tot een groter gebruik van aardgas dan vanuit welvaartseconomisch oogpunt wenselijk is. Het economische model in figuur 3.1 geeft deze situatie vereenvoudigd weer.



Figuur 3.1: marktevenwicht en maximale welvaart bij negatieve externe effecten

In de figuur is V de vraagcurve van aardgas. De curve A_p toont de marginale kosten van particuliere producenten. De marginale kosten voor de maatschappij als geheel zijn weergegeven in curve A_m (in rood). Het monetair gemaakte negatieve externe effect, dat optreedt bij het gebruik van aardgas, komt tot uitdrukking in het verschil tussen de curven A_p en A_m . De curven lopen uiteen omdat zogenaamde *stock pollutants*, zoals broeikasgassen accumuleren over de tijd (Centraal Planbureau, 2016). Sterker nog, naarmate de concentratie van CO_2 in de atmosfeer groter is, tikt de schade van de uitstoot van een extra ton CO_2 des te zwaarder aan (Centraal Planbureau, 2016). De hellingshoek van de aanbodgrafiek wordt daarom steeds steiler.

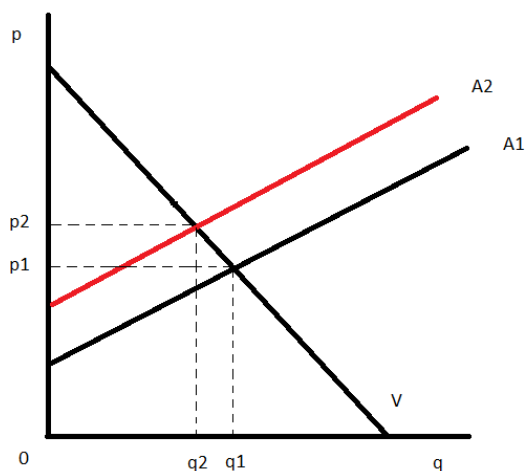
Wanneer de markt zijn gang gaat, ligt het marktevenwicht op basis van de vraag (V) en het aanbod van de particuliere producenten (A_p) in punt (p_p, q_p) . Dit is anders wanneer de marginale kosten voor de maatschappij als geheel ook in beschouwing worden genomen. Het marktevenwicht ligt dan in punt (p_m, q_m) . Bij een ongestoorde werking van de markt is de aardgasproductie te groot: $q_p > q_m$. Daarnaast is de marktprijs voor het aardgas te laag en de consumptie te hoog. Dit komt omdat de marktprijs niet gebaseerd is op de maatschappelijke kosten, maar op de private kosten. In het algemeen geldt bovendien dat bij een overproductie van een goed er vanuit een maatschappelijk oogpunt te veel productiefactoren in de betrokken sector zijn ingeschakeld (Eijgelshoven, 2010).

De curven laten zien dat de markt van het eindgebruik van aardgas in de gebouwde omgeving faalt. Dit leidt tot een welvaartsverlies ter grootte van het geel gemarkeerde vlak. Er komt geen maatschappelijk welvaartsoptimum tot stand.

3.4 Vervuiler betaalt

In de praktijk blijkt het moeilijk om de externaliteit die optreedt door de aardgasconsumptie in de gebouwde omgeving te verhelpen. Het verlagen van de CO₂-emissie aan de bron is, in tegenstelling tot NO_x (fijnstof) nog maar nauwelijks mogelijk. Roetfilters op uitlaten zijn een goed voorbeeld van maatregelen die de uitstoot van NO_x bij de bron verminderen. Het toepassen van een dergelijke bronmaatregel bij CO₂ is gevonden in 'Carbon Capture and Storage' (CCS). Het is een techniek die de CO₂ bij de bron afvangt en opslaat. CCS is in het ontwerp van het Klimaatakkoord (2018) opgenomen als een noodzakelijke maatregel voor de sector industrie om de CO₂-doelstellingen te halen.

Om de consumptie van aardgas in de gebouwde omgeving terug te dringen, kondigde de regering in het regeerakkoord (2017) aan om de belasting op aardgas te verhogen. In het nationaal Klimaatakkoord is dit voornemen nog eens onderstreept en aangescherpt. Door deze maatregel wil de overheid gebruikers van het vervuilende aardgas zwaarder belasten, volgens het principe van 'de vervuiler betaalt'. Op deze manier belast de overheid de milieuschade die ontstaat door het gebruik van aardgas (Pigouviaans) door aan de vervuilende partij. Meer economisch, de overheid internaliseert het negatief externe effect van klimaatverandering en bodemverzakking in de prijs voor aardgas. De vraag is wel of deze maatregel in de praktijk het gewenste effect sorteert. Het economische model in de figuren 3.2 en 3.3 beantwoordt deze vraag.

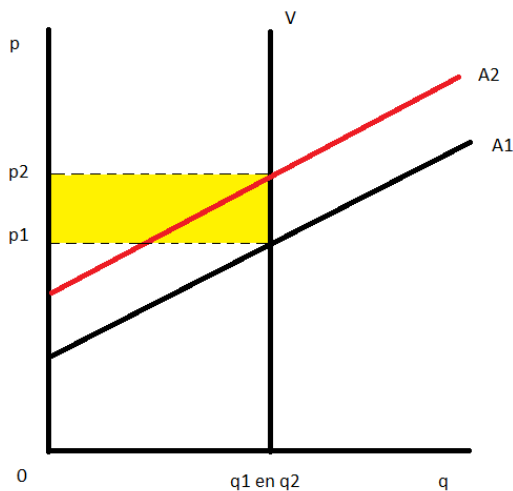


Figuur 3.2: marktevenwicht en maximale welvaart bij belastingheffing

In figuur 3.2 is V de vraagcurve en A₁ de aanbodcurve van aardgas. Wanneer de overheid geen belasting heft, komt het marktevenwicht tot stand in het punt (p₁, q₁). Door het heffen van een belasting op het gebruik van aardgas verschuift aanbodcurve A₁ naar A₂ (in rood). De belasting beïnvloedt de aanbodcurve omdat er afwenteling van de belasting plaatsvindt: de door de producenten af te dragen heffing vertaalt zich in een stijging van de door bedrijven en consumenten te betalen marktprijs. Met belastingheffing komt het marktevenwicht tot stand in het punt (p₂, q₂). Vanwege de hogere prijs voor aardgas neemt de vraag ernaar

af en lijkt belastingheffing een effectieve overheidsmaatregel. Echter in de praktijk is de vraag naar energie inelastisch, waardoor een verandering van de aardgasprijs voornamelijk leidt tot overdrachten van welvaart tussen consumenten en producenten en minder tot een verandering in het volume van het energiegebruik (Koopmans et al., 2018). Bovendien zijn er voor bedrijven en consumenten in de gebouwde omgeving nog geen reële alternatieven voor aardgas.

Figuur 3.3 geeft de beschreven situatie van een inelastische vraag in het economisch model weer. Bij een inelastische vraagcurve V (in zwart) en een aanbodcurve inclusief belasting A_2 komt een marktevenwicht tot stand in punt (p_3, q_3) .



Figuur 3.3: marktevenwicht en maximale welvaart bij inelastische vraag

In dit punt is de prijs van aardgas gestegen, maar de hoeveelheid aardgas is niet afgenomen. Bedrijven en consumenten blijven het aardgas dus gebruiken, maar tegen een hogere prijs. Deze situatie leidt tot een welvaartsverlies voor de consument ter grootte van het geel gemarkeerde vlak. Compensatie van dit verlies kan plaatshebben via de besteding van de opbrengsten van de heffing.

Het heffen van een belasting op de consumptie van aardgas in de gebouwde omgeving lost het marktfalen enigszins op, maar er is nog geen sprake van een maatschappelijk welvaartsoptimum.

4 METHODOLOGIE

Het vorige hoofdstuk laat zien dat de huidige warmtevoorziening in de gebouwde omgeving leidt tot negatieve externe effecten. De markt faalt en er ontstaat geen maatschappelijk welvaartsoptimum. Het heffen van een belasting op het gebruik van aardgas corrigeert het optredende marktfalen niet volledig. Dit komt door de inelasticiteit van de vraag naar aardgas. De verduurzaming van de warmtevoorziening van de Nederlandse woningvoorraad komt daarom nauwelijks van de grond. De vraag stelt zich hoe het probleem in de gebouwde omgeving dan wel moet worden opgelost.

4.1 Maatschappelijke kosten-batenanalyse

Op de lange termijn blijft de vraag naar aardgas niet inelastisch. De Energieagenda (Ministerie van Economische Zaken, december 2016) beschrijft beleidsalternatieven voor het gebruik van aardgas in de gebouwde omgeving, te weten: warmtenetten, all-electric verwarming door middel van warmtepompen en hernieuwbare gasen in het bestaande aardgasnetwerk. Om de welvaartseffecten van deze alternatieven in beeld te brengen, is gekozen om een maatschappelijke kosten-batenanalyse op te stellen (MKBA). Een MKBA brengt niet alleen de direct zichtbare financiële kosten en baten (directe effecten) in beeld maar ook andere zaken die voor burgers en bedrijven van belang zijn. Denk aan werkgelegenheid (indirecte effecten) en leefklimaat (externe effecten). In de economische literatuur geldt een MKBA als een waardevol onderzoeksinstrument dat stevig is verankerd in de analyse van welvaart (Boardman et al., 2006). Het vormt bij uitstek het instrument om een welvaartseconomisch denkkader toe te passen en vormt het sluitstuk van de analyse van de wenselijkheid van overheidsingrijpen (Baarsma et al., 2010). Volgens Teulings et al. (2003) ontstaat de noodzaak om een MKBA op te stellen als er belangrijke externe effecten zijn die een rol van de overheid in beginsel gewenst maken. De MKBA biedt een systematische methode om de kosten en baten van overheidsbeleid voor de samenleving in beeld te brengen. Daarnaast kan een MKBA de verdeling van de kosten en baten van de voorgestelde beleidsmaatregel over de betrokken partijen zichtbaar maken. Deze studie gebruikt de MKBA enkel voor de eerste doelstelling. De verdeling van de verdelingseffecten blijft in deze studie buiten beschouwing.

4.2 Afbakening

In de studie is ervoor gekozen om de effecten van de voorgestelde beleidsalternatieven op gebouwniveau te bepalen. Met andere woorden, wat zijn de effecten van het respectievelijke beleidsalternatief die toe te schrijven zijn aan het gebruik en de aanpassing van de bouwkundige staat van één individuele woning. Hiertoe is allereerst de brochure ‘Voorbeeldwoningen 2011. Bestaande bouw’ van het Agentschap NL geraadpleegd (Agentschap NL, 2011)(hierna: de brochure). In de brochure zijn voor dertig woningen de bouwkundige en installatietechnische kenmerken beschreven.

Elke voorbeeldwoning vertegenwoordigt een deel van de Nederlandse woningvoorraad. Voor de MKBA is gekozen voor een rijwoning gebouwd in de periode 1975-1991, zie onderstaande afbeeldingen. Deze woning vertegenwoordigt met 879.000 woningen, 12,9% van de Nederlandse woningvoorraad. De keuze voor deze woning biedt in beginsel de mogelijkheid de uitkomsten van de MKBA te gebruiken om uitspraken te doen over een substantieel deel van de Nederlandse woningvoorraad.



Afbeelding: rijwoningen gebouwd in periode 1975-1991 (Agentschap NL, 2011)

In de onderstaande tabel 4.1 zijn de karakteristieken, installaties en energieprestaties van de voorbeeldwoning opgenomen (RVO, 2011). In het vervolg van deze studie is deze informatie gebruikt.

Tabel 4.1: Karakteristieken voorbeeldwoning

Type	Rijwoning
Bouwjaar	1975-1991
Gebruiksoppervlak (m ²)	106,0
Aantal bewoners	3
Ruimteverwarming	HR 107 ketel
Warmtapwater	Combitap HR
Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
Huidig energielabel	D
Gasgebruik (m ³ /jaar)	1.542
CO ₂ emissie (kg/jaar)	3.268
Energiekosten (€ exclusief BTW per jaar)	1.201

4.3 Aannames MKBA

Voor het uitvoeren van de MKBA zijn de onderstaande aannames gehanteerd:

1. De effecten van drie beleidsopties zijn berekend ten opzichte van het nulalternatief. Door van elk alternatief de kosten en baten in beeld te brengen, wordt duidelijk welk alternatief voor de gekozen voorbeeldwoning het beste scoort ten opzichte van een voortzetting van aardgasgebruik in dezelfde woning.

2. Welvaartsveranderingen van beleidsmaatregelen zijn uitgedrukt in de betalingsbereidheid van mensen voor de effecten ervan. De betalingsbereidheid geeft weer wat iemand (maximaal) over heeft voor de diensten (en goederen) die door het voorgenomen beleidsmaatregelen direct of indirect worden gegenereerd (Romijn en Renes, 2013).
3. Eén van de belangrijkste methoden voor het bepalen van de effecten van de maatregelen is de methode gebaseerd op kengetallen (Romijn en Renes, 2013). De MKBA in deze studie is gebaseerd op kengetallen.
4. Het basisjaar van de MKBA is 2019. De MKBA gaat ervan uit dat de (gedeeltelijke) vervanging van de door aardgas gestookte warmtevoorziening in de voorbeeldwoning in 2019 plaatsvindt.
5. Er is gekozen voor de tijdshorizon van het beleidsalternatief met de langste levensduur. Dit is een warmtenet. De levensduur bedraagt 30 jaar. De kosten en baten zijn daarom gekwantificeerd voor de periode 2019 tot 2049. Gedurende deze periode blijft het op te lossen probleem actueel omdat de verduurzaming van de warmtevoorziening van de vastgoedvoorraad uiterlijk 2050 gereed moet zijn.
6. De berekende effecten zijn contant gemaakt naar een basisjaar (2019) met een discontovoet die de Werkgroep Discontovoet (2015) adviseert in het opstellen van MKBA's. De standaarddiscontovoet is 3%. Voor publieke fysieke investeringen (energienetwerken) is de discontovoet 4,5% en voor milieueffecten (CO₂ reductie) 2%.
7. Voor het indirecte effect werkgelegenheid en het externe effect voorzieningszekerheid is ervoor gekozen om het effect kwalitatief te bepalen en aan te duiden met een (+) of (-). Bovendien is aangegeven wat de invloed van het effect kan zijn op de uitkomsten van de MKBA.
8. De waardering van het effect is zoveel als mogelijk gebaseerd op marktprijzen en uitgedrukt in het prijspeil van het gekozen basisjaar 2019. Voor ongeprijsde effecten, zoals de CO₂ reductie is gebruik gemaakt van de Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (CPB, 2016).

4.4 Stappenplan MKBA

Het opstellen van een MKBA gaat volgens een aantal onderzoeksstappen. In de 'Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse' (Romijn en Renes, 2013) zijn deze stappen uiteengezet. De in deze MKBA genomen onderzoeksstappen zijn weergegeven in tabel 4.2. Bovendien is aangegeven in welk hoofdstuk de betreffende stap is uitgewerkt. De stappen 4 en 5 zijn in de MKBA tezamen genomen in de paragrafen 5.1 t/m 5.3.

Tabel 4.2: Stappenplan van MKBA

Stap	Hoofdstuk (§)
1. Probleemanalyse	1 (1.2)
2. Vaststellen nulalternatief	4 (4.5)
3. Definitie beleidsalternatieven	4 (4.6)
4. Bepalen effecten en baten	5 (5.1 t/m 5.3)
5. Bepalen kosten	5 (5.1 t/m 5.3)
6. Opstellen overzicht van kosten en baten	5 (5.4)
7. Resultaten presenteren	5 (5.4)
8. Gevoeligheidsanalyse	5 (5.5)

4.5 Nulalternatief

Het nulalternatief beschrijft de wereld waarin een verwezenlijking van de voorgenomen beleidsalternatieven niet plaatsvindt: hoe ziet de wereld eruit als er niets of weinig gebeurt. Wel omvat het nulalternatief bestaand beleid, voorgenomen maatregelen en kleinere ingrepen die het probleem gedeeltelijk oplossen en mitigeren (Romein en Renes, 2013). Het nulalternatief vormt het ijkpunt waartegen alle relevante beleidsalternatieven worden afgezet. In deze studie bestaat het nulalternatief uit een voortzetting van het gebruik van aardgas als warmtevoorziening in de gebouwde omgeving. Een korte beschrijving van het nulalternatief is opgenomen in tabel 4.3.

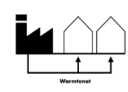
Tabel 4.3: Beschrijving nulalternatief

	In het nulalternatief vindt verwarming van de voorbeeldwoning plaats door middel van een met aardgas gestookte HR-ketel. Deze manier van verwarmen, wordt voortgezet gedurende de gehele tijdshorizon van de MKBA.
---	--

4.6 Beleidsalternatieven

Om de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving te verduurzamen, stelt de overheid in haar Energieagenda een drietal beleidsalternatieven voor het gebruik van aardgas voor. Dit zijn warmtenetten, all-electric verwarming door middel van warmtepompen en hernieuwbare gasen in het bestaande aardgasnetwerk. Het laatste alternatief maakt geen onderdeel uit van de MKBA. Het gebruik van hernieuwbare gasen, zoals groen gas en waterstof is een alternatief dat nog in de kinderschoenen staat. Er zijn nog te weinig kengetallen beschikbaar om een goede vergelijking te kunnen maken met de twee andere alternatieven. In de MKBA is daarom gewerkt met een hybride alternatief. Dit alternatief is in het ontwerp van het Klimaatakkoord (2018) aangemerkt als een mogelijke (tussen)oplossing voor wijken waar het aardgasnetwerk tot na 2030 blijft liggen. In tabel 4.4 zijn de beleidsalternatieven die zijn meegenomen in de MKBA kort uiteengezet.

Tabel 4.4: Beleidsalternatieven

	Het beleidsalternatief All-electric houdt in dat het verwarmen van de voorbeeldwoning vanaf 2019 uitsluitend plaatsvindt door middel van een elektrische lucht-water warmtepomp. ¹¹ Ook koken gebeurt op elektriciteit. De gasinfrastructuur is in dit alternatief niet langer noodzakelijk.
	In het beleidsalternatief Warmtenet vindt het verwarmen van de voorbeeldwoning plaats door de woning in 2019 aan te sluiten op een stadswarmtenet. ¹² Koken gebeurt niet meer op aardgas maar op elektriciteit. De gasinfrastructuur is in dit alternatief niet langer noodzakelijk.
	In het beleidsalternatief Hybride vindt verwarming van de voorbeeldwoning vanaf 2019 deels plaats door middel van een HR-ketel en deels met een elektrische lucht-waterpomp. De gasinfrastructuur blijft in dit alternatief behouden.

Het volgende hoofdstuk brengt de welvaartseffecten van het nulalternatief en de beleidsalternatieven in beeld.

¹¹ Er is gekozen voor een lucht-water warmtepomp omdat een bodemwarmtepomp een installatie van warmtewisselaars in de bodem vereist wat in bestaande bouw lastig kan zijn.

¹² Er is gekozen voor een hoge-temperatuur (>70 °C) warmtenet omdat voor een lage-temperatuur warmtenet in bestaande bouw verregaande isolatie noodzakelijk is. Bovendien is er dan weinig onderscheid meer met het beleidsalternatief All-electric.

5 MAATSCHAPPELIJKE KOSTEN-BATENANALYSE

Dit hoofdstuk brengt de effecten van de beleidsalternatieven voor aardgas in de gebouwde omgeving in beeld. Meer precies: wat zijn de kosten en baten van drie beleidsalternatieven voor de voorbeeldwoning ten opzichte van een voortzetting van het gebruik van aardgas in diezelfde woning. Het hoofdstuk beschrijft allereerst de directe effecten, indirecte effecten en externe effecten van de beleidsalternatieven. Daarna is het verschil ten opzichte van het nulalternatief en het saldo bepaald. Het hoofdstuk vervolgt met een presentatie en een analyse van de resultaten. Tot slot is beschouwd of effectief overheidsoptreden in deze opgave mogelijk is.

5.1 Directe effecten

Directe effecten zijn effecten in de markt waar wordt ingrepen (Romein en Renes, 2013). In deze MKBA betreft het de markt voor verwarmingstechnologie.

Kosten technologieën

De overstap naar een van de beleidsalternatieven zal in de praktijk vaak plaatsvinden op een moment dat de HR-ketel is afgeschreven. Om die reden zijn de kosten van de nieuwe technologieën vergeleken met de kosten van de aanschaf van een nieuwe HR-ketel. In de MKBA zijn de kentallen uit het rapport 'Actualisatie en uitbreiding investeringskosten maatregelen EPA-Maatwerkadvies Bestaande Woningbouw 2017' (Arcadis, 2017) gebruikt.¹³ De aanschaf van een nieuwe HR-ketel in het nulalternatief bedraagt **€2.297,-** (maatregel 42b: combi tap quinta HR-107 i.p.v. combi tap VR).

In het alternatief All-electric is gerekend met een lucht-water warmtepomp (maatregel 045b: warmtepomp bron lucht). De overige kosten bestaan in dit alternatief uit radiatoren voor een lage temperatuur, maximaal 55°C (maatregel 065: radiatoren T=35-55). De kosten voor het alternatief Warmtenet bestaan uit kosten voor (een deel van) de warmte-infrastructuur, de leiding (maatregel 131: van individueel naar warmte door derden).¹⁴ In het alternatief Hybride is gerekend met een hybride lucht-water warmtepomp (maatregel 159: warmtepomp hybride) en een HR-ketel (maatregel 42b: combi tap quinta HR-107 i.p.v. combi tap VR).

Tabel 5.1: Eenmalige kosten technologieën en het verschil t.o.v. aardgas (in euro's exclusief BTW)

	Technologie	Kosten	Vershil
Beleidsalternatief: All-electric	045b: lucht-water warmtepomp	14.229	+11.932
	065: radiatoren T=35-55	3.163	+3.163
Beleidsalternatief: Warmtenet	131: van individueel naar warmte door derden	3.515	+1.218
Beleidsalternatief: Hybride	199: hybride lucht-water warmtepomp	12.750	+10.453
	042b: combi tap quinta HR-107	2.297	+2.297

¹³ Het betreffen de kosten voor een maatregel voor een enkele (gemiddelde) eengezinswoning (op zich zelf staand).

¹⁴ De ACM stelt geen tarieven vast voor de aansluitbijdrage bij de aanleg van een nieuw warmtenet. De hoogte hiervan komt tot stand in onderhandelingen tussen marktpartijen (leveranciers/gemeenten/projectontwikkelaars) en is daarom niet gereguleerd. In de MKBA is ervan uitgegaan dat de kosten voor de aanleg van de infrastructuur ook de aansluitbijdrage omvat.

In de MKBA is rekening gehouden met een vervanging van de HR-ketel en de (hybride) lucht-water warmtepomp in 2034 ($t=15$). Het warmtenet heeft een levensduur van 30 jaar en de radiatoren van > 30 jaar. De kosten voor een vervanging van het warmtenet en radiatoren zijn daarom niet meegenomen.

Voor een inschatting van de kostendaling van de HR-ketel en de (hybride) lucht-water warmtepomp over de tijd is gebruik gemaakt van leercurves uit het rapport 'Vesta 2.0. Uitbreidingen en dataverificaties' (CE Delft, 2013).

De HR-ketel is bijna uitontwikkeld. Dit betekent dat de kosten voor een HR-ketel in de komende jaren nog licht zullen afnemen. Voor de HR-ketel is uitgegaan van de onderstaande waarden (CE Delft, 2013).

Tabel 5.2: Waarden leercurves HR-ketel

	2010	2020	2030	2040	2050
Minimaal	100	88	79	73	68
Maximaal	100	93	88	85	83
Gemiddeld	100	90,5	83,5	79	75,5
Kosten HR-ketel (tegen prijsniveau 2019)		2.297	2.119	2.005	1.916

Voor de kostendaling van de HR-ketel op $t=15$ is in de MKBA de waarde in 2030 gehanteerd. Bovendien is gerekend met het gemiddelde tussen de minimale en maximale waarde. De kosten voor een nieuwe HR-ketel in 2034 bedragen **€2.119,-**.

Voor de lucht-water warmtepomp en de hybride lucht-water warmtepomp zijn dezelfde leercurves gehanteerd (Ecofys, 2015). Er is uitgegaan van de onderstaande waarden (CE Delft, 2013).

Tabel 5.3: Waarden leercurves lucht-water warmtepomp

	2010	2020	2030	2040	2050
Minimaal	100	72	58	49	43
Maximaal	100	80	70	64	59
Gemiddeld	100	76	64	56,5	51
Huidige kosten:					
Lucht-water warmtepomp		14.229	11.982	10.578	9.548
Hybride lucht-water warmtepomp		12.750	10.736	9.479	8.556

In de onderstaande tabel zijn de eenmalige vervangingskosten voor de (hybride) lucht-water warmtepomp in 2034 opgenomen.

Tabel 5.4: Eenmalige vervangingskosten technologieën en het verschil t.o.v. aardgas (in euro's exclusief BTW)

	Technologie	Kosten	Vershil
Beleidsalternatief: All-electric	Lucht-water warmtepomp	11.982	+9.863
Beleidsalternatief: Hybride	Hybride lucht-water warmtepomp	10.736	+8.617
	HR 107	2.119	+2.119

Kosten isolatie

De voorbeeldwoning heeft een energielabel D. In het nulalternatief vindt geen extra isolatie van de woning plaats. Voor een rendabele technologie is op basis van 'expert judgement' uitgegaan van de volgende uit te voeren isolatiesprongen: voor de elektrische warmtepomp minimaal energielabel B, voor het warmtenet minimaal energielabel D en de hybride warmtepomp minimaal energielabel E. Voor een warmtenet, hoge temperatuur en de hybride warmtepomp volstaan het huidige energielabel D. Extra isolatie is in deze alternatieven niet noodzakelijk. Voor een rendabele All-electric-oplossing is wel extra isolatie vereist: een isolatiesprong van energielabel D naar B. Om de kosten voor de isolatiesprong te berekenen, is gebruik gemaakt van het rapport 'Een klimaatneutrale warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving, update 2016' (CE Delft, 2016). De investering in isolatiestappen van grondgebonden woningen van energielabel D naar B bedraagt €80,- per m². De voorbeeldwoning heeft een gebruiksoppervlakte van 106 m².

Tabel 5.5: Kosten isolatie en het verschil t.o.v. aardgas in euro's exclusief BTW

	Isolatiesprong energielabel	Kosten	Vershil
Beleidsalternatief: All-electric	D > B	8.480 (106 x 80)	+8.480
Beleidsalternatief: Warmtenet	Geen	-	
Beleidsalternatief: Hybride	Geen	-	

Voor de afschrijvingstermijn van isolatiemaatregelen is 40 jaar gehanteerd (Ecofys, 2015). Er is daarom in alle alternatieven geen rekening gehouden met vervangingsinvesteringen voor isolatie.

Verbruikskosten

Verbruik

Het jaarlijkse aardgasverbruik in de voorbeeldwoning bedraagt 1.542 m³. Het verbruik van aardgas blijft gedurende de gehele tijdshorizon van de MKBA gelijk. Voor de actuele energietarieven in de MKBA is de website van Qurrent geraadpleegd. De tarieven zijn opgenomen in de onderstaande tabel.¹⁵

¹⁵ Voor de tarievenblad zie: www.qurrent.nl/SiteFiles/doc/Tarieven-2019/2-2019/Tarievenblad-Qurrent-energie-variabel-Q1-2019.pdf.

Tabel 5.6: Tarieven in euro's exclusief netbeheerkosten

	Aardgas (per m ³)	Elektriciteit (per kWh)
Opbouw tarief		
- kale inkoopprijs	0,2366	0,0772
- regionale toeslag gas	0,0107	-
- opslagen	0,0526	0,0071
- energiebelasting	0,2931	0,0986
- opslag Duurzame Energie (ODE)	0,0524	0,0189
- garantie van Oorsprong (GVO)	-	0,0075
- CO ₂ compensatie	0,0024	-
- BTW	0,1360	0,0440
Totaal:	0,7839	0,2533

In de MKBA zijn de tarieven gehanteerd zonder energiebelasting, ODE, BTW en heffingskortingen. Dit zijn inkomsten die de overheid elders in de maatschappij weer uitgeeft en daar als een baat te boek staat. Dit betekent dat het gehanteerde aardgastarief (€/m³) als volgt is opgebouwd: kale inkoopprijs 0,2366, regiotoeslag 0,0107, opslagen 0,0526 en een CO₂-compensatie 0,0024 = 0,3023 €/m³.

De totale verbruikskosten van aardgas in het nulalternatief bedragen per jaar $1.542 * 0,3023 = \text{€}466,15$.

Om de jaarlijkse verbruikskosten van de beleidsalternatieven inzichtelijk te maken en om de kosten te kunnen vergelijken met de verbruikskosten van aardgas is in de eerste plaats het effectieve aardgasverbruik berekend. Het effectieve verbruik is berekend op basis van een bovenwaarde van de verbrandingswaarde van aardgas van 35,17 MJ/m³ en een rendement van 0,8079.¹⁶ Vervolgens is het effectieve aardgasverbruik omgerekend naar een warmtevraag in kilowattuur (kWh).

Het effectief aardgasverbruik is $1.542 * 35,17$ (bovenwaarde) $* 0,8079$ (rendement) = 43.814 MJ per jaar. De warmtevraag bedraagt $43.814 / 3,6 \text{ MJ} = 12.171 \text{ kWh}$.

Voor het alternatief All-electric is het van belang om de bovenstaande warmtevraag om te rekenen naar een elektriciteitsvraag. Daarvoor is allereerst het aandeel van ruimteverwarming, tapwater en koken in de totale ruimtevraag bepaald. Voor het aandeel tapwater is het kental 833 kWh (3 GJ) per persoon gehanteerd. De voorbeeldwoning telt gemiddeld drie bewoners. Het totale aandeel tapwater is 2.500 kWh. Het aandeel koken bedraagt 225 kWh. De restantvraag is toe te rekenen aan ruimteverwarming: $12.171 - (2.500 + 225) = 9.446 \text{ kWh}$. Om de effectieve elektriciteitsvraag te bepalen, is het rendement van de lucht-water warmtepomp van belang: hoeveel energie wordt geleverd voor elke kW die de warmtepomp verbruikt. Het rendement van een warmtepomp wordt uitgedrukt in de *coëfficiënt of performance* (COP). Voor ruimteverwarming, tapwater en

¹⁶ Zie bijlage bij besluit maximumprijs warmte 2019 via: www.acm.nl/nl/publicaties/besluit-maximumprijs-levering-warmte-2019.

koken zijn respectievelijk de volgende coëfficiënten gebruikt: 3.5, 2.5 en 1.0.¹⁷ Dit leidt tot de volgende effectieve elektriciteitsvraag voor 1) ruimteverwarming: $9.446/3.5 = 2.699$ kWh 2) tapwater: $2.500/2.5 = 1.000$ kWh en 3) koken: $225/1 = 225$ kWh. Het totaal aan effectieve elektriciteitsvraag bedraagt dan 3.924 kWh.

Het elektriciteitstarief (€/kWh) is als volgt opgebouwd: kale inkoopprijs 0,0772, opslagen 0,0071 en een GVO 0,0075 = 0,0918 €/kWh. De totale verbruikskosten elektriciteit per jaar bedragen $3.924 * 0,0918 = €360,22$.

Voor het alternatief Warmtenet is allereerst gekeken naar de warmtevraag voor ruimteverwarming en tapwater. Deze vraag bedraagt 9.446 kWh en 2.500 kWh = 11.946 kWh.

Het warmtetarief¹⁸ bestaat uit 1) een vast bedrag van €318,95 per aansluiting per jaar en 2) een variabel bedrag van €28,47 per GJ. Verder geldt 3) een meettarief van €25,89 per aansluiting per jaar en 4) een eenmalige aansluitbijdrage (BAK) van €1038,89. Voor de MKBA zijn de bovenstaande bedragen omgerekend naar bedragen exclusief BTW. Dit komt neer op de volgende bedragen: vast bedrag €263,59 en €23,53 per GJ. Het meettarief is €21,40 en de eenmalige aansluitbijdrage €858,59. Ten slotte zijn er 5) kosten¹⁹ voor de huur van de afleverset. Een afleverset is benodigd om de warmte over te dragen aan de radiatoren. De afleverset blijft in eigendom van de warmteleverancier. De huur van de afleverset is voor rekening van de eigenaar of huurder van de woning. Dit is een bedrag van €181,09 per jaar.

De eenmalige aansluitbijdrage is reeds opgenomen in tabel 5.4. De vaste kosten, het meettarief en de huur van de afleverset komen terug in tabel 5.7.

De verbruikskosten voor warmte zijn €23,53 per GJ ofwel per 278 kWh. De totale verbruikskosten zijn $(11.946/278)*23,53 = €1.011,11$ per jaar. Voor koken is wederom gerekend met 225 kWh en een elektriciteitstarief van 0,0918 €/kWh. De verbruikskosten voor elektriciteit bedragen $225*0,0918 = €20,66$ per jaar.

In het alternatief Hybride is een hybride lucht-water warmtepomp gecombineerd met een HR-ketel. Het grootste deel van de ruimteverwarming vindt plaats met de hybride warmtepomp. In de koude dagen vindt de ruimteverwarming plaats met een HR-ketel. Bij een woning met energielabel D is de inzet van de hybride warmtepomp 60% en van de HR-ketel 40% als kental gebruikt. Het gebruik van tapwater en koken wordt voortgezet op aardgas.

De vraag naar ruimteverwarming bedraagt 9.446 kWh. Daarvan wordt 60% verwarmd met de hybride warmtepomp. Dit komt neer op 5.668 kWh. De overige verwarming vindt plaats met een HR-ketel en bedraagt 3.778 kWh. De COP van een hybride warmtepomp is 4.²⁰ Het effectieve elektriciteitsverbruik voor ruimteverwarming komt daarmee op $5.668/4 = 1.417$ kWh. De totale verbruikskosten voor elektriciteit bedragen per jaar $1.417*0,0918 \text{ €/kWh} = €130,10$.

De warmtevraag voor de overige ruimteverwarming, tapwater en koken komt neer op respectievelijk 3.778 kWh, 2.500 kWh en 225 kWh. Het totaal bedraagt dan 6.503 kWh ofwel $6.503*3,6 \text{ MJ} = 23.410 \text{ MJ}$ per jaar. Het effectieve aardgasverbruik is $23.410/0,8079/35,17 = 824 \text{ m}^3$ per jaar. De totale verbruikskosten voor aardgas bedragen per jaar $824*0,30 \text{ €/m}^3 = €247,20$.

¹⁷ Zie www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/nationaal-expertisecentrum-warmte/instrumenten/uniforme-maatlat-gebouwde-omgeving.

¹⁸ Zie warmtetarieven via: <https://www.acm.nl/nl/warmtetarieven>.

¹⁹ Zie www.nuon.nl/media/consumenten/producten/stadsverwarming/nmda-principe-uitleg-tarieven-kvb-2019-v1.pdf. Let op: de kosten verschillen per warmteleverancier.

²⁰ Zie www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/nationaal-expertisecentrum-warmte/instrumenten/uniforme-maatlat-gebouwde-omgeving.

Het verbruik blijft in alle beleidsalternatieven gedurende de gehele levensduur van de MKBA gelijk.

Tabel 5.7: Kosten verbruik en het verschil t.o.v. aardgas in euro's exclusief BTW (per jaar)

	Verbruik	Vershil
Beleidsalternatief: All-electric		
- verbruik elektriciteit	360	-106
Beleidsalternatief: Warmtenet		
- verbruik warmte (ruimteverwarming en tapwater)	1.011	+545
- verbruik elektriciteit (koken)	21	+21
Beleidsalternatief: Hybride		
- verbruik elektriciteit	130	
- verbruik aardgas	247	
		-89

Levering

De vaste leveringskosten van aardgas bedragen €7,87 per maand ofwel **€94,94** per jaar exclusief BTW. In het beleidsalternatief All-electric vindt er geen levering van aardgas meer plaats. Voor de leveringskosten voor warmte zijn het vaste tarief, het meettarief en de huur van de afleverset opgenomen. De levering van aardgas in het beleidsalternatief Hybride blijft bestaan.

Tabel 5.8: Kosten levering en het verschil t.o.v. aardgas in euro's exclusief BTW (per jaar)

	Levering Aardgas	Levering Elektriciteit	Levering Warmte	Vershil
Beleidsalternatief: All-electric	-	n.v.t.	-	-95
Beleidsalternatief: Warmtenet	-	n.v.t.		
- vast tarief			264	
- meettarief			21	
- huur afleverset			181	
				+371
Beleidsalternatief: Hybride	95	n.v.t.	-	0

Er is geen kengetal gevonden voor de stijging van de vaste leveringskosten tot 2050. De kosten voor levering zijn daarom gedurende de gehele tijdhorizon van de MKBA gelijk.

Netbeheer

In het nulalternatief bestaan de netbeheerkosten voor aardgas uit vaste tarieven voor de aansluiting, het transport en de meetdienst. Overigens is ervan uitgegaan dat de voorbeeldwoning beschikt over een G6 gasmeter. Dit is standaardaansluiting voor huishoudens. De kosten bedragen per jaar €30,1490 (aansluiting), €17,9945 en €88,4760 (transport) en €21,3890 (meeting) exclusief BTW.²¹ Dit komt neer op een totaalbedrag van **€158,01** exclusief BTW per jaar.

In de beleidsalternatieven All-electric en Warmtenet is een gasaansluiting niet langer benodigd en zijn er niet langer netbeheerkosten voor aardgas. In het hybride alternatief blijft de gasaansluiting in stand en zo ook de kosten voor het netbeheer van aardgas. De netbeheerkosten voor elektriciteit veranderen niet. In het nulalternatief is immers al een elektriciteitsaansluiting aanwezig. Wel kan het zijn dat de netbeheerkosten voor elektriciteit stijgen, omdat de capaciteitsvraag van de warmtepompen een verzwaring van het elektriciteitsnet vereisen. In de paragraaf ‘Verzwaren elektriciteitsnetwerk’ zijn deze kosten in beeld gebracht.

De kosten voor het beheer van het warmtenet zijn al verdisconteerd in de leveringskosten voor warmte (tabel 5.6) en komen daarom niet terug.

Tabel 5.9: Kosten netbeheer en het verschil t.o.v. aardgas in euro's exclusief BTW (per jaar)

	Netwerk Aardgas	Verschil
Beleidsalternatief: All-electric	0	-158
Beleidsalternatief: Warmtenet	0	-158
Beleidsalternatief: Hybride	158	0

Er zijn geen kengetallen gevonden voor de ontwikkeling van de netbeheerkosten over 30 jaar. In de MKBA zijn daarom tot 2050 gelijk blijvende kosten gehanteerd.

Onderhoud

Voor de jaarlijkse onderhoudskosten in het nulalternatief is gerekend met een bedrag van **€121,32**.²² Vanaf t=15 is rekening geen rekening gehouden met lagere kosten voor onderhoud, omdat de vervangingsinvestering voor een HR-ketel niet substantieel is. Dit ligt anders voor het bepalen van de onderhoudskosten in het All-electric en Hybride alternatief. Op basis van ‘expert judgement’ is voor de onderhoudskosten een bedrag van 3% van de investeringskosten voor de nieuwe technologie gehanteerd. Vanaf t=15 geldt voor het bepalen van de onderhoudskosten 3% van de vervangingsinvestering voor een (hybride) lucht-water warmtepomp.

Voor het alternatief Warmtenet geldt dit niet. De onderhoudskosten zijn opgenomen in de vaste leveringskosten voor warmte (tabel 5.6).

²¹ Zie www.liander.nl/consument/aansluitingen/tarieven2019.

²² Zie bijlage bij besluit maximumprijs warmte 2019 via: www.acm.nl/nl/publicaties/besluit-maximumprijs-levering-warmte-2019.

Tabel 5.10: Kosten onderhoud en het verschil t.o.v. aardgas in euro's exclusief BTW (per jaar)

	Kosten	Vershil
Beleidsalternatief: All-electric	3% van 14.229= 427	+306
	3% van 11.982= 359 (vanaf t=15)	+238
Beleidsalternatief: Warmtenet	0	-121
Beleidsalternatief: Hybride		
- hybride lucht-water warmtepomp	3% van 12.750= 383	+262
- HR-ketel	121	+121
- hybride lucht-water warmtepomp	3% van 10.736= 322 (vanaf t=15)	+201
- HR-ketel	121 (vanaf t=15)	+121

Verwijderen gasaansluiting

Voor de kosten van het verwijderen van aardgas zijn de tarieven van netbeheerder Liander geraadpleegd. Het verwijderen van de gasaansluiting houdt in het weghalen van de meter, de aansluitkast en de aansluitleiding in de grond. De kosten zijn €567,77 (€687 inclusief BTW) per aansluiting (eenmalig). Als het verwijderen van gasaansluitingen op grote schaal aan de orde is, is het eveneens noodzakelijk om de hoofdleiding te verwijderen. Voor het verwijderen van de hoofdleiding is het kengetal €270,- gehanteerd (Ecofys, 2015)²³. In de MKBA is ervan uitgegaan dat dit alleen het geval is in het beleidsalternatief Warmtenet. In het hybride beleidsalternatief blijft de gasaansluiting in stand.

Tabel 5.11: Eenmalige kosten voor verwijderen gasaansluiting in euro's exclusief BTW

	Kosten	Vershil
Beleidsalternatief: All-electric	568	+568
Beleidsalternatief: Warmtenet	568	+568
	270	+270
Beleidsalternatief: Hybride	n.v.t.	n.v.t.

Verzwaren elektriciteitsnetwerk

Het nulalternatief is een voortzetting van het aardgasverbruik. Een verzwaring van het elektriciteitsnetwerk is in dit alternatief niet aan de orde. In de beleidsalternatieven All-electric en Hybride kan de situatie ontstaan dat door de toegenomen capaciteitsvraag van warmtepompen een verzwaring van het elektriciteitsnet

²³ In dit bedrag is ermee rekening gehouden dat ongeveer 60% van de capaciteit van de hoofdleidingen ingezet wordt door huishoudens. De overige leidingen blijven liggen.

(laagspanning)²⁴ noodzakelijk is. Op basis van ‘expert judgement’ en het rapport ‘Businesscase Hengstdal all-electric. Voor de totale kosten en opbrengsten van stakeholders’ (CE Delft, 2019) is rekening gehouden met een verzwaring van 2 kW per woning in het beleidsalternatief All-electric en 0,8 kW per woning in het beleidsalternatief Hybride. De kosten die de verzwaring met zich brengt, zijn afgeleid uit het rapport ‘Een klimaatneutrale warmtevoorziening gebouwde omgeving - update 2016’ (CE Delft, 2016) en bedragen €961,- per kW. De kosten voor de netverzwaring blijven gelijk tot 2050 (Ecofys, 2015).

Overigens is ervan uitgegaan dat de voorbeeldwoning beschikt over een 3-fase elektriciteitsaansluiting (3 x 25A). Dit is een standaardaansluiting voor huishoudens. Daarmee heeft de voorbeeldwoning voldoende capaciteit om de toename van de elektriciteitsvraag op te vangen (CE Delft, 2019). Een opwaardering van de aansluiting is daarom niet in de MKBA meegenomen.

Tabel 5.12: Eenmalige kosten voor verzwaren van het elektriciteitsnet in euro's exclusief BTW

	Kosten	Verschil
Beleidsalternatief: All-electric	1.922 (2x961)	+1.922
Beleidsalternatief: Warmtenet	n.v.t	
Beleidsalternatief: Hybride	769 (0,8x961)	+769

5.2 Indirecte effecten

Wanneer effecten doorwerken naar andere markten is er sprake van indirecte effecten. Relevante indirecte effecten omvatten in ieder geval de doorwerking op markten met significante gevolgen voor de welvaart (Romein en Renes, 2013). Voor deze studie is de arbeidsmarkt als relevant beschouwd.

Werkgelegenheid

De investering in de duurzame warmtevoorziening van een woning beïnvloedt de arbeidsmarkt. De effecten zullen optreden gedurende de tijdshorizon van de MKBA en zijn daarom beschouwd. Overigens zijn alleen de effecten van energiebesparing in de gebouwde omgeving in de MKBA betrokken. Kengetallen die samenhangen met de realisatie van de nieuwe technologie zijn niet gevonden.

Alleen in het beleidsalternatief All-electric is een investering in energiebesparende maatregelen (isolatie) noodzakelijk om de technologie rendabel te maken. Deze technologie is immers alleen rendabel bij een minimaal energielabel B. Een investering in energiebesparing brengt een multipliereffect teweeg: naast de bouw profiteren ook andere sectoren van de extra vraag waardoor de effecten voelbaar zijn in de hele economie (SEO, december 2012). Na het behalen van de klimaatdoelstellingen verdwijnt de extra werkgelegenheid en dooft het effect uit. Op de lange termijn is het effect 0 (SEO, december 2012). Het alternatief All-electric is daarom beoordeeld met een (0). In de overige beleidsalternatieven zijn geen energiebesparende maatregelen (isolatie) noodzakelijk. Deze alternatieven zijn daarom eveneens op neutraal (0) gesteld.

²⁴ Voor een verzwaring per buurt is slechts een verzwaring van het laagspanningsnet noodzakelijk. Schakelen meer buurten over op ‘All-electric’ dan is ook een verzwaring van het middenspanningsnet vereist (CE Delft, 2016). In de MKBA is deze niet meegenomen.

Tabel 5.13: Baten werkgelegenheid

	Baten	Vershil
Beleidsalternatief: All-electric	0	0
Beleidsalternatief: Warmtenet	0	0
Beleidsalternatief: Hybride	0	0

5.3 Externe effecten

Externe effecten treden op als gedragingen van één partij niet gecompenseerde voor- of nadelen veroorzaken voor een andere partij. Teulings et al. (2005) beschrijft dat externe effecten in feite een probleem zijn van een ontbrekende markt. In de MKBA ontbreekt een markt voor CO₂-uitstoot. De welvaartseffecten op ontbrekende markten worden in principe op dezelfde manier bepaald als voor gewone markten (Romijn en Renes, 2013).

Vermeden CO₂-emissies

Het vermijden van CO₂-emissies leidt tot een maatschappelijke baat: kosten voor het klimaat die het gevolg zijn van de uitstoot worden vermeden. Daarbij wordt een schoner milieu door mensen als welvaartswinst ervaren.

In hoeverre de baten van de CO₂-reductie als gevolg van de drie beleidsalternatieven in de MKBA tot uitdrukking kunnen komen, hangt af van het heersende en toekomstige CO₂-beleid. Voor het bepalen van CO₂-baten van een maatregel heeft de Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (WLO) klimaatscenario's ontwikkeld. De baten zijn niet langer gebaseerd op prijzen voor CO₂ uit het Europese emissiehandelsstelsel (ETS), maar op efficiënte CO₂-prijzen. De scenario's zijn ontwikkeld om in een MKBA rekening te kunnen houden met onzekere toekomstige ontwikkelingen. Voor klimaat bestaat de onzekerheid vooral uit de mate waarin de wereld tot gezamenlijke afspraken komt en zichzelf daaraan kan houden: de mate waarin de wereld erin slaagt om de CO₂-uitstoot te beperken (CPB, 2016). De klimaatscenario's gaan uit van een CO₂-uitstootbudget²⁵ voor de rest van de eeuw met een daaraan gekoppelde uitstootreductie. In het scenario Hoog is het uitstootbudget lager en de uitstootreductie hoger dan in het scenario Laag (CPB, 2016).

In de Toekomstverkenning is ook een onzekerheidsverkenning opgenomen. Het uitgangspunt van de verkenning is het Parijse VN Klimaatakkoord en houdt in dat de temperatuurstijging beperkt blijft tot 2°C. De CO₂-uitstoot is in dit scenario 80% lager dan in 1990. De CO₂-prijzen variëren van 100-500 euro per ton in 2030 en 200-1000 euro in 2050 (CPB, 2016). Dit scenario is vanwege de grote onzekerheid niet in de MKBA betrokken.

In de onderstaande tabel zijn de efficiënte prijzen weergegeven die in deze MKBA zijn gehanteerd.

²⁵ Het CO₂ uitstootbudget zegt hoeveel CO₂ er maximaal nog in de atmosfeer terecht mag komen om binnen de per scenario gestelde klimaatdoelstelling voor deze eeuw te blijven. Daarbij beperken we ons tot deze eeuw omdat we er rekening mee houden dat er daarna een backstop technologie beschikbaar komt die we nu nog niet kennen.

Tabel 5.14: Efficiënte en ETS-prijs van een ton CO₂ (in euro per ton) in twee scenario's (CPB, 2016)

		2015	2030	2050
Hoog	Efficiënte prijs	48	80	160
	ETS prijs	5	40	160
Laag	Efficiënte prijs	12	20	40
	ETS prijs	5	15	40

In het nulalternatief is de CO₂ emissie 3.268 kg per jaar (tabel 4.1). Dit betekent dat in het scenario Hoog tot 2030 een efficiënte prijs van €48,- per ton is gehanteerd en tot 2049 een efficiënte prijs van €80,- per ton. Voor het scenario Laag is uitgegaan van een efficiënte prijs van €12,- per ton en tot 2049 een efficiënte prijs van €20,- per ton. Dit komt neer op de volgende waardering van de CO₂-uitstoot:

Scenario Hoog

Vanaf 2019 tot 2030: 3.268 kg / 1.000 kg = 3,268 x 48 = **€156,86** per jaar gedurende 11 jaar = €1.725,50

Vanaf 2030 tot 2049: 3.268 kg / 1.000 kg = 3,268 x 80 = **€261,44** per jaar gedurende 19 jaar = €4.967,36

In het nulalternatief, scenario Hoog, is de totale waardering van de CO₂-uitstoot over 30 jaar **€6.692,86**

Scenario Laag

Vanaf 2019 tot 2030: 3.268 kg / 1.000 kg = 3,268 x 12 = **€39,22** per jaar gedurende 11 jaar = €431,38

Vanaf 2030 tot 2049: 3.268 kg / 1.000 kg = 3,268 x 20 = **€65,36** per jaar gedurende 19 jaar = €1.241,84

In het nulalternatief, scenario Laag, is de totale waardering van de CO₂-uitstoot over 30 jaar **€1.673,22**

In de beleidsalternatieven All-electric en Warmtenet valt het aardgasverbruik weg en is de CO₂ emissie van de voorbeeldwoning 0. Het aardgasverbruik in het alternatief Hybride blijft bestaan, maar is beduidend minder dan in het nulalternatief, te weten 824 m³ per jaar. De CO₂ emissie is 1.746 kg per jaar. Dit komt neer op de volgende waardering van de CO₂-uitstoot:

Scenario Hoog

Vanaf 2019 tot 2030: 1.746 kg / 1.000 kg = 1,746 x 48 = **€83,81** per jaar gedurende 11 jaar = €921,89

Vanaf 2030 tot 2049: 1.746 kg / 1.000 kg = 1,746 x 80 = **€139,68** per jaar gedurende 19 jaar = €2.653,92

In het alternatief Hybride, scenario Hoog, is de totale waardering van de CO₂-uitstoot over 30 jaar **€3.575,81**

Scenario Laag

Vanaf 2019 tot 2030: 1.746 kg / 1.000 kg = 1,746 x 12 = **€20,95** per jaar gedurende 11 jaar = €230,47

Vanaf 2030 tot 2049: 1.746 kg / 1.000 kg = 1,746 x 20 = **€34,92** per jaar gedurende 19 jaar = €663,48

In het nulalternatief Hybride, scenario Laag, is de totale waardering van de CO₂-uitstoot over 30 jaar **€893,95**

Tabel 5.15: Waardering CO₂-emissie en het verschil t.o.v. aardgas in euro's exclusief BTW (over 30 jaar)

	CO ₂ -emissies	Waardering	Vershil
Beleidsalternatief: All-electric	0		
- Scenario Hoog		n.v.t	-6.693

- Scenario Laag		n.v.t	-1.673
Beleidsalternatief: Warmtenet	0		
- Scenario Hoog		n.v.t	-6.693
- Scenario Laag		n.v.t	-1.673
Beleidsalternatief: Hybride	1.746		
- Scenario Hoog		3.576	-3.117
- Scenario Laag		894	-779

Voorzieningszekerheid

De drie beleidsalternatieven kunnen effecten hebben op de voorzieningszekerheid. Voorzieningszekerheid in deze studie houdt in dat er op de lange termijn voldoende energiebronnen beschikbaar zijn om aan de vraag naar energie te kunnen voldoen (SEO, 2012). Het betreft voornamelijk de beschikbaarheid van energie uit buitenlandse bronnen, bijvoorbeeld de import van aardgas (SEO, 2013). Overigens zijn niet de productie en de reserves aan aardgas een probleem voor de voorzieningszekerheid op de lange termijn, maar de locatie van de reserves (SEO, 2013). De ongelijke verdeling van de reserves zorgt ervoor dat maar enkele landen een overschot zullen blijven exporteren, waardoor bijvoorbeeld de EU afhankelijk is van deze aardgasbronnen.

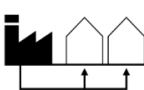
In de voorgestelde beleidsoplossingen is er geen of in een sterk verminderde mate sprake van aardgasverbruik. Alle drie de beleidsalternatieven leiden, op het eerste gezicht, tot een grotere voorzieningszekerheid en dus tot een maatschappelijke baat. Hoe hoog de baten zijn, is moeilijk in te schatten. In de Hybride optie is nog een gedeeltelijke afhankelijkheid van aardgas aanwezig. Het Hybride alternatief maakt namelijk direct gebruik van aardgas in de koude dagen. Op de lange termijn kan deze situatie veranderen, bijvoorbeeld door het gebruik van waterstof.

Kort samenvattend scoren alle beleidsalternatieven voor wat betreft de voorzieningszekerheid positief (+), omdat de afhankelijkheid van aardgas in de voorbeeldwoning minder groot wordt. Hoe groot het effect daadwerkelijk is, is moeilijk te beoordelen.

5.4 Uitkomsten MKBA

De paragrafen 5.1 tot en met 5.3 brengen de bedragen van de verschillende (in)directe en externe effecten in beeld. Het indirecte effect en externe effect voorzieningszekerheid is kwalitatief beschreven en uitgedrukt in een +, 0 of -. Vervolgens is het saldo voor de drie beleidsalternatieven bepaald (**bijlage 1 t/m 5**). In de onderstaande tabel zijn per beleidsalternatief de saldi weergegeven.

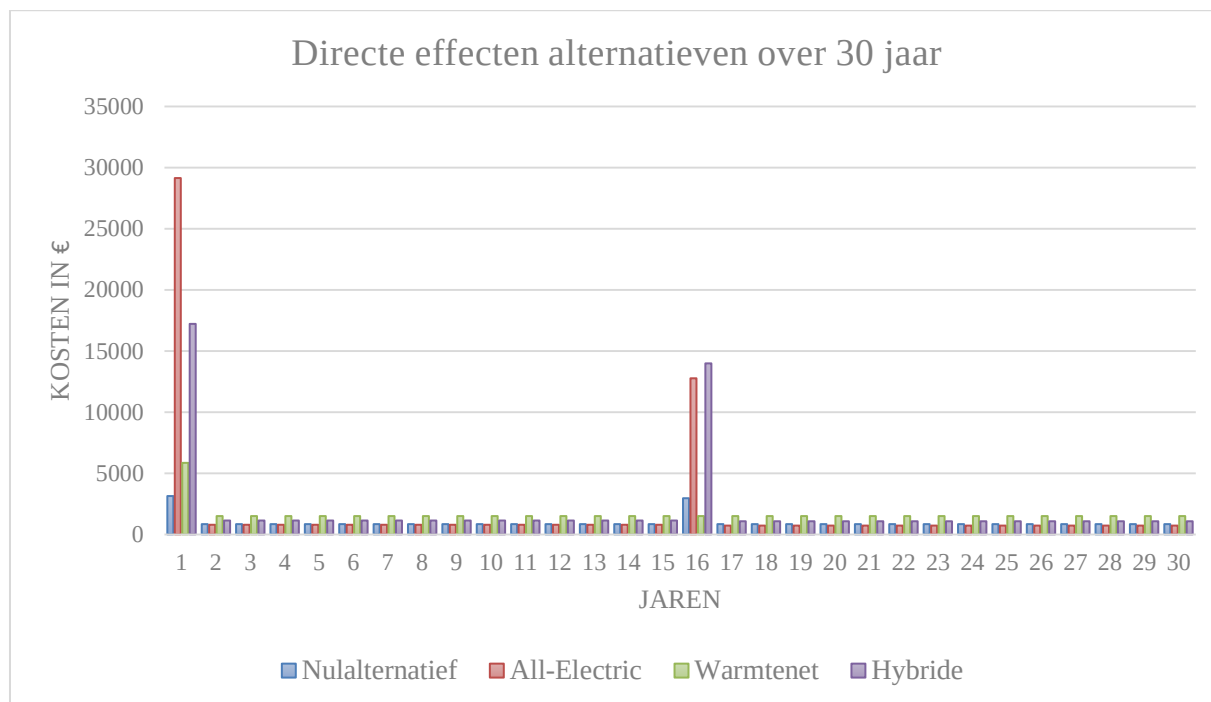
Tabel 5.16: Saldo kosten en baten voor de beleidsalternatieven over 30 jaar

	 Wärmepomp	 Wärmtenet	 Hybride
Directe effecten	€ -30.855	€ -14.000	€ -26.194
Indirecte effecten			
- werkgelegenheid	0	0	0
Externe effecten			
- scenario hoog	€ 4.924	€ 4.924	€ 2.285
- scenario laag	€ 1.225	€ 1.225	€ 566
- voorzieningszekerheid	+	+	+
Saldo			
- scenario hoog	€ -25.930 + pm	€ -9.076 + pm	€ -23.909 + pm
- scenario laag	€ -29.629 + pm	€ -12.775 + pm	€ -25.628 + pm

*Alle bedragen zijn netto contant gemaakt met een discontovoet van 3 procent, 4,5 procent voor infrastructuur en 2 procent voor niet omkeerbare externe effecten

Uit de tabel blijkt dat het saldo van de maatschappelijke kosten en baten voor de voorbeeldwoning in alle beleidsalternatieven negatief is. De drie beleidsalternatieven zijn dus niet welvaartverhogend ten opzichte van het nulalternatief. De kosten voor de drie alternatieven zijn over 30 jaar veel hoger dan de baten. De onderstaande grafiek laat zien dat dit voor de alternatieven All-electric en Hybride te maken heeft met de hoge (her)investeringen voor de nieuwe technologie. Voor het alternatief Wärmtenet ligt de oorzaak hoofdzakelijk in de hoge, jaarlijkse verbruikskosten voor warmte.

Grafiek: Vergelijking directe effecten alternatieven



Bij de hierboven gepresenteerde en beschreven uitkomst is een belangrijke kanttekening te plaatsen. Het externe effect voorzieningszekerheid heeft invloed op alle saldi. Hoe groot het effect op de saldi is, is niet bekend. Het effect is daarom aangeduid met (+ pm).

5.5 Gevoeligheidsanalyse

Het is moeilijk om een robuuste inschatting te maken van de toekomstige kosten en baten van de beleidsalternatieven. Er is namelijk niet alleen een toekomstonzekerheid, maar ook kennis- en beleidsonzekerheid. In de MKBA is er niet voor gekozen om te toekomstonzekerheid in beeld te brengen door scenario's, maar kwalitatief te beschrijven. Dit geldt ook voor de kennis- en beleidsonzekerheid.

De kosten voor een duurzame warmtevoorziening hebben invloed op het saldo van de directe kosten (*business case*) en daarmee het saldo van de MKBA. De hoge (her)investering in de beleidsalternatieven All-electric en Hybride heeft een groot aandeel in het negatieve saldo. Alleen bij een substantieel lagere (her)investering kan een positief saldo ontstaan. Dit is op de korte termijn geen reëel scenario omdat de toegepaste technologie, de (hybride) warmtepomp, relatief nieuw is en eerst op grote schaal beschikbaar moet komen.

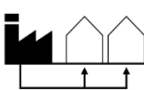
Ook de toekomstige ontwikkeling van de kosten van verbruik, levering en netbeheer hebben invloed op het saldo. In de MKBA zijn deze kosten over een periode van 30 jaar gelijk verondersteld. In werkelijkheid zal dat niet zo zijn. De Nationale Energieverkenning (2017) laat zien dat de prijzen voor aardgas en elektriciteit in ieder geval tot 2035 stijgen, waarbij de prijs van aardgas meer stijgt dan de elektriciteitsprijs. Dit betekent dat de totaalsaldi van de beleidsopties All-electric en Hybride minder negatief zullen zijn. Het is moeilijk te voorspellen in welke mate het saldo minder negatief zal zijn. Er is een groot aantal factoren dat de energieprijzen beïnvloedt. Bovendien zijn energieprijsprognoses erg volatiel door veel onzekerheden in de markt. Een positief saldo lijkt voor deze twee beleidsalternatieven door de grotere prijsstijging van het aardgas ten opzichte van de prijs van elektriciteit daarom niet reëel. De oorzaak van het negatieve saldo ligt namelijk vooral in de hoge (her)investering voor de technologie.

Voor het beleidsalternatief Warmtenet geldt dat het saldo minder negatief zal zijn wanneer de prijs van aardgas meer stijgt dan de prijs van warmte. De Nationale Energieverkenning (2017) bevat geen prijsprognoses voor warmte. Het is daarom moeilijk om hier een uitspraak over te doen. Wel geldt dat bij een halvering van de jaarlijkse verbruikskosten voor warmte naar € 561,-²⁶ (in het CO₂-scenario hoog) het totaalsaldo op 0 zal uitkomen.

Voor de tarieven van levering en netbeheer is het de verwachting dat de tarieven in de toekomst zullen stijgen. Dit betekent dat de saldi van alle beleidsalternatieven verder in de rode cijfers komen. Ook de onderhoudskosten zullen in de toekomst hoger zijn. Arbeidsintensieve activiteiten worden over het algemeen duurder in de loop van de tijd, omdat deze minder profiteren van technologische vooruitgang.²⁷ De kostenstijging leiden tot negatievere saldi in alle beleidsalternatieven.

De drie beleidsalternatieven zijn vooral ook niet vergelijkbaar met het nulalternatief door een te lage CO₂-prijs. Dit geldt zowel voor het lage als het hoge CO₂-scenario. De onderstaande tabel laat zien bij welke efficiënte prijs van een ton CO₂ in het nulalternatief de drie beleidsalternatieven over 30 jaar kostenneutraal zijn.

Tabel 5.17: Efficiënte prijs van een ton CO₂ (in euro per ton)

	 Warmtepomp	 Warmtenet	 Hybride
	315	143	574

De berekening is als volgt uitgevoerd. Voor de beleidsalternatieven All-electric en het Warmtenet is de CO₂-emissie over 30 jaar, 3.268 kg per jaar x 30 = 98.040 kg. Het verschil in directe kosten tussen het nulalternatief en de All-electric optie bedraagt €30.855. Om dit verschil weg te nemen is in het nulalternatief een efficiënte prijs van een ton CO₂ van 30.855/98.040 x 1.000 = €315,- per jaar vereist. Voor het Warmtenet is dit een efficiënte prijs per ton CO₂ van €14.000/98.040 x 1.000 = €143,- per jaar. In het Hybride beleidsalternatief is er nog sprake van aardgasverbruik van 1.746 kg per jaar. Dit levert een CO₂-reductie op van 3.268-1.746 = 1.522 kg per jaar en in 30 jaar 15.22 x 30 = 45.660 kg. Het verschil in directe kosten tussen het nulalternatief en de All-electric optie bedraagt €26.194. Om dit verschil weg te nemen is in het nulalternatief een efficiënte prijs van een ton CO₂ van 26.194/45.660 x 1.000 = €574,- per jaar noodzakelijk.

De prijzen liggen hoger dan die zijn gepresenteerd in het lage en hoge klimaatscenario. Wel zijn de prijzen vergelijkbaar met de prijzen in het eerder beschreven onzekerheidsscenario. Het onzekerheidsscenario lijkt geen waarschijnlijk scenario. Een neutraal saldo door een hogere efficiënte prijs is in de komende jaren dan ook niet reëel.

Let wel, bij het bepalen van de CO₂-baten is geen rekening gehouden met de CO₂-emissie die vrijkomt bij de productie van aardgas, elektriciteit en warmte. De huidige bronnen zijn momenteel niet helemaal CO₂-vrij. Door de CO₂-emissie van de bron niet in de MKBA te betrekken, gaan alle beleidsalternatieven uit van een

²⁶ Zie **bijlage 3**. In het model is berekend welk bedrag aan subsidie (op verbruikskosten warmte) nodig is om het beleidsalternatief Warmte vergelijkbaar te maken met het Nulalternatief. Dit is een bedrag van €449,59 (rijen 59 tot en met 63 in tabblad Warmtenet). Door dit als een (negatief) bedrag in te vullen in C17 'Ontmoedigingsbeleid' wordt het saldo in beide alternatieven gelijk (C59). De verbruikskosten voor warmte bedragen dan €561,- (C16-C17).

²⁷ De "wet van Verdoorn".

CO₂-neutrale bron, bijvoorbeeld wind, zon, geothermie en biomassa. In de werkelijkheid is dit nog allerm minst het geval. Het betrekken van de bron in de MKBA leidt ertoe dat de saldi van alle beleidsalternatieven negatiever zullen zijn.

Wat betreft de voorzieningszekerheid is alleen het aardgasverbruik in de voorbeeldwoning in de MKBA betrokken. Ook voor dit effect geldt dat de afhankelijkheid van aardgas verder reikt dan de woning. In de All-electric optie is opwekking van elektriciteit door middel van aardgas bijvoorbeeld noodzakelijk wanneer de vraag naar en het aanbod van elektriciteit via zon en wind niet *matchen*. Het matchen van de vraag naar en het aanbod van elektriciteit is in dit alternatief de grootste uitdaging en is direct van invloed op de voorzieningszekerheid.

Bij het beleidsalternatief Warmtenet speelt het punt dat warmtelevering vaak afhankelijk is van een enkele warmtebron. Dit creëert een probleem van (regionale) leveringszekerheid.

Het is echter te complex gebleken om voor dit deel van de voorzieningszekerheid voor de voorbeeldwoning in te schatten wat het effect is op de saldi en is daarom buiten beschouwing gelaten.

5.6 Overheidsingrijpen

De resultaten van de MKBA, de pm-post voor voorzieningszekerheid buiten beschouwing gelaten, laten voor de voorbeeldwoning in alle beleidsalternatieven een uitgesproken negatief beeld zien. Vanuit welvaartsperspectief is het voor de eigenaar van de voorbeeldwoning beter om nog niet over te stappen op één van de beleidsalternatieven. De maatschappelijke welvaart is daar niet bij gebaat. De vraag stelt zich of bij de verduurzaming van de gebouwde omgeving effectief overheidsingrijpen denkbaar is en zo ja, onder welke voorwaarden. De term ‘effectief’ is in deze studie welvaartseconomisch uitgelegd. Bij de beantwoording van de vraag is gebruik gemaakt van de informatie uit interviews met de heren Prof. dr. C.C. Koopmans (VU) en dr. B. Tieben (SEO).²⁸

De overschakeling naar aardgas in de jaren zestig kenmerkte zich door een centrale aanpak. De overheid voerde de regie met effectief overheidsbeleid en droeg bij aan de daadwerkelijke uitrol van het aardgasnetwerk. Het succes van deze transitie was vooral te danken aan het profijt dat partijen hadden bij de overgang van kolen naar aardgas. De Rijksoverheid en gemeentelijke aardgasbedrijven deelden in de aardgasopbrengsten. De woningeigenaar kreeg een beduidend schonere energievoorziening.

Bij de huidige transitie naar een duurzame warmtevoorziening in de gebouwde omgeving ligt de situatie wezenlijk anders. Allereerst geldt er niet één warmteoplossing voor iedere woning. Daar komt bij dat de kosten per oplossing verschillen. Bovendien zijn voor de woningeigenaar de te behalen voordelen van een overstap niet evident. Geen wenselijke situatie voor een maatschappelijk goed dat energie is.²⁹ Dit maakt regie voeren en effectief overheidsbeleid opstellen in deze klimaatopgave moeilijk. Duidelijk is wel dat de daadwerkelijke warmte-oplossing op gebouwniveau niet langer een centrale aanpak vergt, maar een lokale. De gemeente lijkt de aangewezen regisseur in samenwerking met andere partijen, zoals netbeheerders, energieleveranciers en woningeigenaren. De wijkgerichte aanpak, zoals beschreven in het Nederlandse Klimaatakkoord (2018) is hier een goed voorbeeld van.

De uitkomsten van de MKBA, de pm-post voor voorzieningszekerheid buiten beschouwing gelaten, maken duidelijk dat het voor de eigenaar van de voorbeeldwoning, uit een oogpunt van welvaart, beter is om te

²⁸ Beide interviews zijn afgenomen op 15 april 2019 bij SEO te Amsterdam.

²⁹ Bijvoorbeeld het ‘niet meer dan anders principe’ waarbij de warmte bij een warmtenet-oplossing de vastgoedeigenaar niet meer mag kosten dan aardgas.

wachten met de overstap op één van de warmte-opties. Bijvoorbeeld tot het moment dat er meer voordeel te halen is uit de leercurves van de nieuwe technologie of de aardgas- en CO₂-prijzen zijn gestegen. Echter de mogelijkheden voor de Nederlandse overheid om aan deze ontwikkelingen effectief bij te dragen, zijn minimaal. De Nederlandse overheid heeft immers geen invloed op de totstandkoming van de aardgas- en CO₂-prijzen. Misschien dat een ingrijpen gericht kan zijn op het steiler maken van de leercurves, maar dit zal de uitkomsten van de MKBA niet substantieel veranderen. Effectief beleid om de beleidsalternatieven rendabel te krijgen, ligt daarom niet voor het oprapen.

De overheid doet er goed aan om (ook) op zoek te gaan naar andere, goedkopere warmteopties in de gebouwde omgeving. Wellicht dat het gebruik van duurzame gassen (waterstof en groen gas) in het bestaande aardgasnetwerk een oplossing kan bieden. Buiten de gebouwde omgeving kan gedacht worden aan de sector mobiliteit, bijvoorbeeld het ‘rekeningrijden’.

Ten slotte lijkt een ingrijpen van de overheid door middel van een ‘Pigouvianse belasting’ op aardgas of een subsidie op de aanschaf van (hybride) warmtepompen een effectief middel om de welvaart te verhogen. Hoewel belastingen en subsidies de individuele vastgoedeigenaar een prikkel geven om te zoeken c.q. te investeren in een duurzaam warmtealternatief gaat de maatschappij er als geheel niet op vooruit. De eigenaar van de woning krijgt weliswaar de beschikking over overheidsmiddelen, maar die middelen moeten weer elders vandaan komen. Het effect op het saldo van de MKBA is daarmee marginaal. Bovendien blijkt uit de economische praktijk dat een dubbel bedrag aan subsidie vereist is om een gewenst effect te bereiken. Een subsidie levert dus een voordeel op voor de woningeigenaar en brengt mogelijk de beoogde klimaatdoelen dichterbij, maar is economisch gezien niet efficiënt en daarom relatief duur voor de maatschappij.

6 CONCLUSIE

6.1 Conclusie

Dit hoofdstuk beantwoordt de centrale onderzoeksvraag aan de hand van de deelvragen. Het hoofdstuk sluit af met een beleidsaanbeveling.

In deze studie stond de volgende vraag centraal:

“In hoeverre draagt het huidige energiebeleid omtrent de verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving bij aan het bereiken van meer welvaart?”

Het huidige energiebeleid introduceert twee maatregelen in gebouwde omgeving om de beoogde Parijse klimaatdoelen dichterbij te brengen:

1. een verhoging van de belasting op het aardgasverbruik;
2. een lokale warmtevisie die per wijk en in samenspraak met de gebouweigenaren vaststelt welke warmteoplossing als alternatief voor aardgas het beste is:
 - a. all-electric verwarming door middel van een warmtepomp;
 - b. warmtenetten;
 - c. hybride warmtepomp gecombineerd met een HR-ketel.

De studie hanteerde een welvaartstheoretisch denkkader om te beoordelen of het energiebeleid omtrent de verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving tot optimale maatschappelijke welvaart leidt. De studie vulde het begrip welvaart daarnaast breed in. Het omvatte niet alleen materiële, maar ook immateriële aspecten van welzijn.

Volgens de neoklassieke theorie leidt marktwerking tot optimale welvaart. Het marktmechanisme, onder volledige mededinging, coördineert het economisch proces evenwichtig en doelmatig en leidt onder bepaalde voorwaarden tot optimale welvaart. Overheidsinterventie verstoort de markt en is bovendien niet efficiënt. De assumpties die de neoklassieke theorie veronderstelt, vereisen een utopische wereld; in werkelijkheid beweegt de markt niet automatisch naar optimaliteit. De markt faalt derhalve. In onder andere non-evenwichtstheorieën is daarom ruimte voor coördinatie door een centrale overheid.

De markt voor aardgas komt zonder een ingrijpen van de overheid niet tot een maatschappelijk optimaal resultaat. Door de gehele keten vertoont de markt gebreken. Hoewel aardgas zich niet kwalificeert als een publiek goed en de allocatie van aardgas via de markt kan plaatsvinden, spelen er bij het verbruik van aardgas in de gebouwde omgeving twee andere vormen van marktfalen. De leidingen in het systeem vertonen kenmerken van een natuurlijk monopolie. Uit maatschappelijke doelmatigheidsoverwegingen is er daarom voor gekozen om het monopolistische beheer en eigendom van deze leidingen in handen van de overheid te leggen. Daarnaast nemen betrokken partijen het maatschappelijke gevolg van klimaatverandering niet mee in hun transacties. Om dit marktfalen te corrigeren, prijst de overheid de uitstoot van CO₂ door het heffen van belastingen. Het optredende marktfalen wordt weliswaar gecorrigeerd, maar niet volledig. Dit komt door de inelasticiteit van de vraag naar aardgas die mede wordt veroorzaakt door het gebrek aan reële alternatieven in de gebouwde omgeving.

Vervolgens is in de maatschappelijke kosten-batenanalyse voor een rijwoning, gebouwd tussen 1975 en 1990, beoordeeld of de drie beleidsalternatieven voor aardgas welvaart verhogend zijn. Voor deze woning is gekozen, omdat een relatief groot deel van de Nederlandse vastgoedvoorraad bestaat uit dit type woning. Uit de analyse blijkt dat geen van de drie beleidsalternatieven een welvaartverhogend effect heeft. De kosten van het beleid zijn hoger dan de maatschappelijke opbrengst.

In het All-electric en Hybride alternatief ligt dit aan de hoge (her)investering voor de nieuwe technologie. Bij het alternatief Warmtenet speelden de hoge, jaarlijkse verbruikskosten voor warmte een belangrijke rol. De drie beleidsalternatieven waren daarnaast niet vergelijkbaar met het nulalternatief door een te lage CO₂-prijs. Gezien de huidige CO₂-scenario's zal dit de komende jaren ook niet het geval zijn. Er valt wel een kanttekening te plaatsen. De bate 'voorzieningszekerheid' is in de analyse niet gekwantificeerd. De invloed van dit effect op de saldi is daarmee niet inzichtelijk.

Daarnaast blijkt dat effectief overheidsingrijpen in deze klimaatopgave moeilijk is. Niet alleen door het decentrale karakter van de 'warmtetransitie', maar ook vanwege de geringe mogelijkheden die de Nederlandse overheid heeft om bijvoorbeeld invloed uit te oefenen op de totstandkoming van aardgas- en CO₂-prijzen. Wel kunnen subsidies en belastingen de individuele woningeigenaar stimuleren om over te stappen naar een duurzaam alternatief en zo de klimaatdoelen dichterbij brengen. Deze overheidsinterventies zijn economisch echter niet efficiënt en dus relatief duur voor de maatschappij.

Dit alles overziend, draagt het huidige energiebeleid omtrent de verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving, in ieder geval voor een rijwoning gebouwd tussen 1975 en 1990, niet bij aan meer welvaart. Bovendien ligt effectief beleid om de beleidsalternatieven rendabel te krijgen niet voor het oprapen. De overheid kan, vanuit een welvaartseconomisch oogpunt, beter (ook) op zoek gaan naar andere, goedkopere opties in de gebouwde omgeving én andere sectoren om de Parijse klimaatdoelen te bereiken.

6.2 Beleidsaanbeveling

De maatschappelijke kosten-batenanalyse maakt duidelijk dat er voor rijwoningen, gebouwd tussen 1975 en 1990, hoge investeringen noodzakelijk zijn om over te schakelen naar een duurzame warmtevoorziening. De CO₂-baten zijn gering en bovendien niet tastbaar. De gemiddelde woningeigenaar zal in zo'n situatie het aardgasverbruik voortzetten. Alleen een substantiële verlaging van bijvoorbeeld de kosten voor (hybride) warmtepompen lijkt de woningeigenaar -op eigen initiatief- in beweging te kunnen brengen.

Deze studie heeft zich beperkt tot één type woning. Toch geeft de kosten-batenanalyse een goede indicatie, omdat dit type woning veel in Nederland voorkomt. De totale investeringskosten zijn erg afhankelijk van de gebouwkenmerken. Denk aan het woningtype, de bouwkundige staat en energielabel. Een nieuwere woning bijvoorbeeld is vaak beter geïsoleerd en kan wellicht gebruik maken van een kleinere (hybride) warmtepomp. In dit geval zullen de totale investeringskosten lager zijn. Er is immers geen extra isolatie vereist en de (her)investering in de (hybride) warmtepomp is lager. Bovendien zal door de goede isolatie het jaarlijkse verbruik van elektriciteit of warmte, in het geval van een warmtenet, lager zijn. Bij oudere woningen geldt juist het tegenovergestelde. De totale kosten van de investering zullen hoger zijn door de extra isolatie, die soms zelfs gepaard gaat met bouwkundige aanpassingen aan de woning, en de grotere warmtepomp.

Naast gebouwkenmerken hebben ook lokale en regionale omstandigheden een duidelijke invloed op de totale investeringskosten voor de drie duurzaamheidsopties. Woningen die bijvoorbeeld in de buurt van een warmtebron liggen, kunnen makkelijker aantakken op reeds bestaande warmtenetten. Dit brengt de kosten voor de infrastructuur omlaag. Gebouw- en gebiedskenmerken zijn dus van invloed op de *business case* en daarmee bepalend voor de keuze van één van de beleidsalternatieven.

Hoewel de transitie naar een duurzame warmtevoorziening vooral een lokale *bottom up* opgave is, heeft de praktijk ook behoefte aan een landelijk *top down* afwegingskader. Dit kader moet inzichtelijk maken bij welke gebouw- en gebiedskenmerken de drie duurzaamheidsopties gunstig kunnen zijn. Dit maakt het voor alle betrokken partijen eenvoudiger om te kiezen voor de investering die het beste rendeert. De maatschappij is het meest gebaat bij selectieve investeringen in deze complexe opgave.

6.3 Reflectie

Elk schrijfproces start met de keuze van een onderwerp. Het begin van mijn scriptie was voor mij een zoektocht naar een afbakening van een brede interesse in de gevolgen van de warmtetransitie. Deze interesse kwam voort uit mijn werk bij Alliander. Waar ik als juriste ook verantwoordelijk ben voor vastgoed en energie-infrastructuur. Gedurende eerdere fasen in mijn studie aan de ASRE wekten de colleges economische theorie mijn belangstelling. Ik werd gegrepen door de gedachte aan een mogelijk verbinding met het huidige energiebeleid in Nederland. Mijn werkgever Alliander is eigenaar en beheerder van een groot deel van het Nederlandse aardgasnetwerk. Het door mij gekozen onderwerp kwam derhalve uit op een combinatie van economische theorie en het actuele energievraagstuk binnen mijn organisatie. Ik heb een individueel vastgoedobject, een rijwoning, gekozen om te illustreren wat welvaartstheorie op microniveau betekent voor de gebouwde omgeving.

De principes van de welvaartstheorie heb ik van de grond af eigen moeten maken. Ook het opstellen van een maatschappelijke kosten-batenanalyse was niet zo gemakkelijk toepasbaar op het vraagstuk van de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Het bleek lastig om kwalitatief goede data te vinden, de scope van het onderwerp af te bakenen en de lacunes in algemene kennis, die over dit onderwerp immers nog in ontwikkeling is bij elkaar te brengen en te ordenen. De colleges economische theorie en vastgoed rekenen schiepen voor mij wel een basis voor continuïteit in mijn onderzoek. Literatuuronderzoek en uitwisseling met economen maakten het theoretisch kader begrijpelijk en toepasbaar.

De kosten-batenanalyse leverde elke keer weer nieuwe inzichten en spannende resultaten. Het eindresultaat leverde voor mij geen grote verrassingen op ook al omdat je als onderzoek meegroeit naar uitkomsten en resultaten van je eigen studie. Toch had ik verwacht dat de *business case* van de onderzochte warmte-opties een reëler alternatief zouden kunnen zijn voor het traditionele fossiele brandstof aardgas.

Tot slot nog een kleine knipoog naar het onlangs verschenen rapport van het Planbureau voor de Leefomgeving. Het Planbureau rekende onlangs het ontwerp-Klimaatakkoord door en concludeerde dat de kosten om de gebouwde omgeving te verduurzamen tussen € 31 en 128 per ton vermeden CO₂ bedragen (PBL, 2019). Dit impliceert dat er op nationaal niveau rendabelere oplossingen beschikbaar zijn dan de door mij onderzochte warmte-opties in de gebouwde omgeving. Deze conclusie bevestigt mijn bevindingen in deze studie.

LITERATUURLIJST

- Agentschap NL (2011). *Voorbeeldwoningen 2011. Bestaande bouw*. Sittard: januari 2011.
- Arcadis (2017). *Actualisatie en uitbreiding investeringskosten maatregelen EPA-maatwerk-advies. Bestaande woningbouw 2017*. Arnhem: september 2017.
- Baarsma, B., C. Koopmans en J. Theeuwes (2010). *Beleidseconomie. Een rationele onderbouwing van overheidsingrijpen*. Amsterdam: Pallas Publications.
- Brundtland, G. (1987). *Our common future. Report of the World Commission on Environment and Development*, UN: New York.
- CE Delft (2013). *Vesta 2.0. Uitbreidingen en dataverificaties*. Delft: CE Delft.
- CE Delft (2016). *Een klimaatneutrale warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving - update 2016. De route naar een klimaatneutraal Nederland*. Delft: CE Delft
- CE Delft (2019). *Businesscase Hengstdal all-electric. Totale kosten en opbrengsten voor de stakeholders*. Delft: CE Delft.
- Centraal Planbureau (2016). *Groene groei en welvaart: een conceptueel denkkader*. Den Haag: april 2016.
- Centraal Planbureau (2016). *WLO-klimaatscenario's en de waardering van CO₂-uitstoot in MKBA's*. Den Haag: november 2016.
- Buchanan, J.M. (1965). An Economic Theory of Clubs. *Economica* 32(125):1-14.
- Coase, R. (1960).
- Costanza, R., Hart, M., Talberth, J., & Posner, S. (2009). Beyond GDP: The need for new measures of progress. *The Pardee Papers*, no. 4, January 2009.
- Ecofys (2015). *De systeemkosten van warmte voor woningen. Hoe beïnvloeden technologiekeuzes in woningen de toekomstige kosten van het energiesysteem?* Utrecht: 11 november 2015.
- ECN (2017). *Nationale Energievoorziening 2017*. Amsterdam 2017.
- Eijgelshoven, P.J., A. Nentjes en B.C.J. van Velthoven (2010). *Markten en overheid*. Groningen: Noordhoff Uitgevers (vijfde druk).
- Imandt, M., W. Rougoor, en B. Hof (2016). *Gedragseconomie en de woningmarkt. Een verkenning*. Amsterdam: SEO Economisch Onderzoek.
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons, *Science, New Series*, Volume 162, No. 3859, 1243-1248.
- Hicks, J.R. (1939). The foundations of welfare economics, *Economic Journal*, 49, pp. 696-712.
- Kaldor, N. (1939). Welfare propositions of economics and interpersonal comparisons of utility, *Economic Journal*, 49, pp.549-552.
- Keynes, M. (1936). *The General Theory of Employment, Interest, and Money*. London: Macmillan.
- Kocsis, V., P. Koutstaal, B. Tieben, M. van Hout, B. Hof en C. Koopmans (2013). *Energiebeleid na 2020: niet klimaatgerelateerde economische argumenten voor het energiebeleid*. (SEO-rapport; Nr. 2013-19). Amsterdam: SEO Economisch Onderzoek.
- Koopmans, C., M. Mulder, B. Tieben. (2018). *Verkenning MKBA werkwijzer Energie*. Amsterdam: SEO Economisch Onderzoek en Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Le Grand, J. (1991). The theory of government failure. *British Journal of Political Science*, 4, 423-442.
- Marshall, A. (1890). *Principles of Economics*. London: Macmillan and Co. 8th ed. 1920.
- Marquard, A.R. en W.J. van der Post (2015). *Basismodule Syllabus 1: Inleiding marktanalyse*. Amsterdam: Amsterdam School of Real Estate.
- Ministerie van Economische Zaken (2016). *Energierapport. Transitie naar duurzaam*. Den Haag: januari 2016.
- Ministerie van Economische Zaken (2016). *Energieagenda. Naar een CO₂-arme energievoorziening*. Den Haag: december 2016.
- Mulder, M. (2017). *Energietransitie en elektriciteitsmarkt: verkenning van een gespannen relatie*. Rijksuniversiteit Groningen: Groningen.

Mulder, M. en Willems, B. (2009). Borging van publieke belangen in de energievoorziening. In E. van Damme, en M-P. Schinkel (Eds.), *Marktwerving en Publieke Belangen: Preadviezen 2009*. Koninklijke Vereniging voor de Staathuishoudkunde.

Mulder, M. en G. Zwart (2006). *Market failures and government policies in gas markets*. CPB: Den Haag.

Perman, P., Ma, Y., McGilvray, J., & Common, M. (2003). *Natural Resource and Environmental Economics*. Harlow: Pearson Education.

PBL (2019). *Achtergronddocument effecten ontwerp klimaatakkoord: gebouwde omgeving*. Den Haag: 2019.

Pigou, A.C. (1921). *The Economics of Welfare*. MacMillan, London.

Romein, G. en G. Renes (2013). *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*. Den Haag: 2013.

Samuelson, P.A. (1954). The Pure Theory of Public Expenditure. *Review of Economics and Statistics*. 36 (4): 387–89.

SEO (2012). *Windmolens en welvaart. De maatschappelijke kosten en baten van windenergie op de Noordzee*. Amsterdam: 2012.

SEO (December 2012). *Bouwen en banen. Werkgelegenheidseffecten van energiebesparing in de gebouwde omgeving*. Amsterdam: 2012.

Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. London: Penguin Books Ltd.

Stiglitz, J., A. Charlton (2005). *Fair trade for all: how trade can promote development*. Oxford New York: Oxford University Press.

Stiglitz, J., A., Sen en J. Fitoussi (2009). *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress*. Parijs.

Teulings, C.N., A.L. Bovenberg, L. en H.P. van Dalen (2003). *De calculus van het Publieke Belang*. Ministerie van Economische Zaken. Den Haag: Kenniscentrum voor Orderingsvraagstukken.

Teulings, C.N., A.L. Bovenberg, L. en H.P. van Dalen (2005). *De Cirkel van goede intenties. De economie van het publieke belang*. Amsterdam: Amsterdam University Press.

Theeuwes, J. (2008). Inleiding: Welvaart meten als mission impossible? *TPEdigitaal*, 2(3), 1-9.

Tieben, B., C. Koopmans, W. Rougoor (2013). *Energiebeleid in onbalans. De energiemarkt vanuit transactiekostenperspectief*. (SEO-rapport; Nr. 2013-19). Amsterdam: SEO Economisch Onderzoek Amsterdam.

Tordoir, P.P. (2012). *Waarde van locatie en ruimtelijke samenhang. Beschouwing en ontwikkeling van theorie*. Amsterdam: Amsterdam School of Real Estate.

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (2000). Het borgen van publiek belang. *Rapporten aan de Regering nr. 54*, Den Haag: Sdu Uitgevers.

Winston, C. (2006). *Government Failure versus Market Failure. Microeconomics Policy Research and Government Performance*. Washington D.C.: AEI-Brooking Joint Center of Regulatory Studies.

Van Ewijk, C., A. 't Hoen, R. Doorbosch, T. Reininga, B. Geurts., E. Visser, M. Pomp (2015). *Rapport Werkgroep Discontogroep 2015*. Den Haag: Ministerie van Financiën.

Wolf, Ch. (1993). *Markets or Governments. Choosing between Imperfect Alternatives*. Second revised edition, Cambridge.

		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	
Nulalternatief																																
Technologie	Aanschaf	2297																														
	Vervanging	2119	2297																													
		2119																														
Isolatie	Isolatie	0																														
Verbruik	gasverbruik	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	
	Ontmoedigingsbeleid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Levering	Gas (vaste kosten leverancier)	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	
Netbeheer	Vastrecht	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	
Onderhoud		121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	
Wijziging G-aansluiting		0																														
Wijziging E-aansluiting		0																														
Totaal - Direct effecten		3136	839	839	839	839	839	839	839	839	839	839	839	839	839	839	2958	839	839	839	839	839	839	839	839	839	839	839	839	839	839	
Discontering - NCW NCW		3%	1,03136	1,03815	1,06791	1,1768	1,1745	1,2724	1,2703	1,2682	1,3662	1,3643	1,3624	1,4606	1,4588	1,5571	1,5555	1,61899	1,6523	1,7508	1,7493	1,8478	1,8465	1,9451	1,9438	2,0425	2,0413	2,1401	2,2389	2,2378	2,3367	2,4356
Vermeden CO2 emissie	Hoog Laag	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	
		15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	15739	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	26165	
	Discontering - NCW NCW CO2 Hoog NCW CO2 Laag	2%	1,0157	1,0154	1,0151	1,1148	1,1145	1,1142	1,1139	1,1137	1,2134	1,2131	1,2129	1,2210	1,3206	1,3202	1,3198	1,3194	1,4190	1,4186	1,4183	1,5179	1,5176	1,5172	1,5169	1,6166	1,6162	1,6159	1,7156	1,7153	1,7150	1,8147
		1,039	1,038	1,037	1,137	1,136	1,135	1,135	1,134	1,133	1,233	1,233	1,232	1,252	1,351	1,350	1,349	1,348	1,447	1,446	1,446	1,545	1,544	1,543	1,542	1,641	1,640	1,640	1,739	1,738	1,737	1,837
Uitkomsten	Nulalternatief																															
	Directe Effecten (NCW)		20.595																													
	Externe Effecten		4.924																													
	CO2 - Hoog		1.225																													
	CO2 - Laag																															
Totaal Hoog		25.519																														
Totaal Laag		21.821																														

[illegible]

		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	
Beleidsalternatief Warmtenet																																
Technologie																																
	Aanschaf warmtenet	3515	3515																													
	Aanschaf radiatoren	0	0																													
	Vervanging	0																0														
Isolatie																																
	Isolatie	0	0																													
Verbruik																																
	gasverbruik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	electriciteitsverbruik (additioneel)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
	Warmteverbruik	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	
	Ontmoedigingsbeleid		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Levering																																
	Gas (vaste kosten leverancier)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Warmte (vaste kosten leverancier)	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	
Netbeheer																																
	Vastrecht Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Vastrecht E (additioneel)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Onderhoud																																
	Jaar 1 t/m 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	Jaar 16 t/m 30	0																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wijziging																																
	G-aansluiting	568	568																													
	Hoofdleiding	270	270																													
Wijziging E-aansl. Wijziging aansluitcategorie Verzwaren E-net (maatschappelijk)		0	0																													
Totaal - Direct effecten		5851	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	1498	
Discontering - NCW		3%	1,0	1,03	1,06	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4
NCW		5851	1454	1412	1371	1331	1292	1255	1218	1183	1148	1115	1082	1051	1020	990	962	934	906	880	854	829	805	782	759	737	715	695	674	655	636	
Vermeden CO2 emissie																																
	Hoog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Laag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Discontering - NCW	2%	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8
	NCW CO2 Hoog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	NCW CO2 Laag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Uitkomsten																																
Warmtenet																																
	Directe Effecten (NCW)	34.595																														
	Externe Effecten	-																														
	CO2 - Hoog	-																														
	CO2 - Laag	-																														
	Totaal Hoog	34.595																														
	Totaal Laag	34.595																														
	Rekenfactor	0,0495333	Dit is de waarde van alle NCW over periode van 30 jaar obv 3%																													
	Doel waarde NCW	25.519																														
	Subsidiewaarde NCW	9.075,89	Dit is bedrag dat je als extra inkomsten / subsidie wil tov de Directe Effecten (NCW)																													
	Maand termijn subsidie	449,5584598	Eur	Geen verwijzing maken, getal als NEGATIEVE waarde invoeren bij ontmoedingsbeleid. Berekening = subsidiewaarde NCW * rekenfactor																												

		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	
Beleidsalternatief Hybride																																
Technologie																																
	Aanschaf pomp	12750	12750																													
	Aanschaf ketel	2297	2297																													
	Vervanging pomp	10736															10736															
	Vervanging ketel	2119															2119															
Isolatie																																
	Isolatie	0	0																													
Verbruik																																
	gasverbruik	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	
	electriciteitsverbruik (additioneel)	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	
	Warmteverbruik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ontmoedigingsbeleid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Levering	Gas (vaste kosten leverancier)	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	
	Warmte (vaste kosten leverancier)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Netbeheer	Vastrecht Gas	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	
	Vastrecht E (additioneel)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Onderhoud																																
	Pomp: Jaar 1 t/m 15	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383															
	Pomp: Jaar 16 t/m 30	322																322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	322	
	Ketel: Jaar 1 t/m 15	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121															
	Ketel: Jaar 16 t/m 30	121																121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	
Wijziging	G-aansluiting	0	0																													
	Hoofdleiding	0	270																													
Wijziging E-aansl.	Wijziging aansluitcategorie																															
	Verzwaren E-net (maatschappelijk)	769	769																													
Totaal - Direct effecten		17220	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	13989	1073	1073	1073	1073	1073	1073	1073	1073	1073	1073	1073	1073	1073	1073	
Discontering - NCW		3%	1,0	1,03	1,06	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4
NCW		17220	1101	1069	1038	1008	978	950	922	895	869	844	819	795	772	750	8979	669	649	630	612	594	577	560	544	528	513	498	483	469	455	
Vermeden CO2 emissie																																
	Hoog	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	
	Laag	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
	Discontering - NCW	2%	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8
	NCW CO2 Hoog	84	82	81	79	78	76	75	73	72	70	69	113	110	108	106	104	102	100	98	96	94	92	91	89	87	85	84	82	80	79	
	NCW CO2 Laag	21	21	20	20	19	19	19	18	18	18	17	28	28	27	27	26	25	25	25	24	24	23	23	22	22	21	21	21	20	20	
Uitkomsten																																
	Hybride																															
	Directe Effecten (NCW)	46.789																														
	Externe Effecten	-																														
	CO2 - Hoog	2.639																														
	CO2 - Laag	660																														
Totaal Hoog	49.428																															
Totaal Laag	47.449																															

Samenvatting

Uitkomsten

	Nulalternatief	All-Electric	Warmtenet	Hybride	Verschil tov Nulalternatief		
					All-Electric	Warmtenet	Hybride
Directe Effecten (NCW)	20.595	51.450	34.595	46.789	30.855	14.000	26.194
Externe Effecten							
CO2 - Hoog	4.924	-	-	2.639	-4.924	-4.924	-2.285
CO2 - Laag	1.225	-	-	660	-1.225	-1.225	-566
Totaal Hoog	25.519	51.450	34.595	49.428	25.930	9.076	23.909
Totaal Laag	21.821	51.450	34.595	47.449	29.629	12.775	25.628