

# MKBA Tracé 2 Warmtenet Nijmegen

Marijke Menkveld  
Michiel de Nooij  
Hilke Rösler

September 2016  
ECN-E--16-005



## Verantwoording

Dit rapport is geschreven in opdracht van de Provincie Gelderland, de gemeente Nijmegen, het Radboud UMC en de Radboud Universiteit in het kader van het project MKBA Warmtenet Nijmegen 'Tracé 2'. Het onderzoek staat geregistreerd onder projectnummer 5.3802, projectleider is Marijke Menkveld ([menkveld@ecn.nl](mailto:menkveld@ecn.nl)).

## Abstract

At the request of the Province of Gelderland, the municipality Nijmegen, Radboud university medical center and the Radboud University ECN made a social costs and benefits analyses for the expansion of district heating in Nijmegen to existing buildings.

Hoewel de informatie in dit rapport afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeuren en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders.



# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Opzet van de maatschappelijke kosten-batenanalyse</b>	<b>15</b>
2.1	Inhoud en doel van een MKBA	15
2.2	Beschrijving nul- en projectalternatieven	19
<b>3</b>	<b>Effecten</b>	<b>25</b>
3.1	Welke effecten nemen we mee in de kosten-batenanalyse?	25
3.2	Kwantificering effecten	31
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>55</b>
4.1	Netto Contante Waarde per alternatief	55
4.2	Effect van de projectalternatieven op de CO <sub>2</sub> -reductie	65
4.3	Gevoeligheidsanalyse	68
4.4	Verdelingseffecten	69
4.5	Conclusies	71
	<b>Bijlagen</b>	
A.	Gebouwen in verschillende projectalternatieven	74
B.	Warmtevraag en vermogen	80
C.	Kostenverdeling	84

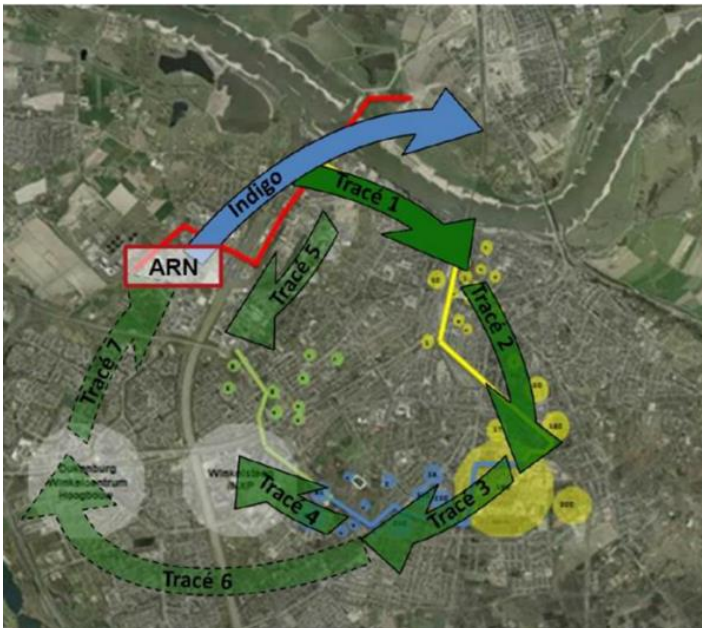


# Samenvatting

## Aanleiding

In de gemeente Nijmegen wordt warmte geleverd vanuit de afvalverbrandingsinstallatie ARN naar de nieuwe wijk de Waalsprong. Er zijn plannen voor uitbreiding van dit warmtenet naar de bestaande stad richting de Radboud campus, "tracé 2" genoemd. Voordat de besluitvorming hieromtrent zal plaatsvinden, zijn de provincie Gelderland, de Gemeente Nijmegen, Radboud UMC en Radboud Universiteit van mening dat er meer inzicht in de maatschappelijke kosten en baten van een dergelijke uitbreiding dient te komen. Deze vier partijen hebben daarom ECN gevraagd een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uit te voeren van tracé 2.

**Figuur 1:** Situatie in Nijmegen met bestaande warmtetransportleiding in rood vanuit de ARN en in geel de gebouwen die kunnen worden aangesloten via tracé 2



### Verschillende projectalternatieven

De essentie van een MKBA is het afwegen van alternatieven op basis van de gevolgen voor de welvaart en het welzijn van de samenleving als geheel, de maatschappelijke kosten en baten. Een MKBA brengt daarvoor van de verschillende alternatieven in kaart wat de effecten zijn ten opzichte van een nulalternatief zonder nieuw beleid. De MKBA kwantificeert deze effecten en drukt ze uit in euro's, zodat ook een saldo van baten minus kosten kan worden bepaald. Hierbij worden risico's en onzekerheid in kaart gebracht en zo nodig gewaardeerd. Hierdoor geeft een MKBA zicht op het effect van beleid op de welvaart voor de maatschappij als geheel. Ook worden de maatschappelijke verdelingseffecten in kaart gebracht, omdat baten en kosten vaak ongelijk over de verschillende partijen verdeeld zijn en deze verdeling uit kan maken voor de beslissing.

In een MKBA worden verschillende projectalternatieven met elkaar en met een nulalternatief vergeleken (zie tabel 1). Er zijn verschillende alternatieven voor het warmtenet uitgewerkt, met en zonder aansluiting van de Radboudcampus en op de Radboudcampus alleen aansluiting van het ketelhuis van het UMC of ook aansluiting van individuele (nu verketelde) gebouwen van de Universiteit. Alternatieven voor een warmtenet zijn extra inzetten op energiebesparing door na-isolatie, extra WKO op de Radboudcampus of toepassing van elektrische warmtepompen al dan niet in combinatie met een gasgestookte back up. De onderzoeksvraag is daarom breder geformuleerd.

De onderzoeksvraag die deze MKBA studie moet beantwoorden is:

*Wat zijn de maatschappelijke kosten en baten van verduurzaming van de warmtevoorziening van de gebouwen langs tracé 2 en op de Radboud campus?*

**Tabel 1:** Projectalternatieven MKBA tracé 2 Warmtenet Nijmegen

Project alternatieven	Beschrijving
PA1	Nulalternatief bestaande warmtevoorziening met gasgestookte ketels
PA2a	Warmtenet zonder aansluiting Radboud campus, alleen gebouwen langs tracé
PA2b	Warmtenet met gebouwen langs tracé en aansluiting ketelhuis UMC
PA2c	Warmtenet met gebouwen langs tracé en aansluiting ketelhuis UMC en individuele gebouwen RU
PA3a	Extra energiebesparing in gebouwen en extra WKO op Radboud campus
PA3b	Extra energiebesparing in gebouwen en extra WKO op Radboud campus en warmtepompen met gasgestookte back up in gebouwen langs tracé
PA3c	Extra energiebesparing in gebouwen en extra WKO op Radboud campus en all electric warmtepompen in gebouwen langs tracé

### Resultaten kosten en baten

De maatschappelijke kosten van warmtelevering bestaan uit de investering- en exploitatiekosten van een warmtenet en een investering in hulpwarmtekets, gasverbruik voor hulpwarmtekets, elektriciteitsverbruik van pompen en derving van elektriciteitsproductie bij de ARN en gedeelde energiebelasting op aardgas. De kosten van de andere projectalternatieven bestaan uit investering- en exploitatiekosten in besparingsmaatregelen, WKO en warmtepompen en de kosten van extra

elektriciteitsverbruik. De baten bestaan uit gasbesparing, CO<sub>2</sub>-reductie en reductie van overige emissies. In projectalternatieven met warmtepompen komt daar extra energiebelasting op elektriciteit bij.

Van alle projectalternatieven zijn de kosten en baten per jaar uitgerekend over een periode van 50 jaar en verdisconteerd naar huidige (contante) waardes. De kosten en baten zijn sterk afhankelijk van de ontwikkeling van gas-, elektriciteit- en CO<sub>2</sub>-prijzen. We gebruiken daarvoor twee scenario's uit de Welvaart en leefomgeving studie (WLO) van het CPB en PBL. Een belangrijk verschil tussen WLO Laag en WLO Hoog zit in het gevoerde mondiale klimaatbeleid. Dit is in WLO Hoog veel steviger dan in WLO Laag. Daardoor is er in WLO Hoog minder vraag naar aardgas en is de gasprijs lager dan in WLO Laag. De elektriciteitsprijs en de CO<sub>2</sub>-prijs zijn juist hoger in WLO Hoog. De WLO Laag en WLO Hoog scenario's schetsen de twee meest waarschijnlijke ontwikkelingen voor Nederland in de komende decennia. Tegelijkertijd geven CPB en PBL aan dat het mogelijk is dat er stringenter klimaatbeleid gevoerd gaat worden dan nu verwacht wordt. Hiervoor hebben ze een alternatief CO<sub>2</sub>-prijspad bedacht, het zogenaamde twee graden scenario. We presenteren de resultaten van deze maatschappelijke kosten-baten analyse daarom in 3 tabellen: tabel 2 geeft de resultaten voor WLO Laag, tabel 3 geeft de resultaten voor WLO Hoog en tabel 4 voor het WLO 2 graden scenario.

De CO<sub>2</sub>-baten kunnen op 2 verschillende manieren worden berekend: door uit te gaan van de fysieke CO<sub>2</sub>-reductie, dan wel rekening te houden met de indirecte effecten van emissiehandel. Daarom staan er 2 regels in de tabellen voor de CO<sub>2</sub>-baten en uiteindelijk ook 2 regels voor de totale baten en het saldo van kosten en baten. Daar waar in de CO<sub>2</sub>-baten rekening is gehouden met emissiehandel is alleen de CO<sub>2</sub>-reductie door gasbesparing bij niet emissiehandel deelnemers meegenomen. Gasbesparing van het UMC en de RU wordt in de CO<sub>2</sub>-baten dan niet meegenomen omdat zij als emissiehandel deelnemers ook onder het emissieplafond vallen. Rekening houdend met emissiehandel wordt gedeerde elektriciteitsproductie door warmtelevering bij de ARN, en extra elektriciteitsverbruik van warmtepompen ook niet meegenomen omdat dit geproduceerd wordt door elektriciteitscentrales die vallen onder emissiehandel met één emissieplafond. Ook het gasverbruik van hulpwarmteketels bij warmtelevering wordt in de berekening van de CO<sub>2</sub>-baten niet meegenomen omdat zij ook onder het emissiehandelssysteem vallen.

De onderste regel van de tabel geeft de uitkomst van baten minus kosten. Een negatief getal geeft weer dat de kosten van dit alternatief groter zijn dan de baten

### **Resultaten alleen gebaseerd op fysieke CO<sub>2</sub>-reductie**

Qua resultaten valt op dat alle projectalternatieven een negatief saldo hebben onder de twee WLO scenario WLO Laag en WLO Hoog, de kosten zijn dan hoger dan de maatschappelijke baten. Alleen projectalternatief 2c (het langste warmtenet alternatief) heeft een positief saldo onder WLO laag door de hoge gasprijzen.

Onder een twee graden scenario met hoge CO<sub>2</sub>-prijzen zijn de warmtenetalternatieven met aansluiting van de Radboud campus (PA2b en PA2c) en de twee besparingsalternatieven PA3a en PA3b maatschappelijk aantrekkelijk. Alleen alternatief PA2a (het kortste warmtenet) en PA3c (extra besparing en all-electric warmtepompen)

scoren negatief. De besparingsalternatieven scoren beter dan de warmtenet alternatieven.

### **Resultaten rekening houdend met emissiehandel**

Wanneer we rekening houden met de indirecte effecten van emissiehandel, verbetert het saldo van maatschappelijke kosten en baten van de verschillende projectalternatieven. De CO<sub>2</sub>-baten zijn hoger doordat gedeerde elektriciteitsproductie door warmtelevering bij de ARN en extra elektriciteitsverbruik van warmtepompen worden gecompenseerd onder het emissieplafond. Alleen bij projectalternatief 2a verslechterd het saldo doordat de gasbesparing op de Radboudcampus als deelnemer aan emissiehandel niet wordt meegenomen. Toch blijft het saldo van kosten en baten negatief voor de meeste projectalternatieven onder de twee WLO scenario WLO Laag en WLO Hoog. Alleen de twee warmtenet alternatieven met aansluiting van de Radboud campus (PA2b en PA2c) scoren positief onder WLO laag door de hoge gasprijzen.

Onder een twee graden scenario met hoge CO<sub>2</sub>-prijzen en rekening houdend met de indirecte effecten van emissiehandel zijn alle projectalternatieven maatschappelijk aantrekkelijk, behalve projectalternatief PA2a besparing in de gebouwen langs het tracé en extra WKO op de Radboud campus .

### **Onzekerheden**

Door afvalbeleid en overcapaciteit in de afvalverwerking is het onzeker hoe lang de ARN nog warmte kan leveren. Het risico bestaat dat op termijn (na 20 of 30 jaar) geïnvesteerd moet worden in een nieuwe duurzame warmtebron, zoals geothermie of biomassa. Dat betekent tientallen miljoenen euro's investeringskosten die nu nog niet in de kosten-batenanalyse zijn meegenomen.

Er zijn nog twee relatief grote onzekerheden in de data. De kostengegevens van het warmtenet zijn door Nuon/Liandon alleen in zeer condense vorm verstrekt en konden daarom niet kwalitatief getoetst worden. Besparingen langs het tracé zijn desk research inschattingen. Zonder dat gebouwen geschouwd zijn en gekeken is welke maatregelen nodig en/of aantrekkelijk zijn, is hiervan op basis van leeftijd en energieverbruik een inschatting gemaakt. De mogelijkheden van energiebesparing in detail per gebouw uitzoeken viel buiten de opdracht, maar het precies nagaan welke maatregelen bij welke gebouwen aantrekkelijk zijn kan wel een aantrekkelijk besparingsalternatief op leveren. Hierbij kan dan tevens aandacht zijn voor de kostenschattingen van WKO's en warmtepompen in utiliteitsbouw waar erg weinig informatie over beschikbaar is.



Tabel 2: Resultaten MKBA voor 6 projectalternatieven: WLO Laag

Miljoenen euro's	PA2a Warmtenet tot station Heijendaal	PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC	PA2c Warmtenet tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmtepompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmtepompen all- electric
<b>Totale kosten</b>	93	114	128	30	85	154
investeringen ketels	-8	-9	-12	-0,1	-2	-11
Investeringen warmtenet	29	32	38	0	0	0
Investeringen in WKO/warmtepomp	0	0	0	5	17	64
investeringen in besparingen	0	0	0	18	18	18
Exploitatiekosten ketel	-3	-4	-5	-0,1	-1	-4
Exploitatiekosten warmtenet	7	8	10	0	0	0
Exploitatiekosten WKO/warmtepomp	0	0	0	2	5	21
Gasverbruik hulpwarmtekets	8	11	13	0	0	0
Elektriciteitsverbruik pompen warmtenet	3	4	5	0	0	0
Elektriciteitsderving ARN	20	29	34	0	0	0
Elektriciteitsverbruik WKO/warmtepompen	0	0	0	1	21	30
Gederfde energiebelasting aardgas	38	42	47	6	29	40
Extra energiebelasting elektriciteit	0	0	0	-0,01	-3	-4
<b>Totale baten zonder rekening te houden met emissiehandel</b>	87	113	130	19	77	101
<b>Totale baten rekening houdend met indirecte effecten emissiehandel</b>	92	119	136	19	79	104
Gasbesparing	85	110	127	17	72	95
Waarde CO2 reductie alle fysieke uitstoot	2	3	3	2	4	5
Waarde CO2-reductie rekening houdend met emissiehandel	7	8	9	1	6	9
NOX, SO2, fijn stof	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
<b>Saldo baten minus kosten zonder rekening te houden met emissiehandel</b>	-6	-1	2	-11	-8	-52
<b>Saldo baten minus kosten rekening houdend met emissiehandel</b>	-1	4	7	-12	-6	-49

**Tabel 3: Resultaten MKBA voor 6 projectalternatieven: WLO Hoog**

Miljoenen euro's	PA2a Warmtenet tot station Heijendaal	PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC	PA2c Warmtenet tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmtepompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmtepompen all- electric
<b>Totale kosten</b>	95	116	131	31	88	158
investeringen ketels	-8	-9	-12	-0,1	-2	-11
Investeringen warmtenet	29	32	38	0	0	0
Investeringen in WKO/warmtepomp	0	0	0	5	17	64
investeringen in besparingen	0	0	0	18	18	18
Exploitatiekosten ketel	-3	-4	-5	-0,1	-1	-4
Exploitatiekosten warmtenet	7	8	10	0	0	0
Exploitatiekosten WKO/warmtepomp	0	0	0	2	5	21
Gasverbruik hulpwarmtekets	5	7	8	0	0	0
Elektriciteitsverbruik pompen warmtenet	3	5	6	0	0	0
Elektriciteitsderving ARN	24	34	40	0	0	0
Elektriciteitsverbruik WKO/warmtepompen	0	0	0	1	25	35
Gederfde energiebelasting aardgas	38	42	47	6	29	40
Extra energiebelasting elektriciteit	0	0	0	-0,01	-3	-4
<b>Totale baten zonder rekening te houden met emissiehandel</b>	71	92	105	19	69	90
<b>Totale baten rekening houdend met indirecte effecten emissiehandel</b>	91	112	125	16	76	102
Gasbesparing	64	81	93	12	53	70
Waarde CO2 reductie alle fysieke uitstoot	7	10	12	7	16	20
Waarde CO2-reductie rekening houdend met emissiehandel	27	30	32	4	23	31
NOX, SO2, fijn stof	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
<b>Saldo baten minus kosten zonder rekening te houden met emissiehandel</b>	-23	-25	-26	-12	-19	-68
<b>Saldo baten minus kosten rekening houdend met emissiehandel</b>	-3	-5	-6	-14	-12	-57

**Tabel 4:** Resultaten MKBA voor 6 projectalternatieven: WLO 2 graden scenario

Miljoenen euro's	PA2a Warmtenet tot station Heijendaal	PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC	PA2c Warmtenet tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmtepompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmtepompen all- electric
<b>Totale kosten</b>	99	123	139	31	91	163
investeringen ketels	-8	-9	-12	-0,1	-2	-11
Investeringen warmtenet	29	32	38	0	0	0
Investeringen in WKO/warmtepomp	0	0	0	5	17	64
investeringen in besparingen	0	0	0	18	18	18
Exploitatiekosten ketel	-3	-4	-5	-0,1	-1	-4
Exploitatiekosten warmtenet	7	8	10	0	0	0
Exploitatiekosten WKO/warmtepomp	0	0	0	2	5	21
Gasverbruik hulpwarmtekets	5	7	8	0	0	0
Elektriciteitsverbruik pompen warmtenet	4	5	6	0	0	0
Elektriciteitsderving ARN	28	40	47	0	0	0
Elektriciteitsverbruik WKO/warmtepompen	0	0	0	1	28	39
Gederfde energiebelasting aardgas	38	42	47	6	29	40
Extra energiebelasting elektriciteit	0	0	0	-0,01	-3	-4
<b>Totale baten zonder rekening te houden met ETS</b>	93	124	143	41	118	151
<b>Totale baten rekening houdend met ETS</b>	177	208	227	29	149	200
Gasbesparing	64	81	93	12	53	70
Waarde CO2 reductie alle fysieke uitstoot	29	43	50	29	65	80
Waarde CO2-reductie rekening houdend met ETS	113	126	134	17	96	130
NOX, SO2, fijn stof	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
<b>Saldo baten minus kosten zonder rekening te houden met emissiehandel</b>	-6	2	5	10	26	-12
<b>Saldo baten minus kosten rekening houdend met emissiehandel</b>	79	85	89	-2	58	37



# 1

## Inleiding

### Aanleiding

De regio Nijmegen beschikt over een warmtenet en is voornemens dit warmtenet uit te breiden met een tracé 2 (het tracé tussen de woonwijk Waalfront<sup>1</sup> en het Radboud complex) dat een aantal potentiële afnemers van warmte kan voorzien. Dit betreffen UMC Radboud, Radboud Universiteit en een aantal wooncomplexen en utiliteitsgebouwen langs het tracé. Voordat de besluitvorming hieromtrent zal plaats vinden, zijn de provincie Gelderland, de Gemeente Nijmegen, Radboud UMC en Radboud Universiteit van mening dat er meer inzicht in de maatschappelijke kosten en baten van een dergelijke uitbreiding dient te komen. Deze 4 partijen hebben daarom ECN gevraagd een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uit te voeren.

### Onderzoeksvraag

In een MKBA worden verschillende projectalternatieven met elkaar vergeleken. Alternatieven voor een warmtenet zijn extra inzetten op besparing of toepassing van elektrische warmtepompen al dan niet in combinatie met warmte/koude opslag (WKO). De onderzoeksvraag is daarom breder geformuleerd.

De onderzoeksvraag die deze MKBA studie moet beantwoorden is:

*Wat zijn de maatschappelijke kosten en baten van verduurzaming van de warmtevoorziening van de gebouwen langs tracé 2 en op de Radboud campus?*

Bij de uitwerking van de onderzoeksvraag hanteren we de volgende uitgangspunten

- De verduurzaming van de warmtevoorziening is gericht op het terugdringen van het gebruik van fossiele energie dan wel CO<sub>2</sub>-reductie.
- De studie gaat niet uit van een specifieke CO<sub>2</sub>-reductiedoelstelling vooraf, de CO<sub>2</sub>-reductie is één van de resultaten van de MKBA.
- De CO<sub>2</sub>-reductie wordt zo goed mogelijk in kaart gebracht, er wordt niet zondermeer van kengetallen uitgegaan.

<sup>1</sup> De gemeente Nijmegen heeft concessie verleend tot aan de parkeerplaats 'Nieuw De hoofdleiding is al gelegd in de Heselaan, ongeveer tot aan de ingang van de parkeerplaats.

- Voor de aanleg van tracé 2 van het warmtenet is een aantal panden geselecteerd op de Radboud campus en langs het tracé die gunstig zijn om aan te sluiten op basis van de aanwezigheid van blokverwarming, afstand en geschat gasverbruik).
- We beperken ons tot een maatschappelijke kosten-batenanalyse en maken geen kosten-batenanalyse voor afzonderlijke partijen.

Ten aanzien van de uit te werken alternatieven hanteren we de volgende uitgangspunten

- Doel is een eerlijk vergelijk tussen de alternatieven.
- Ieder alternatief wordt doorgerekend met dezelfde set gebouwen en met een maximale doorvoering van de warmtevoorzieningsvariant met zo min mogelijk vooringenomen keuzes.

#### **Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 beschrijft de achtergrond van een maatschappelijke kosten-batenanalyse, en de projectalternatieven die in deze MKBA met elkaar vergeleken worden. Hoofdstuk 3 beschrijft de belangrijkste effecten en de uitgangspunten voor verdere kwantificering en waardering. Hoofdstuk 4 presenteert de resultaten en conclusie.

# 2

## Opzet van de maatschappelijke kosten- batenanalyse

Dit hoofdstuk bespreekt de gebruikte onderzoeksmethode en beschrijft de projectalternatieven die met elkaar vergeleken worden.

### 2.1 Inhoud en doel van een MKBA

Een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) maakt inzichtelijk wat de welvaartseffecten van mogelijk beleid zijn, zodat beleidsmakers op basis van objectieve informatie kunnen beslissen. Dit is nuttig bij beleid of bij maatregelen waar verschillende soorten effecten optreden en tegen elkaar afgewogen moeten worden. Een MKBA brengt daarvoor van de verschillende beleidsmogelijkheden in kaart wat de effecten zijn ten opzichte van een nulalternatief zonder nieuw beleid. De MKBA kwantificeert deze effecten en waardeert (in euro's uitdrukken) deze effecten vervolgens. Hierbij worden risico's en onzekerheid in kaart gebracht en zo nodig gewaardeerd. Hierdoor geeft een MKBA zicht op het effect van beleid op de welvaart voor de maatschappij als geheel, als het saldo van de in euro's gemeten baten minus de kosten. Ook worden de maatschappelijke verdelingseffecten in kaart gebracht, omdat baten en kosten vaak ongelijk over de verschillende partijen verdeeld zijn en deze verdeling uit kan maken voor de beslissing. De MKBA zelf heeft geen waardering voor de mate waarin verschillende groepen voor- of nadeel ondervinden van een maatregel.

Een MKBA brengt dus alle effecten voor de hele samenleving (burgers, bedrijven en overheden) in kaart. Dus ook de effecten waarvoor geen marktprijzen bestaan, zoals effecten op het gebied van natuur en milieu, landschap, veiligheid, cultuurhistorie en sociale cohesie. Hoe beter de opstellers van een MKBA er in slagen alle kosten en baten in geld uit te drukken, hoe beter effecten en maatregelen onderling vergelijkbaar worden en hoe inzichtelijker de informatie is die de beleidsmakers aangeboden krijgen.


Een MKBA kan niet alleen helpen om een keuze voor een specifieke maatregel te maken of te onderbouwen, maar kan ook helpen in de beleidsvoorbereiding bij het ontwerp van de beleidsmaatregel. Hierbij gaat het om vragen als ‘Wat is het probleem?’, ‘Hoe ontwikkelt het probleem zich als we niets doen?’, ‘Wat zijn de mogelijke oplossingen?’.

### **MKBA handleiding**

Een MKBA is verankerd in de economische wetenschap en wordt bij veel beleidsvoorbereidingen toegepast. Voor veel sectoren is een MKBA een gebruikelijk instrument (bijvoorbeeld bij infrastructuur). In de praktijk is toepassing vaak ingewikkeld, maar om de aanpak te verbeteren en te standaardiseren zijn er in de loop van de tijd een aantal handleidingen ontwikkeld. De eerste richtlijn ontstond na verwarrende analyses rond de Betuwelijn en de HSL-Zuid (OEI; Onderzoek Effecten Infrastructuur, Eijgenraam e.a., 2000).<sup>2</sup> In 2004 zijn daar een aantal aanvullingen op verschenen (zie ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004).<sup>3</sup> Sinds die tijd zijn er een flink aantal aanvullingen, werkwijzers, handreikingen en handleidingen verschenen die de OEI leidraad op andere onderwerpen toepasbaar hebben gemaakt. De meest recente ontwikkeling is een nieuwe algemene handleiding (Romijn en Renes, 2013).<sup>4</sup> Deze vervangt de voorgaande handleidingen en benoemt acht stappen om te komen tot een MKBA. In het vervolg verwijzen we hier vooral naar de handleiding van Romijn en Renes omdat de Rijksoverheid deze als basis heeft benoemd voor rijks-MKBA's (Ministerie van Financiën, 2013, p. 3).<sup>5</sup> De volgorde van de stappen is op hoofdlijnen logisch, al hoeven de stappen niet altijd lineair te worden uitgevoerd: soms is het nodig om na de uitvoering van een latere stap een eerdere stap te herzien. Veranderende omstandigheden en inzichten kunnen hier debet aan zijn.

### **De onderdelen van een MKBA**

Tabel 5 geeft het stappenschema weer volgens Romijn en Renes (2013). Onder deze tabel werken we dit stappenschema iets verder uit.

- 
- <sup>2</sup> Eijgenraam, C. J.J., Koopmans, C.C., Tang, P.J.G., & Verster, N.C.P. (2000). Evaluatie van infrastructuur projecten, leidraad voor kosten-batenanalyse. Den Haag: Centraal Planbureau.
  - <sup>3</sup> Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2004). Aanvullingen op de leidraad overzicht effecten infrastructuur: een samenvatting. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
  - <sup>4</sup> Romijn, Gerbert, en Gusta Renes (2013) Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse. CPB/PBL.
  - <sup>5</sup> Ministerie van Financiën (2013) Kabinetsbrief bij de algemene MKBA Leidraad. Ons kenmerk IRF/2013/993. 6 december.



**Tabel 5:** Stappenplan MKBA

1. Probleemanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welk knelpunt of welke kans doet zich voor en hoe ontwikkelt deze zich?</li> <li>• Welke beleidsdoelstelling volgt daaruit?</li> <li>• Welke oplossingsrichtingen zijn kansrijk?</li> </ul>
2. Vaststellen nulalternatief	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meest waarschijnlijke ontwikkeling zonder beleid</li> <li>• Effect = beleidsalternatief – nulalternatief</li> </ul>
3. Definitie beleidsalternatieven	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschrijf de te nemen maatregelen</li> <li>• Rafel pakketten uiteen tot samenstellende onderdelen</li> <li>• Definieer meerdere alternatieven en varianten</li> </ul>
4. Bepalen effecten en baten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificeer effecten</li> <li>• Kwantificeer effecten</li> <li>• Waardeer (monetariseer) effecten</li> </ul>
5. Bepalen kosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opgeofferde middelen om de oplossing te implementeren</li> <li>• Kosten kunnen eenmalig of periodiek zijn, vast of variabel</li> <li>• Alleen de extra kosten ten opzichte van het nulalternatief</li> </ul>
6. Varianten en risicoanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificeer de belangrijkste onzekerheden en risico's</li> <li>• Analyseer de gevolgen voor de uitkomsten</li> </ul>
7. Opstellen overzicht kosten en baten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reken alle kosten en baten naar hetzelfde basisjaar en bepaal het saldo</li> <li>• Breng alle effecten in beeld, ook niet-gekwantificeerde en/of niet-gemonetariseerde</li> </ul>
8. Resultaten presenteren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relevant, toegankelijk en duidelijk</li> <li>• Verantwoorden: transparantie en reproduceerbaarheid</li> <li>• Interpreteren: wat kan de besluitvormer uit de MKBA leren?</li> </ul>

Bron: Romijn en Renes (2013).

**Stap 1** Probleemanalyse behandelt het probleem dat het project moet oplossen, waarom er mogelijk een reden is voor overheidsingrijpen. De vraag die in deze MKBA centraal staat is of tracé 2 van het Nijmeegse warmtenet, tussen Waalfront en Radboud campus, maatschappelijk gezien een goede investering is. Alternatieven voor een warmtenet zijn extra inzetten op besparing of toepassing van elektrische warmtepompen al dan niet in combinatie met warmte/koude opslag (WKO). De onderzoeksvraag is daarom breder geformuleerd. De onderzoeksvraag die deze MKBA studie moet beantwoorden is:

*Wat zijn de maatschappelijke kosten en baten van verduurzaming van de warmtevoorziening van de gebouwen langs tracé 2 en op de Radboud campus?*

**Stap 2** Vaststellen nulalternatief en **stap 3** de definitie van projectalternatieven worden in paragraaf 2.2 uitgewerkt.

**Stap 4** gaat over het bepalen van de baten (effecten). Deze stap bestaat uit drie onderdelen. Ten eerste, stel vast welke effecten optreden door een maatregel, ga na welke maatregelen van belang zijn voor de MKBA en analyseer de effecten. Alle gerapporteerde effecten betreffen het verschil tussen het nulalternatief en de projectalternatieven. Ten tweede, kwantificeer de effecten. Kwantificeren is nuttig voor het begrip van de MKBA en noodzakelijk om tot een waardering te kunnen komen. Ten derde, waardeer de effecten (in geld uitdrukken, monetariseren). Door de effecten in geld te waarderen worden effecten onderling vergelijkbaar. Hiervoor kan de marktprijs worden gebruikt. Voor niet-marktgoederen zijn alternatieve waarderingmethoden beschikbaar.

In **stap 5** worden de kosten bepaald. Romijn en Renes bespreken dit in een apart hoofdstuk omdat de kostenramingen die vaak worden opgesteld door ingenieurs niet gelijk zijn aan de welvaartseffecten die in een MKBA horen.

**Stap 6** is het in kaart brengen van de impact van onzekerheden, bijvoorbeeld door een gevoeligheidsanalyse en eventueel een scenarioanalyse. Een deel van de effecten moet immers worden geschat op basis van aannames en kentallen, en de invloed hiervan moet gekend worden.

Stap 4, 5 en 6 staan centraal in hoofdstuk 3. Stap 6 komt terug in hoofdstuk 4.

**Stap 7** is het opstellen van het overzicht van kosten en baten. Hierbij moeten als eerste de kosten en baten over tijd worden teruggerekend naar een gemeenschappelijk basisjaar. De gedachte hierachter is dat een geldbedrag nu meer waard is dan eenzelfde bedrag over 10 of 20 jaar (in verband met bijvoorbeeld rente die men 10 jaar lang kan incasseren). Dit zogenaamde verdisconteren levert de zogeheten 'contante waarde' op van de kosten en baten. Voor de bepaling daarvan, aan de hand van een 'discontovoet', bestaan duidelijke regels.

Op 13 november 2015 is een kabinetsreactie<sup>6</sup> gepubliceerd over het rapport Werkgroep discontovoet 2015.<sup>7</sup> Hierin worden de standaard discontovoeten voor overheidsMKBA's aangepast:

- De standaard reële, risicogewogen discontovoet wordt 3% in plaats van 5,5%.
- Voor publieke fysieke investeringen met substantiële vaste kosten wordt de discontovoet 4,5% voor zowel de baten (met uitzondering van natuur- en gezondheidsbaten) als de kosten. (Energie)netwerken en energiecentrales worden expliciet genoemd als voorbeelden van publieke fysieke investeringen met substantiële vaste kosten.
- Natuureffecten worden ook bij fysieke investeringen met substantiële vaste kosten met 3% verdisconteerd. Gerelateerd aan deze discontovoet geeft het kabinet aan dat voor natuur en milieu gewerkt moet worden met een jaarlijkse prijsstijging van 1%, tenzij wordt aangetoond dat de betreffende natuur substitueerbaar is. Hierdoor is de effectieve discontovoet voor natuur en milieu dan 2%. Voor CO<sub>2</sub>-prijzen hanteren we geen jaarlijkse prijsstijging maar de prijspaden van CPB en PBL uit de WLO scenario's (deze worden in hoofdstuk 3 besproken).

Alle gereedkomende MKBA's vanaf 1 april 2016 moeten volgens de nieuwe voorschriften worden uitgevoerd. Daarom rekenen we de MKBA door met een discontovoet van 4,5 procent, en de natuur en milieueffecten met 3 procent.<sup>8</sup>

Bij het terugrekenen van effecten is uiteraard de looptijd (of tijdshorizon) van de MKBA van belang. In principe is de looptijd van een MKBA oneindig, of zolang er verschillen tussen nulalternatief en projectalternatieven zijn. Praktisch gezien wordt deze looptijd hier beperkt tot 50 jaar. Tevens worden een aantal kortere doorlooptijden doorgerekend (10, 20, 30 en 40 jaar) zodat er zicht is op de termijn waarin het project maatschappelijk aantrekkelijk wordt. Door de verdiscontering van toekomstige waarden zijn bedragen na deze periode relatief klein in contante (huidige waarden) terwijl het inschatten ervan steeds moeilijker wordt. Zo heeft €100 over 50 jaar verdisconteerd met een discontovoet van 4,5% een contante waarde van €11 en met een discontovoet van 3% een waarde van €23.

<sup>6</sup> Minister van Financiën (2015) Betreft Kabinetsreactie bij eindrapport werkgroep discontovoet. Brief aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. 13 november 2015. IRF/2015/866.

<sup>7</sup> Werkgroep Discontovoet (2015) Rapport.

<sup>8</sup> Ook in de energiebesparingsvarianten 3a tot en met 3c wordt een discontovoet van 4,5 procent gehanteerd. Hierdoor is de hoogte van de discontovoet consistent. Hiervoor is gekozen mede vanwege het publieke karakter van deze investeringen (zonder overheidsdruk, regelgeving of subsidiering zullen deze niet tot stand komen).

In de MKBA wordt steeds het prijspeil van 1 januari 2016 gebruikt. En waar kosten en baten over een langere tijd worden gerapporteerd worden contante waardes (CW) gerapporteerd. Het MKBA-saldo betreft het contante-waarde saldo (netto contante waarde, NCW).

Het optellen van de contante waarde van de kosten en baten levert het MKBA saldo op. Dit saldo is belangrijk maar hoeft niet doorslaggevend te zijn. Als het bij het opstellen van de MKBA niet is gelukt om alle effecten te waarderen, dan kunnen deze niet-gewaardeerde effecten een reden voor politici zijn om toch voor (tegen) een project te kiezen met een negatief (positief) saldo van wel in geld gewaardeerde effecten. Ook kunnen er verdelingseffecten zijn (wie gaan erop vooruit en wie erop achteruit) die beleidsmakers ervoor doen kiezen om een beleidsmaatregel met een negatief saldo te steunen of om een maatregel met een positief saldo niet te steunen.

**Stap 8** gaat over het helder en toegankelijk presenteren en interpreteren van de resultaten. Dit is nodig om te zorgen dat een MKBA ook in het beleidsvoorbereidingsproces een rol speelt. Daartoe moeten de belangrijkste resultaten worden gepresenteerd in een overzichtstabel waarin per alternatief de verwachte effecten en de hieraan verbonden baten en afgezet worden tegen de kosten en het saldo wordt bepaald. Ook belangrijke niet-gekwantificeerde of niet in geld gewaardeerde effecten moeten in de overzichtstabel worden opgenomen, evenals belangrijke onzekerheden. Het verhaal achter de tabel en de toelichting moeten uiteraard ook helder zijn.

Stap 7 en 8 worden in hoofdstuk 4 uitgewerkt.

## 2.2 Beschrijving nul- en projectalternatieven

In een MKBA worden van projectalternatieven de effecten uitgerekend ten opzichte van het nulalternatief. Dit nulalternatief is het referentiealternatief en beschrijft wat er gebeurt als er geen bijzonder beleid wordt gevoerd. Het wordt ook aangeduid als business as usual (BAU). Voor een goede analyse is het daarom van belang dat zowel de projectalternatieven als het nulalternatief reëel zijn. Deze paragraaf beschrijft deze alternatieven.

We beschouwen de volgende alternatieven:

1. Nulalternatief, het business as usual scenario die wordt gebruikt als referentie. Daarin wordt wel een autonoom besparingstempo meegenomen.
2. Alternatief met aanleg van een warmtenet in 3 varianten, waarbij in alle gevallen de aan te leggen warmteleiding aansluit op de bestaande warmteleiding in de Heselaan bij het Waalfront.
  - a. Aanleg van het warmtenet voor alle gebouwen langs tracé 2 maar zonder aansluiting van de Radboudcampus. In dit projectalternatief wordt het hoofdtracé tot boven het NS station Heijendaal gerealiseerd en wordt alles boven het spoor aangesloten, inclusief warmtelevering aan het gebied 'Multatuliplaats'
  - b. Aanleg van het warmtenet tot en met het ketelhuis van het UMC. In dit projectalternatief wordt het Radboud UMC en het HAN gebied ook aangesloten op het warmtenet en vindt een kruising van het spoor plaats.

- c. Aanleg van het warmtenet tot aan de Houtlaan, waarbij naast het ketelhuis van het UMC ook nog meerdere gebouwen van de Radboud Universiteit en SSHN worden aangesloten.
3. Alternatief met extra energiebesparing, warmtepompen en WKO in 3 varianten
- a. Extra energiebesparing en WKO in die gebouwen waar dat mogelijk is op het campusterrein. Die extra energiebesparing betreft na-isolatie en waar mogelijk warmteterugwinning uit ventilatielucht gericht op het reduceren van de warmtevraag. Ook wordt er extra energiebesparing gerealiseerd in de gebouwen langs het tracé door na-isolatie.
  - b. Naast de extra energiebesparing en WKO uit projectalternatief 3a worden de panden langs het tracé ook met een warmtepomp voor verwarming uitgerust met een gasgestookte back up.
  - c. Idem als projectalternatief 3b, maar met warmtepompen zonder gasgestookte back up als all-electric alternatief.

Hieronder werken we deze alternatieven verder uit.

### **Tracé**

De definitieve tracé keuze moet nog door gemeente Nijmegen genomen worden. In principe zal het een combinatie van een eerder bestudeerde West en Oost route worden (waarbij Oost en West de ligging ten opzichte van het spoor aanduidt). Deze route zal waarschijnlijk lagere kosten hebben dan eerder varianten omdat deze gebruik kan maken van een bestaande tunnel onder het station door. Maar de gemeente Nijmegen zal nog met Liandon over de haalbaarheid en kosten van deze route moeten overleggen.

Qua timing gaat de gemeente ervan uit dat nieuwbouw bij het station in maart 2017 moet worden aangesloten, het net moet dan tot daar gereed zijn. We gaan ervan uit dat eind 2017 heel tracé 2 is aangelegd.

### **Keuze gebouwen**

In alle drie de alternatieven bekijken we de kosten en baten in dezelfde gebouwen die aan tracé 2 van het mogelijke warmtenet liggen. Dat zijn de gebouwen op het Radboud campus. Verder betreft het de flats van woningcorporaties SSHN en Talis langs tracé 2 die in projectalternatief 2 op het warmtenet kunnen worden aangesloten. Tevens zijn er andere grote utiliteitsgebouwen langs het tracé, deels in eigendom van de gemeente die aangesloten kunnen worden. In overleg met de gemeente Nijmegen en de Radboud Universiteit en de Radboud campus gaan we uit van een lijst van gebouwen zoals opgenomen in Bijlage A.

### **1 Nulalternatief: Business as Usual**

In het nulalternatief gaan we ervan uit dat uitbreiding van het bestaande warmtenet met tracé 2 niet plaats zal vinden. Er zal wel een autonome ontwikkeling zijn in de ontwikkeling van de warmtevraag. Hieronder worden aannames omtrent warmtevraag en warmtevoorziening beschreven.

### *Warmtevoorziening*

De Radboud campus is voorzien van een eigen warmtenet. De warmte voor het net wordt geleverd door middel van centrale ketel. Niet alle gebouwen zijn hierop aangesloten. In de afgelopen jaren zijn verschillende gebouwen van de Radboud Universiteit voorzien van een eigen HR-ketel. Het aantal gebouwen dat is aangesloten op het eigen warmtenet van het Radboud complex zal door sloop van gebouwen in de komende jaren verder afnemen. In bijlage A is aangegeven welk gebouw wel of niet op het centrale ketelhuis is aangesloten.

De flats van woningcorporaties hebben blokverwarming en een collectieve ketel. Ook utiliteitsgebouwen langs het tracé worden verwarmd met gasgestookte ketels.

### *Warmtevraag*

Op de Radboud campus wordt een flinke daling van het gasverbruik voorzien door sloop van oude gebouwen, energiezuinige nieuwbouw en renovaties met besparingsmaatregelen. De verwachte toekomstige ontwikkeling van de gasvraag van gebouwen van het Radboud UMC en de Radboud Universiteit zijn door hen aangeleverd en wordt in paragraaf 3.3.4 besproken.

De warmtevraag van gebouwen langs het tracé is door de gemeente bepaald op basis van gegevens uit milieuvergunningen of door Liandon en NUON ingeschat op basis van de gebouw grootte of data uit Energie in beeld.

Op basis van de energiegebruiksontwikkelingen uit de Nationale Energie Verkenning 2015 schat ECN in dat de warmtevraag van bestaande woningen en utiliteitsgebouwen daalt met 0,5% per jaar (de autonome ontwikkeling warmtevraag). Voor de gebouwen op de Radboud campus hanteren we de vraagontwikkelingen zoals door het Radboud UMC en de Radboud Universiteit aangegeven tot en met 2022, daarna hanteren we dezelfde 0,5% jaarlijkse daling van de warmtevraag.

### **Projectalternatief 2 Warmtenet tracé 2**

In dit projectalternatief gaan we ervan uit dat de uitbreiding van het bestaande warmtenet met tracé 2 zal plaatsvinden. We maken daarbij onderscheid tussen 3 varianten:

PA2a: Aanleg van het warmtenet voor alle gebouwen langs tracé 2 maar zonder aansluiting van de Radboudcampus

PA2b: Aanleg van het warmtenet tot en met het ketelhuis van het UMCPA

PA2c: Aanleg van het warmtenet tot aan de Houtlaan, waarbij naast het ketelhuis van het UMC ook nog meerdere gebouwen van de Radboud Universiteit en SSHN worden aangesloten.

### *Warmtevoorziening*

In bijlage A is voor de verschillende varianten aangegeven welke gebouwen worden aangesloten op het warmtenet en welke niet.

### *Warmtevraag*

De warmtevraag is gelijk aan die in het nulalternatief.

### **Alternatief 3 Extra besparing, warmtepompen en WKO**

In het projectalternatief extra energiebesparing ligt de nadruk op na-isolatie van woningen en gebouwen om de warmtevraag te reduceren. Het doel daarbij is een isolatiewaarde van 3,5 te realiseren vergelijkbaar met het isolatieniveau in nieuwe gebouwen. Die isolatiewaarde moet voldoende zijn om een gebouw met een lage temperatuur verwarming systeem te verwarmen, zodat toepassing van elektrische warmtepompen mogelijk is. Dit isolatieniveau is realiseerbaar met gebruikelijke methoden voor na-isolatie. Voor ramen gaan we uit van de toepassing van HR++ glas. Deze isolatiewaarden zijn niet vergelijkbaar met de isolatie die wordt toegepast bij 'nul op de meter' renovaties. Daarbij wordt minimaal een isolatiewaarde van Rc 5 toegepast en driedubbel glas. Dat vereist een werkwijze waarbij een "schil om de schil" van een woning wordt gezet. Nul op de Meter-voorbeelden zijn veelal gericht op eengezinswoningen, of een dergelijke aanpak ook voor gestapelde bouw haalbaar en uitvoerbaar is, wordt nog onderzocht<sup>9</sup>.

Het projectalternatief extra energiebesparing en extra WKO wordt uitgewerkt in 3 varianten:

PA3a Alleen energiebesparing via na-isolatie en WKO op Radboudcampus en na-isolatie in gebouwen langs het tracé.

PA3b Naast na-isolatie ook toepassing van elektrische warmtepompen in de gebouwen lang het tracé, maar met gasgestookte back up.

PA3c Idem als projectalternatief 3b, maar dan met all-electric warmtepompen

#### *Warmtevoorziening*

Net als in het nulalternatief blijft de warmtevoorziening in projectalternatief 3a in de gebouwen langs het tracé met gasgestookte ketels gebeuren. Op de Radboud campus zal ten opzichte van het nulalternatief extra WKO worden geïnstalleerd.

#### *Warmtevraag*

Hoeveel na-isolatie mogelijk is wordt bepaald door de huidige isolatiegraad van een gebouw. Het oorspronkelijke bouwjaar van een pand bepaalt onder welke isolatie eisen of welke bouwpraktijk een gebouw is gebouwd. Het huidige energielabel zegt iets over wat er reeds aan na-isolatie is gedaan.

Alle panden van het Radboud UMC waar na-isolatie mogelijk is, zijn of worden van na-isolatie voorzien in de periode tot 2022 en zijn mede de oorzaak van de verwachte daling van de warmtevraag. Voor de panden van de Radboud universiteit gaan we uit van de besparingen en kosten zoals genoemd in de EPA adviezen die recentelijk zijn opgesteld.

Voor de panden langs het tracé maken we onderscheid tussen woningen en utiliteitsgebouwen.

Van de woningbouwcomplexen weten we het huidige energielabel. De besparing en benodigde investering is afhankelijk van het huidige label en bepalen we op basis van kengetallen (zie verder paragraaf 3.2).

<sup>9</sup> <http://www.duurzaamgebouwd.nl/projecten/20160203-pioniers-presenteren-renovatieconcept-voor-gestapelde-bouw>

Van de utiliteitsgebouwen langs het tracé weten we het energielabel niet, maar wel het bouwjaar, het vloeroppervlak en een ingeschat gasverbruik. Door de gasintensiteit te berekenen en te vergelijken met energiekengetallen<sup>10</sup> naar gebouw grootte en bouwjaar schatten we in of een gebouw reeds na isolatie moet hebben toegepast. Zo niet, dan gaan we uit van de isolatie-eisen en bouwpraktijk in het bouwjaar waarin het pand is gebouwd (zie tabel 6)

**Tabel 6:** Kenmerken isolatie utiliteitsbouw naar bouwjaar

Bouwjaar	Rc vloer	Rc gevel	Rc dak	Ramen
voor 1975	0,17	0,43	0,86	enkel
1975 - 1991	1,3	1,3	1,3	dubbel
1992 -2011	2,5	2,5	2,5	dubbel
2012 -2014	3,5	3,5	3,5	HR++
Vanaf 2015	3,5	4,5	6	HR++

Alleen voor de panden gebouwd voor 1992 berekenen we besparing door na-isolatie. We gebruiken daarbij procentuele besparingskengetallen van DGMR<sup>11</sup> voor de besparing van na-isolatie naar Rc=3,5 voor dak en gevel en toepassing van HR++ glas. Na-isolatie van vloeren laten we buiten beschouwing omdat blijkt dat dit weinig oplevert en niet kosteneffectief is. Met na-isolatie van dak, gevel en ramen kan in gebouwen gebouwd voor 1975 ca. 50% worden bespaard op de warmte c.q. gasvraag en in gebouwen na 1975 ca. 30%.

### Toepassing warmtepompen en extra WKO

Het idee achter deze variant van het projectalternatief extra besparing en WKO is de wens van de opdrachtgevers om ook “all electric” als alternatief voor een gasgestookte warmtevoorziening te onderzoeken. Omdat het hier gaat om collectief verwarmde flats en utiliteitsgebouwen gaan we bij de toepassing van warmtepompen echter uit van bivalente systemen. Dat wil zeggen dat naast de elektrische warmtepomp de gasgestookte ketel blijft staan als back up op het moment dat de warmtepomp niet aan de vraag kan voldoen. Dat is in de praktijk gebruikelijk. Een warmtepomp vraagt een hoge investering en wordt daarom zo klein mogelijk gedimensioneerd, maar wel zo dat de warmtepomp een groot deel van de warmtevraag kan leveren. We hebben in de berekeningen onderscheid gemaakt tussen de gebouwen van de RU en het UMC. Bij de bestaande gebouwen van de RU levert de warmtepomp 60% van de warmtevraag. Dat is zo laag omdat het bestaande gebouwen betreft en dat ook na isolatie niet het hele gebouwen op lage temperatuurverwarming kan draaien. Om die 60% van de warmtevraag te dekken zal ongeveer 20% van het vermogen genoeg zijn. Bij de nieuwe gebouwen van het UMC levert de warmtepomp 99% van de warmtevraag. Dat komt omdat de WP's zijn uitgelegd om in de zomer in de koelbehoefte te voorzien. Warmtepompen kunnen zowel voor ruimteverwarming als koeling worden gebruikt. Op de Radboud campus worden warmtepompen gecombineerd met opslag in de bodem en dat noemen we warmte/koude opslag, afgekort WKO. Dat gebeurt in de praktijk alleen bij gebouwen met een grote koelvraag, zoals in de zorg of nieuwe kantoren. Omdat we

<sup>10</sup> <https://www.ecn.nl/publicaties/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--15-068>

<sup>11</sup> DGMR, 2012: Eindrapportage besparingskengetallen kosten baten tool, in opdracht van RVO,

geen inzicht hebben in de koudevraag van gebouwen langs het tracé, nemen we aan dat daar geen WKO kan worden toegepast maar alleen warmtepompen voor ruimteverwarming.

Warmtepompen kunnen buitenlucht als bron gebruiken of bodemwarmte. Warmtepompen die lucht als bron gebruiken zijn makkelijker toepasbaar in de bestaande bouw, als er niet voldoende oppervlakte is voor bodemwarmtewisselaars. Warmtepompen die bodemwarmte gebruiken hebben een hoger rendement, een COP<sup>12</sup> van 4,0 i.p.v. 2,6 maar zijn wel duurder. Daarom kiezen we hier toch voor bodemgekoppelde systemen. Als het warmtepompen betreft die alleen voor ruimteverwarming worden gebruikt, dan gaan we uit van gesloten systemen met bodem-warmtewisselaars. Op de Radboud campus waar warmtepompen worden toegepast in combinatie met koeling gaan we uit van open bronsystemen, WKO.

<sup>12</sup> Bij warmtepompen is de Coefficient of Performance, de verhouding tussen de warmtevraag die een warmtepomp kan leveren en de hoeveelheid elektriciteit die daarvoor nodig is.



# 3

---

## Effecten

In dit hoofdstuk benoemen we alle effecten die we meenemen in de MKBA in paragraaf 3.1. In deze paragraaf wordt ook besproken welke effecten niet meegenomen worden in de MKBA en de motieven daarvoor. In paragraaf 3.2 bespreken we de uitgangspunten voor de kwantificering van de effecten.

### 3.1 Welke effecten nemen we mee in de kosten-batenanalyse?

Het aanleggen van een warmtenet in bestaande bouw of een keuze voor andere vormen van verduurzaming van de warmtevoorziening van gebouwen kan diverse effecten hebben. We onderscheiden in de MKBA de volgende effecten:

- Eenmalige Investeringskosten
- Herinvesteringen in apparatuur die voor het eind van de zichtperiode vervangen moet worden. Hierbij is de herinvesteringstermijn van belang en de frequentie waarmee geherinvesteerd moet worden
- Vermeden investeringen in verwarmingsketels
- Exploitatiekosten (Operation en maintenance, O&M)
- Uitgespaarde kosten aardgas
- Kosten gasverbruik hulpwarmteketels en elektriciteitsverbruik van pompen in het warmtenet
- Kosten extra elektriciteitsverbruik voor WKO en warmtepompen
- Gederfde of extra energiebelastingopbrengst door de overheid. Hierbij is inbegrepen de ODE heffing
- Klimaatbaten (CO<sub>2</sub>-reductie)
- Reductie overige emissies (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof).

Voor alternatief 3 met extra besparen en WKO zijn dezelfde effecten relevant, maar dan hebben de investeringen, exploitatiekosten en baten betrekking op de besparingsmaatregelen en extra WKO. Voor het nulalternatief worden geen kosten en

baten in kaart gebracht, omdat de kosten en baten van alternatief 2 en 3 ten opzichte van dit nulalternatief worden beschouwd. De kosten in het nulalternatief kunnen baten zijn in alternatief 2 en 3, zoals vermeden investeringen in verwarmingsketels, deze baten worden als negatieve kosten in de alternatieven 2 en 3 opgenomen. Schematisch ziet de kosten-batenanalyse er dan uit zoals weergegeven in tabel 7. Door de kosten en baten onder elkaar te zetten, kan het saldo worden bepaald.

**Tabel 7:** Welke effecten nemen we mee in de kosten-batenanalyse?

Alternatief 2 Warmtenet trace2	Alternatief 3 Extra besparen, WKO's en warmtepompen
<b>Kosten</b>	<b>Kosten</b>
Vermeden investeringen en exploitatiekosten in verwarmingsketels	
Investeringskosten warmtenet	Investeringskosten extra besparingsmaatregelen gebouwen langs tracé 2
	Investeringskosten extra WKO Radboud en warmtepompen
Exploitatiekosten warmtenet	Exploitatiekosten WKO, warmtepompen en besparingsmaatregelen
Kosten elektriciteitsderving ARN	
Kosten gasverbruik hulpwarmtekets	
Kosten elektriciteitsverbruik pompen warmtenet	Kosten elektriciteitsverbruik extra WKO en warmtepompen
Gederfde energiebelasting aardgas	Gederfde energiebelasting aardgas
	Extra energiebelasting elektriciteit
<b>Baten</b>	<b>Baten</b>
Uitgespaarde kosten aardgas	Uitgespaarde kosten aardgas
Emissiereductie CO <sub>2</sub>	Emissiereductie CO <sub>2</sub>
Emissiereductie NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> en fijn stof	Emissiereductie NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> en fijn stof
<b>Saldo Kosten en baten</b>	<b>Saldo Kosten en baten</b>

Besparing van gas leidt tot lagere kosten voor huishoudens en bedrijven. Ze sparen de gasprijs inclusief BTW en energiebelasting uit. Nationaal gezien is de besparing echter kleiner omdat de overheid de energiebelasting misloopt.<sup>13</sup> Daarom is hier zowel een post bespaarde gaskosten meegenomen, als een post misgelopen energiebelasting voor de overheid. Het verschil zijn de kosten van aardgas exclusief energiebelasting. Deze kosten worden maatschappelijk gezien daadwerkelijk bespaard en dit is dus een welvaartswinst. Er wordt dus met een prijs inclusief alle belastingen gerekend (zoals de MKBA handleiding suggereert, zie CPB en PBL, 2013, p. 139<sup>14</sup>), waarbij dat deel van de prijs dat een overdracht is en geen kost of baat apart wordt benoemd. Door zowel bespaarde gaskosten als misgelopen energiebelasting op te nemen kan de MKBA verdelingseffecten zichtbaar maken.

<sup>13</sup> De overheid loopt niet de BTW opbrengsten mis omdat huishoudens en bedrijven het bespaarde bedrag alsnog, aan andere goederen en diensten gaan uitgeven. Hier betalen ze BTW over, en de overheid ontvangt de BTW alsnog.

<sup>14</sup> Romijn, Gerbert, en Gusta Renes (2013) Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse. CPB/PBL.

Conform de MKBA handleiding is ook op alle overige posten waar relevant BTW meegenomen, zodat alle bedragen consequent inclusief BTW zijn in de resultaten in hoofdstuk 4. In dit hoofdstuk staan de bedragen exclusief BTW omdat ze zo vaak gebruikt worden in de literatuur en het zakelijk gebruik. Alleen bij milieubaten door reductie van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof emissies, nemen we bovenop de emissieprijs niet nog eens BTW mee, omdat het geen marktprijzen maar schaduwrijzen zijn<sup>15</sup>. Doordat de milieubaten ten opzichte van andere effecten relatief klein zijn maakt dit voor het eindresultaat weinig verschil. Als we wel BTW hadden meegenomen in de milieubaten, dan zou dat wel uitmaken voor de hoogte van het saldo van de MKBA, maar nooit voor het teken en de onderlinge verhouding tussen de alternatieven.

Een aantal effecten nemen we niet mee in de MKBA (zie tekstkader "Niet in de MKBA meegenomen effecten"). Deels viel het kwantificeren en waarderen ervan buiten deze studie, deels ontbreken daar gegevens voor en deels zijn ze niet relevant. We lichten dit hieronder toe.

#### **Box 1: Niet in de MKBA meegenomen effecten**

##### **Vermeden investeringskosten in gasnetten**

Vooralsnog worden weinig besparingen in vervanging en onderhoud van het gasnet verwacht, omdat nergens in het gebied van tracé 2 de gasnetten volledig overbodig worden. We gaan er ook van uit dat flats die op het warmtenet worden aangesloten een gasaansluiting houden om te koken. Alleen in projectalternatief 3ac die uitgaat van all-electric voor de gebouwen langs het tracé kunnen er wel besparingen in het gasnet zijn. Deze zijn vooralsnog niet gekwantificeerd, maar daar tegenover staan kosten voor netverzwaring van elektriciteit.

##### **Investeringskosten in elektriciteitsnetten**

Toepassing van warmtepompen in gebouwen langs trace 2 zal leiden tot extra piekbelasting in het elektriciteitsnet. Verzwaring van het elektriciteitsnet zal dan ook noodzakelijk zijn, maar is in deze MKBA niet meegenomen. De noodzakelijke netverzwaring hangt af van het huidige vermogen van het net, de piekbelasting van warmtepompen, de mogelijkheid om deze te verlagen door besparing op de warmtevraag en gelijktijdigheid van de vraag. Het valt buiten de opdracht om dat te kwantificeren, maar we nemen dit wel mee in de conclusies.

##### **Financieringskosten**

Eventuele financieringskosten worden zoals gebruikelijk in MKBA's niet in kaart gebracht. Financieringskosten zijn vaak een overdracht van de ene actor naar een andere actor, en beïnvloeden dan niet het saldo. Ook maakt de verdeling van kosten en baten per actor veel uit voor de financieringskosten.

<sup>15</sup> Schaduwprijzen zijn geconstrueerde prijzen voor goederen of productie-actoren die niet op markten worden verhandeld. Milieukwaliteit is een voorbeeld hiervan. Om toch de kwaliteit van het milieu op te nemen in economische analyses wordt gebruik gemaakt van zogeheten schaduwrijzen. Schaduwprijzen geven dan de maatschappelijke waarde weer die aan milieukwaliteit wordt gegeven. Milieukwaliteit krijgt hiermee een prijskaartje in Euro's.

### **SDE+ subsidie**

Op regionaal niveau is de SDE subsidie op warmtelevering door de AVI een batenpost in de alternatieven waarin een warmtenet wordt aangelegd. Maar nationaal gezien is de subsidie alleen maar een overdracht (het rondpompen van geld). Voor een (private) investeerder kan een subsidie uiteraard wel het verschil maken tussen een aantrekkelijke en een onaantrekkelijke investering.

### **Werkgelegenheidsbaten**

De aanleg van het warmtenet creëert werkgelegenheid, wat echter zeer waarschijnlijk alleen een verschuiving van werkgelegenheid is. De extra werkgelegenheid bij de aanleg van het warmtenet gaat ten koste van werkgelegenheid elders en per saldo is het effect op de werkgelegenheid waarschijnlijk nul. Wil een maatregel werkgelegenheidsbaten hebben dan moet er sprake zijn van een maatregel gericht op het functioneren van de arbeidsmarkt, het verhogen van de arbeidsproductiviteit of het vergroten van het arbeidsaanbod, of van onvrijwillige werkloosheid (Romijn en Renes, 2013, p. 67). Daar lijkt hier geen sprake van te zijn. Daarom wordt in de MKBA geen werkgelegenheidseffect meegenomen<sup>16</sup>.

### **Overlast van de aanleg**

Het aanleggen van een warmtenet zal op veel plaatsen betekenen dat wegen opgebroken en afgesloten moeten worden. Hierdoor zal lokaal verkeer om moeten rijden en vertraging oplopen. De kwantificering van deze overlast is nu te onzeker om te waarderen. Zo is niet duidelijk of de busbaan (naast het fietspad waar de transportleiding onder moet komen) buiten gebruik gesteld moet worden of niet. Ook zijn aantallen buspassagiers en aantallen fietsgebruikers per dag over busbaan respectievelijk fietspad lastig te achterhalen.

Ter illustratie dat het in potentie om een grote post gaat: Stel dat de busbaan wel afgesloten moet worden, dan heeft dit substantiële overlast tot gevolg. De extra reistijd voor de buspassagiers kan dan gekwantificeerd en gewaardeerd worden. Stel dat er 12.000 passagiers per dag gebruik maken van de busbaan, dat omrijden gemiddeld een kwartier vertraging oplevert, dat er vijf dagen per week vertraging is gedurende een aanlegperiode van 8 weken. Dan gaat er 120.000 uur tijd van buspassagiers verloren met extra omrijden. Bij een reistijdwaardering van €7,41 per uur<sup>17</sup>, dan ontstaat een maatschappelijk kostenpost van €889.380. Bij hogere of lagere aantallen buspassagiers stijgt respectievelijk daalt de waarde uiteraard. Dit is dan een onderschatting omdat

<sup>16</sup> In lijn met deze redenering schat CPB (CPB (2013) KBA Structuurvisie 6000 MW Windenergie op land. CPB Notitie. 14 juni 20132013) de werkgelegenheidsbaten van 6000MW wind op land in als nihil, vanwege de eerder genoemde verdringing op de arbeidsmarkt en omdat het project geen effect heeft het arbeidsaanbod en de institutionele factoren die op langere termijn de werkgelegenheid bepalen. SEO, 2014 (windmolen en welvaart. SEO-rapport nr. 2014-57) neemt wel werkgelegenheidsbaten mee in een analyse van het investeren in windenergie op zee. Dit zijn de extra banen in de windenergiesector voordat aanpassingen op de arbeidsmarkt elders tot een verlies aan banen leidt. Deze banengroei lijkt aan de hoge kant omdat er ook verlies aan banen is in de traditionele elektriciteitssector waar nu minder geïnvesteerd wordt en omdat de windenergie op zee deels gefinancierd wordt met overheidssubsidie die andere overheidsuitgaven verdringt. Deze laatste twee ontbreken in de analyse..

<sup>17</sup> Gebaseerd op KIM, 2013, De maatschappelijke waarde van kortere en betrouwbaardere reistijden

ook het autoverkeer op de alternatieve routes van de bus geconfronteerd worden met drukker en daardoor trager verkeer. Ook is voor deze illustratieve berekening alleen naar overlast door aanleg van de transportleiding gekeken terwijl ook de aansluiting van panden die niet aan de transportleiding liggen tot extra wegafsluitingen kan leiden.

### **Optiewaarde**

Aanleg van Tracé 2 maakt aansluiting van tracé 3 en verder mogelijk (denk daarbij aan het CWZ, Sanadome en de wooncomplexen in Nijmegen Zuid en West (Dukenburg)). Dat is de "optiewaarde" van trace 2: de waardering van aanwezigheid van trace 2 voor verdere uitbreiding van het warmtenet. Ook maakt aanleg van tracé 2 met de gebouwen die nu worden aangesloten het mogelijk in de toekomst andere gebouwen in het gebied van Tracé 2 aan te sluiten waar dat nu nog niet van wordt overwogen. Het warmtenet in Nijmegen zal zich in fases ontwikkelen en de MKBA zou tot andere resultaten kunnen leiden als alle tracés van het mogelijke warmtenet, de hele cirkel in Nijmegen, in beschouwing worden genomen. Daar dit veel inventarisatie van mogelijk aangeslotenen zou vergen, is afgesproken, de mogelijke volgende tracés buiten beschouwing te laten. Bij voldoende gedetailleerde investeringsgegevens kan eventueel de kosten van deze optie worden uitgerekend, maar de kosten hoeven uiteraard niet gelijk te zijn aan de baten/waarde van de optie.

### **Voorzieningszekerheid**

Energiebesparing en warmtelevering door afvalverbranding in plaats van gasverbranding zorgt voor brandstofdiversificatie en gasbesparing die gunstig is voor de voorzieningszekerheid omdat de afhankelijkheid van gas daalt. Een eerste stap in het waarderen van deze baat voor de voorzieningszekerheid is het kwantificeren hoeveel minder gas in de alternatieven wordt gebruikt, daarbij rekening houdend met gasvraag voor hulpwarmteketels en de derving van de elektriciteitsproductie door de AVI. De vraag hoe dit effect op de voorzieningszekerheid te waarderen is een lastige. Hoewel CPB en SEO dat wel doen<sup>18</sup>, kwantificeren we in hoofdstuk 4 alleen de vermindering van de gasvraag (zie paragraaf 4.2 tekst onder tabel 29).

### **Welvaartseffect koude levering**

In sommige andere MKBA's wordt het welvaartseffect van koude levering meegenomen bij de baten in de MKBA. Dat is alleen relevant als er in het nulalternatief geen koude levering is en in een van de projectalternatieven wel. In deze MKBA wordt er alleen koude geleverd aan gebouwen op de Radboudcampus die zowel in het nulalternatief als in de projectalternatieven

<sup>18</sup> CPB (2013, p. 11) neemt deze mogelijkheid mee als een verlaging van de discontovoet, die bestaat uit een risicovrij deel en een risico-opslagen waarbij een baat van meer voorzieningszekerheid het risico verkleint en dus een lagere opslag rechtvaardigt. In de gevoeligheidsanalyse heeft het CPB een 0,8 procentpunt lagere discontovoet gehanteerd voor de baten uit elektriciteitsverkoop uit windenergie na 2020. CPB geeft aan dat deze manier van waarderen nog wetenschappelijk gezien nog te onzeker is, en heeft deze daarom alleen in de gevoeligheidsanalyse meegenomen. SEO (2014, p.13) waardeert voorzieningszekerheid in de hoofdberekening wel. Namelijk door een 0,4-procentpunt lagere discontovoet op de exploitatiebaten van windenergie. In de gevoeligheidsanalyse worden zowel een hogere (0,8 procent, net als CPB 2013), en een lagere baat (geen risicoafslag) meegenomen.

koudelevering hebben. De post welvaartseffect koude levering wordt dus niet relevant verondersteld. Door over te stappen van een conventionele compressie koelmachine naar WKO wordt wel bespaard op het energiegebruik voor koeling.

**Overige effecten**

Verder lijken er geen overige natuur en milieueffecten te zijn die meegenomen zouden moeten worden. Ook speelt veiligheid hier geen rol want we gaan uit van koken op gas (met bijbehorende risico's op brandgevaar en explosies). Ook als dit wel meegenomen zou worden is dit door de kleine kans vermoedelijk een kleine post.

## 3.2 Kwantificering effecten

In deze paragraaf bespreken we de uitgangspunten voor de kwantificering van de effecten. Als leeswijzer geven we in tabel 8 aan in welke paragraaf welk `effect` in de kosten-baten analyse wordt besproken.

**Tabel 8:** Welke effecten nemen we mee in de kosten-batenanalyse?

<b>Alternatief 2 Warmtenet trace2</b>	<b>Alternatief 3 Extra besparen, WKO's en warmtepompen</b>
<b>Kosten</b>	<b>Kosten</b>
Vermeden investeringen en exploitatiekosten in verwarmingsketels Paragraaf 3.2.3	
Investeringskosten warmtenet Paragraaf 3.2.1	Investeringskosten extra besparingsmaatregelen gebouwen langs tracé 2 Paragraaf 3.2.2.
	Investeringskosten extra WKO Radboud en warmtepompen Paragraaf 3.2.2.
Exploitatiekosten warmtenet Paragraaf 3.2.4	Exploitatiekosten WKO, warmtepompen en besparingsmaatregelen Paragraaf 3.2.4.
Kosten elektriciteitsderving ARN Paragraaf 3.2.7	
Kosten gasverbruik hulpwarmtekets Paragraaf 3,2.6	
Kosten elektriciteitsverbruik pompen warmtenet Paragraaf 3.2.8	Kosten elektriciteitsverbruik extra WKO en warmtepompen Paragraaf 3.2.8
Gederfde energiebelasting aardgas Paragraaf 3.2.5	Gederfde energiebelasting aardgas Paragraaf 3.2.5
	Extra energiebelasting elektriciteit Paragraaf 3.2.7
<b>Baten</b>	<b>Baten</b>
Uitgespaarde kosten aardgas Paragraaf 3.2.5	Uitgespaarde kosten aardgas Paragraaf 3.2.5
Emissiereductie CO <sub>2</sub> Paragraaf 3.2.9	Emissiereductie CO <sub>2</sub> Paragraaf 3.2.9
Emissiereductie NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> en fijn stof Paragraaf 3.2.10	Emissiereductie NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> en fijn stof Paragraaf 3.2.10
<b>Saldo Kosten en baten</b>	<b>Saldo Kosten en baten</b>

## 3.2.1 Investeringskosten warmtenet

### Investeringskosten warmtenet

Op 1 april 2016 hebben we een kostenraming ontvangen van NUON en Liandon voor het warmtenet tracé 2 in Nijmegen. Die kostenraming gaat uit van het realiseren van een warmteleiding van het stationsgebied (west kant van het station, aankoppeling op de bestaande warmteleiding in de Heselaan) tot aan de Radboud campus voor de verschillende varianten zoals in deze MKBA beschreven (zie paragraaf 2.2). De investeringskosten verschillen tussen de verschillende projectalternatieven vanwege de lengte van het tracé (zie tabel 9). Dit betreft zowel de kosten van het distributienet als de kosten van de afleversets in de gebouwen zelf.

Tabel 9: Investeringskosten warmtenet

Project alternatief	Beschrijving trace	Investering warmtenet [mln euro]
PA2a	Heselaan tot boven het NS station Heijendaal	15,1
PA2b	Heselaan tot en met ketelhuis UMC	17,2
PA2c	Heselaan tot en met Houtlaan en SSHN	21,8

ECN kan de kostenraming niet controleren of beoordelen en neemt aan dat NUON/Liandon met de kostenraming een zo realistisch mogelijk beeld van de kosten hebben gegeven. NUON/Liandon geven aan dat de investeringskosten een onzekerheid hebben van +/- 30%.

De investeringskosten van het warmtenet van tracé 2 zijn relatief laag in vergelijking met kosten die in andere studies worden genoemd<sup>19</sup>. Dat komt doordat het net niet fijn vertakt is, alleen de grote warmtevragers worden gekoppeld en geen losse grondgebonden woningen. Tracé 2 is dus niet representatief voor de bestaande bouw in Nederland.

### Investeringskosten hulpwarmteketels

Daarnaast zijn er investeringen nodig in hulpwarmteketels. NUON/Liandon ramen deze voor projectalternatief 2a op 6 miljoen euro en voor de andere alternatieven op slechts 2 miljoen euro omdat zij aannemen dat het ketelhuis van het RadboudUMC als hulpwarmteketel kan fungeren. RadboudUMC heeft aangegeven dat ze bij aansluiting op het warmtenet haar eigen ketels in het ketelhuis zal inzetten als hulpwarmteketel, maar alleen voor haar eigen warmtevraag.

Vanwege de stringente eisen die aan de energievoorziening van een ziekenhuis worden gesteld, wil RadboudUMC over voldoende back up in eigen beheer beschikken. RadboudUMC heeft momenteel 3 ketels, na de realisatie van de nieuwbouw en sloop van oude gebouwen (2023-2025) zullen twee ketels voldoende zijn voor de benodigde redundantie en is er in principe één ketel van 15 MW inzetbaar als hulpwarmteketel voor een ander deel van het warmtenet. We laten die hier buiten beschouwing, vanwege het tijdstip van beschikbaarheid en omdat onduidelijk is of dit tot minder

<sup>19</sup> Zie bijvoorbeeld Ecofys en ECN, 2015, Systeemkosten van warmte voor woningen, <https://www.ecn.nl/publicaties/PdfFetch.aspx?nr=ECN-O--15-050>



kosten in de totale hulpwarmte voorziening zal leiden mede daar die ketel dan 15 jaar oud is en er in principe geïnvesteerd moet worden in een nieuwe ketel.

Voor de projectalternatieven 2b en 2c gaan we er van uit dat kosten voor de hulpwarmtekets gelijk oplopen met de hoeveelheid warmtevraag die op het warmtenet wordt aangesloten zonder de warmtevraag achter het ketelhuis van het UMC. Dat betekent voor projectalternatief 2b een investering in hulpwarmtekets van 6,6 miljoen euro en in projectalternatief 2c een investering van 7,9 miljoen euro. We gaan er vanuit dat een hulpwarmteketel een levensduur heeft van 15 jaar en dat dus iedere 15 jaar geherinvesteerd moet worden. Daarbij gaan we ervanuit dat de herinvestering 25% lager is dan de initiële investering omdat bespaard wordt op grondaankoop en gebouwkosten.

### Investerings afleversets

De kosten voor het leidingnet zullen in één keer in 2017 plaatsvinden. De kosten voor installatie, kosten voor afleversets, groeien in met de snelheid waarmee gebouwen worden aangesloten.

De kosten voor deze afleverset hebben we berekend op basis van een eerdere kostenraming voor tracé 2 van NUON/Liandon van 27 november 2015. Daaruit bleek dat de aansluiting in de gebouwen zelf (NUON/Liandon noemen dit het secundair leidingnet) 4% is van de totale investeringskosten in het warmtedistributienet. Als we uitgaan van dit percentage en delen door het aangesloten vermogen dan komen we uit op ongeveer 10 euro per kW<sup>20</sup>.

De gebouwen langs het tracé worden in alle drie de warmtealternatieven aangesloten op het warmtenet<sup>21</sup>. Het aansluiten van gebouwen op het warmtenet gebeurt in 2 fases, in de eerste fase in de jaren 2018 en 2019 en de tweede fase van 2020 tot en met 2030. We nemen aan dat de aansluitingen lineair verlopen, dus dat elk jaar evenveel kW wordt aangesloten. Voor die gebouwen die worden aangesloten op het warmtenet worden geen ketelvervangingen meer verondersteld.

Tabel 10: Aangesloten vermogen warmtenet alleen gebouwen langs het tracé

Aansluitingen	PA2a [1000 kW]	PA2b [1000 kW]	PA2c [1000 kW]
Fase1 2018 en 2019	33	35	38
Fase 2 2020 -2030	25	33	33
Totaal in 2030	58	67,5	71

In de projectalternatieven 2b en 2c wordt het ketelhuis van het UMC aangesloten op het warmtenet van tracé 2. Dit gebeurt in 2019 en daarom zullen investeringen voor afleverset en aansluiting in dat jaar worden meegenomen.

<sup>20</sup> 4% van 21,9 miljoen is 958 duizend euro, gedeeld door 92 duizend kWth warmtevraag is ruim 10 euro per kWth.

<sup>21</sup> Een uitzondering het SSHN Sterrenbosch, dit gebouw wordt alleen in projectalternatief 2c aangesloten op het warmtenet. In de projectalternatieven 2a en 2b zal dus herinvestering in een gasketel plaatsvinden, we gaan ervanuit dat de ketel vervangen wordt in 2020 en in interval van 15 jaren daarna.

### **Herinvestering warmtebron**

Onzeker is hoe lang de afvalverbrandingsinstallatie ARN in bedrijf zal zijn en warmte kan leveren. Het risico is dat door afvalbeleid en overcapaciteit de ARN niet tot 2065 in bedrijf is. Het is onwenselijk dat de hulpwarmteketels op gas de warmtelevering overnemen. Er moet dus nu al nagedacht worden over de investering in een nieuwe, liefst duurzame warmtebron, zoals geothermie of biomassaketel over 20 of 30 jaar. We nemen deze herinvestering niet mee in de kosten-batenanalyse omdat onzeker is of, wanneer en in welke vorm deze herinvestering nodig is. Merk op dat er naast investeringskosten ook extra exploitatiekosten kunnen optreden, en dat er in de MKBA een voordeel is omdat er dan geen elektriciteitsderving bij de ARN meer is. Dat maakt deze mogelijke toekomstige onzekerheid te lastig kwantificeerbaar voor deze studie. We nemen het risico wel mee in de conclusies.

### **Box 2: Investeringskosten in geothermie of biomassa**

De investeringskosten in warmte uit geothermie met een vermogen van meer dan 500 meter diepte bedragen 1518 euro per kWth. De investeringskosten in warmte uit een biomassaketel groter dan 5 MWth bedragen 460 euro per kWth<sup>22</sup>. Het totaal gevraagde vermogen uit het warmtenet in projectalternatief 2c is bijna 100 MWth, 13 MWth voor het UMC, 14,7 MWth en voor de gebouwen van de RU en 71 MWth voor de gebouwen langs het tracé. Stel dat een derde van dat vermogen nodig is om 85% van de warmtevraag te voorzien, dan gaat het om 33 MWth aan thermisch vermogen uit geothermie of biomassa. De huidige investeringskosten daarvoor zouden ca. 50 miljoen euro voor geothermie en 15 miljoen euro voor een biomassaketel bedragen.

## **3.2.2 Investeringskosten extra energiebesparing, WKO en warmtepompen**

### **Investeringskosten extra energiebesparing**

Alle panden van het Radboud UMC waar na-isolatie mogelijk is, zijn of worden van na-isolatie voorzien in de periode tot 2022 en zijn mede de oorzaak van de verwachte daling van de warmtevraag. Voor de panden van de Radboud universiteit gaan we uit van de besparingen en kosten zoals genoemd in de EPA adviezen die recentelijk zijn uitgevoerd.

Voor de panden langs het tracé maken we onderscheid tussen woningen en utiliteitsgebouwen. Van de woningbouwcomplexen weten we het huidige energielabel. De besparing en benodigde investering is afhankelijk van het huidige label en bepalen we op basis van kengetallen. De kengetallen zijn berekend door ingenieursbureau DGMR in het kader van het WoON onderzoek. We nemen de kengetallen die gemiddeld gelden voor gestapelde bouw.

<sup>22</sup> <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/03/ECN%20eindadvies%20SDE%202016.pdf>

**Tabel 11:** Gemiddelde besparings- en kosten na-isolatie bestaande woningen gestapelde bouw exclusief BTW (bron DGMR)

	B	C	D	E	F	G
besparing op gasvraag	7%	18%	34%	47%	57%	67%
investering in euro/woning	1639	3704	5090	7000	8060	12014

Voor de utiliteitsgebouwen langs het tracé maken we een schatting van het dak- en geveleppervlak van een gebouw op basis van het vloeroppervlak en het aantal verdiepingen. Voor de kosten van na-isolatie vermenigvuldigen we dat oppervlak met kostenkengetallen voor na-isolatie, zoals deze ook in EPA's worden gebruikt<sup>23</sup>. We rekenen met 160 euro per m<sup>2</sup> gevel voor buitengevelisolatie en plaatsen van HR++ glas en 73 euro per m<sup>2</sup> dak voor dakisolatie. Getallen zijn exclusief BTW. Dakisolatie kan goedkoper op moment van vervanging van de dakbedekking (25 euro/m<sup>2</sup>), maar aangezien dat maar eens in de 25 jaar gebeurt gaan we daar niet vanuit.

#### **Investeringen extra WKO Radboudcampus**

Voor de investeringskosten van warmtepompen hebben we gebruik gemaakt van informatie van de Radboud Universiteit. Hun ervaring is dat de warmtepompen incl. ombouw van de gebouwinstallatie naar lage-temperatuur verwarming en hoge temperatuur koeling en koppeling op de WKO incl. warmtewisselaar) 800 euro per kWth kosten. Daarvan neemt de warmtepompzelf 250 euro/kW voor zijn rekening. Voor de kosten van WKO-bronnen en leidingen komt daar nog 300 euro/kWth bij. Dat getal is gebaseerd op een kostenraming van IF Technology voor het bodemenergieplan Heyendaal van februari 2015.

Voor de gebouwen op de Radboud campus gaan we ervanuit dat investeringen in WKO zullen plaatsvinden in het jaar 2022 en dat ieder 15 jaar later een herinvestering plaats vindt in alleen de warmtepomp zelf en een ketel als back up voor de RU gebouwen. Alle gebouwen die niet op WKO worden aangesloten houden hetzelfde herinvesteringstempo voor gasketels als in het nulalternatief.

#### **Investeringen warmtepompen in gebouwen langs het tracé**

Voor de gebouwen langs het tracé gaan we uit van bodemgekoppelde warmtepompen met bodemwarmtewisselaars. Onzeker is wat daarvan de investeringen zijn, want naast de kosten van de warmtepomp zelf komen daar dus de kosten van bodemwarmtewisselaars en eventueel aanpassingen naar lage temperatuur verwarming in gebouwen bij. We veronderstellen dat bodemwarmtewisselaars goedkoper zijn dan WKO en rekenen daarom met 850 euro/kWth.

In projectalternatief PA3b en PA3c krijgen alle gebouwen langs het tracé een warmtepomp. Dit gebeurt op het moment dat de ketel anders vervangen had moeten worden. In projectalternatief PA3b wordt naast de warmtepomp een ketel als back up neergezet. Herinvesteringen in warmtepompen en ketels gebeuren iedere 15 jaar. Voor de warmtepomp gaat het alleen om een herinvestering in de warmtepomp zelf omdat de bodemwarmtewisselaars een langere levensduur hebben.

<sup>23</sup> <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/utiliteitsbouw/beheer-en-onderhoud/gebouwegebonden-energie/investeringskosten>

### 3.2.3 Vermeden investeringen en exploitatiekosten in verwarmingsketels

Als er een warmtenet is, zijn er geen verwarmingsketels nodig, tenzij deze als back up worden gebruikt. Zo heeft Radboud UMC aangegeven zeker niet zonder eigen ketel te willen om zo de warmtevoorziening in het ziekenhuis te garanderen.

In de kosten-batenanalyse worden geen herinvesteringen in het ketelhuis van het UMC meegenomen omdat deze ook in het nulalternatief plaats vinden.

De gebouwen van de Radboud Universiteit met een eigen ketel worden alleen in projectalternatief 2c aangesloten op het warmtenet. Dit gebeurt in 2019 en er zullen daarom geen vervangingen in ketels meer plaatsvinden. Voor de projectalternatieven 2a en 2b blijven herinvesteringen in ketels gelijk aan het nulalternatief.

Voor de verwarmingsketels van de woningbouwcorporaties en utiliteitsgebouwen langs het tracé en van de Radboud Universiteit die nu een individuele ketel hebben, is wel sprake van vermeden investeringen in ketels bij aanleg van een warmtenet of een keuze voor warmtepomp of WKO. De vermeden investering in een ketel bedraagt 100 euro/kWth.

In het nulalternatief zijn er alleen herinvesteringen in HR ketels. We gaan er vanuit dat de investeringskosten van een ketel 100 €/kW zijn en de levensduur 15 jaar is. De centrale ketel van het UMC in het ketelhuis van het warmtenet blijft in alle alternatieven als back-up bestaan en dus zijn (her)investeringen in deze ketel in alle alternatieven gelijk. Daarom kunnen we deze in de MKBA buiten beschouwing laten.

Voor de gebouwen van de RU met een eigen ketel is het jaar van installatie van de ketels bekend, daarmee ook herinvesteringmomenten uitgaande van levensduur van 15 jaar.

Voor de overige gebouwen langs het tracé weten we niet wanneer de collectieve ketels vervangen worden, daarom gaan we er voor het aantal herinvesteringen per jaar vanuit dat de vervangingen gelijkmatig over de jaren verdeeld zijn. Met een levensduur van 15 jaar wordt dus elk jaar 1/15 van het aantal bestaande ketels vervangen.

### 3.2.4 Exploitatiekosten

Voor de jaarlijkse onderhouds- en beheerkosten van ketels, warmtepompen en WKO hanteren we 3% van de investeringen. Voor de jaarlijkse onderhoud en beheerskosten van de leidingen in het warmtenet hanteren we 1% van de investering per jaar, maar voor de hulpwarmtekets en afleversets 3% van de investering. Deze percentages zijn gebaseerd op de uitgangspunten in het VESTA model van PBL<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2012-ce-delft-functioneel-ontwerp-vesta.pdf> zie blz 61 en validatievoorbeelden MAIS.

### 3.2.5 Uitgespaarde kosten aardgas

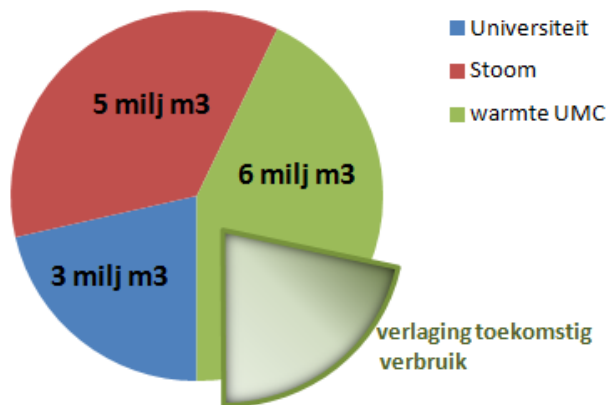
Om de uitgespaarde kosten van aardgas mee te nemen in projectalternatief 2 en 3, moeten we weten wat de ontwikkeling in gas- en/of warmtevraag in het nulalternatief is. In alternatief 2 zal deze warmte namelijk door het warmtenet geleverd worden. En in alternatief 3 zal minder gas verbruikt worden als gevolg van extra besparingsmaatregelen.

#### Warmtevraag Radboud campus

In 2013 heeft Haskoning DHV berekend wat de warmtevraag van de gebouwen aangesloten op het warmtenet vanuit het ketelhuis van het UMC zal zijn. De berekende huidige warmtevraag was circa 50.000 MWh<sup>25</sup>. In 2014 heeft Royal Haskoning DHV een update uitgevoerd op basis van de gewijzigde bouwplannen en verdergaande traditionele besparingsmaatregelen, zoals extra isolatie. Als einddatum is nu 2022 gekozen omdat de sloop van de oudbouw dan afgerond zal zijn. De warmtevraag (gemeten uit het ketelhuis inclusief verliezen in het warmtenet) zal dan 21.000 MWh zijn.

De gasvraag van het ketelhuis (dus voor de warmtevraag van de gebouwen aangesloten op het warmtenet) is overigens slechts een deel van het totale gasverbruik. Van de 14 miljoen m<sup>3</sup> gasverbruik in 2012 was slechts 6 miljoen m<sup>3</sup> voor de gebouwen aangesloten op het warmtenet (zie figuur 1). Er wordt ook veel gas gebruikt voor stoomproductie (5 miljoen m<sup>3</sup>) en individuele ketels in gebouwen (3 miljoen m<sup>3</sup>). De 6 miljoen m<sup>3</sup> gasverbruik voor de gebouwen aangesloten op het warmtenet zal in 2022 door sloop van oudbouw en energiebesparing minder dan 3 miljoen m<sup>3</sup> zijn.

**Figuur 2:** Verdeling gas verbruik naar toepassing



Afkoppeling van gebouwen, sloop en renovatie leiden tot een reductie van de vraag in de toekomst. In tabel 12 staat de warmtevraag voor de Radboud Campus die we voorzien vanuit het ketelhuis. Deze warmtevraag zullen we hanteren voor het nulalternatief en alternatief 2 met het warmtenet. In alternatief 3, extra besparing en WKO, kan met uitbreiding van een WKO installatie de warmtevraag in 2022 verder worden verlaagd naar 18.000 MWh.

<sup>25</sup> Met een omrekenfactor van 0,0097694 MWh per m<sup>3</sup> is dat gelijk aan 5 miljoen m<sup>3</sup> en et en rendement van 92% staat die 50.000 MWh gelijk aan ca. 6 miljoen m<sup>3</sup> gasverbruik.

In deze MKBA hanteren we voor de verwachte ontwikkeling van de warmtevraag na 2022 een daling van 0,5% per jaar.

**Tabel 12: Ontwikkeling warmte vraag gebouwen UMC op de Radboud Campus<sup>26</sup>**

Jaar	Warmtevraag	Reden vermindering warmtevraag
2017	40.000 MWh	Afkoppelen Tandheelkunde
2019	38.000 MWh	Sloop, isolatie
2020	28.000 MWh	Afkoppelen gehele A-faculteit Renovaties ( o.a. medische faculteit) en besparingsprogramma's
2022	21.000 MWh	Nieuwbouw in gebruik en sloop oude gebouwen

De warmtevraag van de gebouwen van de Radboud Universiteit die niet zijn aangesloten op het ketelhuis wordt weergegeven in Bijlage B.

### **Warmtevraag gebouwen langs het tracé**

Het overzicht van de gebouwen langs het tracé en hun warmtevraag is te vinden in bijlage B<sup>27</sup>.

De uitgespaarde hoeveelheid aardgas wordt naast de warmtevraag van de gebouwen die worden aangesloten bepaald door het ketelrendement van de ketels die nu in de warmtevraag voorzien. Het RadboudUMC heeft aangegeven dat de ketel in het ketelhuis een rendement realiseert van 92% op onderwaarde<sup>28</sup> gemeten op jaarbasis inclusief tapwaterbereiding. De ketels in individuele gebouwen van de Radboud Universiteit presteren beter, we rekenen met 95%. Voor de gebouwen langs het tracé gaan we ervan uit dat er ook HR-ketels staan en dat een rendement van 95% op onderwaarde wordt gerealiseerd in de utiliteitsgebouwen, maar 90% in de woningen vanwege de lagere rendementen voor warm tapwater bereiding van ketels. Van de warmtevraag van de gebouwen langs het tracé betreft 29% warmtevraag van woningen en 71% warmtevraag van utiliteitsgebouwen. Het gemiddeld ketelrendement van gebouwen langs het tracé schatten we daarom op 94%.

<sup>26</sup> Notitie Els Sonnemans, 21 augustus 2015, Ontwikkeling warmtevraag Radboud UMC.

<sup>27</sup> Op 17 november hebben wij van de gemeente een inventarisatie ontvangen van de warmtevraag van gebouwen langs tracé 2 die potentieel aangesloten zouden kunnen worden op het warmtenet. Op 8 februari 2016 is de lijst nog aangepast, waarbij een aantal woongebouwen die geen collectieve ketel blijken te hebben, zijn verwijderd. Op 1 april 2016 kwamen we er achter dat NUON/Liandon in hun raming van investeringskosten voor het warmtenet toch meer gebouwen hebben meegenomen. Omdat we in deze MKBA de juiste kosten en baten met elkaar willen vergelijken hebben we de informatie van NUON/Liandon van 1 april als uitgangspunt genomen.

<sup>28</sup> Het rendement wordt berekend door de hoeveelheid nuttige warmte te delen door de vrijkomende warmte door de verbranding van het gas en de uitkomst te vermenigvuldigen met 100%. Doordat bij een HR ketel ook de condensatiewarmte wordt gebruikt als nuttige warmte, kan het rendement van goede HR-ketels boven de 100% uitkomen.

## Extra besparing en WKO

In het projectalternatief met extra besparing bepaalt de besparing door na-isolatie de uitgespaarde hoeveelheid aardgas. Bij de toepassing van WKO en warmtepompen wordt de gasbesparing bepaald door de dekkingsgraad van de warmtepomp. Op de Radboudcampus wordt extra WKO bij het UMC alleen toegepast in nieuwe gebouwen waar de WKO 100% van de warmtevraag dekt. Bij de RU blijft de ketel staan als back up, we veronderstellen dat 20% van het ketelvermogen wordt vervangen door WKO en dat daarmee 60% van de vraag wordt gedekt. Dat is relatief laag omdat niet overal lage-temperatuurverwarming kan worden toegepast.

Warmtepompen gebruiken wel elektriciteit. Op basis van het Protocol Monitoring Hernieuwbare energie gaan we uit van een COP (Coefficient of Performance) van 4,0 voor bodem gekoppelde warmtepompen. Dat betekent dat voor iedere GJ warmte die wordt geleverd met de warmtepomp 0,25 GJ elektriciteit nodig is. Daar waar sprake is van WKO moeten we ook de energiebesparing bij koeling meenemen. Elke GJ warmte uit WKO kost 0,25 GJ elektriciteit maar bespaart tegelijkertijd 0,13 GJ elektriciteit voor koeling, dus kost per saldo 1 GJ warmte maar 0,12 GJ aan elektriciteit<sup>29</sup>.

## Prijsonwikkeling aardgas

Om de waarde van het uitgespaarde gas te bepalen is naast de hoeveelheid ook de prijs nodig. De toekomstige gasprijzen baseren we op de recente Welvaart en Leefomgevingsscenario's van CPB en PBL (zie tekstkader). Hierin zijn voor zowel 2030 als 2050 een laag en een hoog scenario geschat (CPB en PBL 2015b p. 28).<sup>30</sup> Voor de gasprijzen geven CPB en PBL de onderstaande verwachtingen weer (CPB en PBL 2015a, p. 28) (zie tabel 13).<sup>31</sup> Deze gebruiken we hier en deze is door lineaire interpolatie ook voor de andere jaren geschat. De WLO Hoog heeft een stringenter klimaatbeleid dan WLO Laag. Door een lage vraag naar gas is de gasprijs laag in het WLO Hoog scenario. In het WLO Laag scenario is het klimaatbeleid minder stringenter waardoor de vraag naar gas hoger is en de prijs daarom hoger ligt. De huidige gasprijzen in 2016 liggen relatief laag op ca. 20 ct/m<sup>3</sup>, we verwaarlozen dat nu want in de MKBA gaat het om de uitgespaarde gaskosten op lange termijn (tussen 2020 en 2030 en verder). De gasprijzen onder WLO 2 graden scenario zijn gelijk aan de gasprijzen in het WLO Hoog scenario.

<sup>29</sup> Als je 1 GJ warmtevraag van een gebouw met WKO van warmte voorziet dan kost dat 0,25 GJ elektriciteit voor de warmtepomp, uitgaande van een COP van 4. Dat betekent dat daarvoor 0,75 GJ warmte aan de bodem wordt onttrokken. In de zomer kun je dus 0,75 GJ warmte in de bodem stoppen, oftewel 0,75 GJ koude opwekken. In 90% van de tijd is die koude uit de bodem voldoende om de koelvraag te dekken (vrije koeling). Deze manier van koude levering heeft een COP van 12 (bron NEN 7120). De COP betreft hier de verhouding tussen koude levering en het gebruik van elektrische hulpenergie voor de bronpomp. In 10% van de tijd is die koude niet koud genoeg, zodat ook die wordt opgevoerd met een warmtepomp maar dan met een COP van 8 (bron NEN 7120). Gemiddeld is het rendement van koude levering een COP van 11,6. Dat betekent dat je in de zomer voor 1 GJ koude in het gebouw, slechts 0,09 GJ elektriciteit nodig hebt, maar ook 0,91 GJ koude uit de bodem. Nu hebben we slechts 0,75 GJ koude uit de bodem en dat levert samen met  $0,75/0,91 \cdot 0,09 = 0,07$  GJ elektriciteit zo'n  $0,07 \cdot 11,6 = 0,82$  GJ koude. Als je dezelfde 0,82 GJ koude moet leveren met een compressiekoelmachine met een COP van 4 dan kost dat 0,21 GJ elektriciteit. Daarom reken we in deze MKBA als volgt: elke GJ warmte uit WKO, kost 0,25 GJ elektriciteit maar bespaart tegelijkertijd  $0,21 - 0,07 = 0,13$  GJ elektriciteit voor koeling, dus kost per saldo 1 GJ warmte maar 0,12 GJ aan elektriciteit.

<sup>30</sup> CPB, PBL (2015b) Bijsluiters bij de WLO-scenario's. Toekomstverkenning Welvaart en leefomgeving.

<sup>31</sup> CPB, PBL (2015a) Cahier Klimaat en energie. Toekomstverkenning Welvaart en leefomgeving.

**Tabel 13:** Commodityprijzen aardgas volgens de WLO in €2016/m<sup>3</sup>

	2013	2030	2050
WLO Laag	0,28	0,28	0,35
WLO Hoog	0,28	0,14	0,16
WLO Tweegraden scenario	0,28	0,14	0,16

Bron: CPB/PBL (2015) WLO, Cahier Klimaat en Energie. Tabel 2.2 pagina 28<sup>32</sup>.

WLO geeft de commodityprijzen, terwijl we in de MKBA de eindverbruikersprijzen hanteren. Daarvoor vermenigvuldigen we de prijzen met een marge voor de energieleverancier en tellen er de energiebelasting en opslag duurzame energie erbij op (zie tabel 14). RU en UMC kopen gezamenlijk energie in en hebben samen een gasverbruik dat hoger is dan 10 mln m<sup>3</sup>. Voor de gebouwen langs het tracé gaan we uit van een verbruik tussen de 170.000 en 1 mln m<sup>3</sup>.

**Tabel 14:** Eindverbruikersprijzen aardgas o.b.v. commodityprijs (euro/m<sup>3</sup>)

Verbruiksklasse aardgas	0-170.000 m <sup>3</sup>	170.000 -1 mln m <sup>3</sup>	1-10 mln m <sup>3</sup>	>10 mln m <sup>3</sup>
commodityprijs aardgas [euro/m <sup>3</sup> ]	0,28	0,28	0,28	0,28
geschatte marge op de commodityprijs	15%	10%	10%	5%
energiebelasting [euro/m <sup>3</sup> ]	0,25	0,07	0,03	0,01
ODE [euro/m <sup>3</sup> ]	0,01	0,004	0,001	0,0009
Totaal eindverbruikersprijs [euro/m <sup>3</sup> ]	0,58	0,38	0,33	0,30

De energiebelasting en ODE tarieven uit tabel 14 worden ook gebruikt voor de post “gederfde energiebelasting aardgas”

<sup>32</sup> CPB en PBL geven alleen de gasprijzen in dollars per MBTU. De reden om brandstofprijzen in dollars te vermelden is dat ze in dollars worden verhandeld. De omrekening is naar euro's per m<sup>3</sup> is gebaseerd op een wisselkoers van 1,33 dollar per euro (en 1MBTU ≈ 0,0299 m<sup>3</sup> zijn deze waarden voor gas omgerekend van €/m<sup>3</sup> in prijzen van 2016 (inflatie eveneens op basis van de CPB 2015 studie).



In de Welvaart en Leefomgeving studie (de WLO) verkennen het CPB en het PBL de toekomst: hoe ziet Nederland er uit in 2030 en 2050? Hierbij richten ze zich op de fysieke leefomgeving, en kijken daarbij naar vier brede thema's: regionale ontwikkelingen en verstedelijking, mobiliteit, klimaat en energie en, landbouw.

Vanwege de onzekerheid die hoort bij het voorspellen van de toekomst, verkennen de planbureaus de toekomst met behulp van scenario's. Voor de WLO zijn twee scenario's ontwikkeld. Het scenario Hoog combineert een relatief sterke economische groei van ongeveer 2 procent per jaar met een relatief sterke bevolkingsaanwas. In scenario Laag gaat een gematigde economische groei van circa 1 procent samen met een beperkte demografische ontwikkeling. De twee scenario's vormen een bandbreedte waarbinnen zich de toekomst met enige waarschijnlijkheid zal afspelen. De WLO-scenario's sluiten aan bij mondiale klimaatscenario's die op de lange termijn leiden tot een mondiaal gemiddelde temperatuurstijging van 2,5 à 3 graden in het WLO-scenario Hoog en 3,5 à 4 graden in het WLO-scenario Laag.

Naast de standaard WLO scenario's Hoog en Laag is een aanvullende onzekerheidsverkenning uitgevoerd (het tweegradendoel). In de aanvullende onzekerheidsverkenning is ervan uitgegaan dat sterker klimaatbeleid wordt gevoerd, zodat de wereldgemiddelde temperatuurstijging op lange termijn beperkt blijft tot 2 graden Celsius. Het 'tweegradendoel' geldt als de stip op de horizon voor het internationale en nationale klimaat- en energiebeleid. De verwachting is dat de Europese Unie en Nederland daarbij in 2050 een emissiereductie realiseren van ten minste 80 tot meer dan 95 procent, maar het is onzeker welke reductie precies nodig zal zijn.

Bron: CPB, PBL (2015a) Cahier Klimaat en energie. Toekomstverkenning Welvaart en leefomgeving, p.16, 22, 11. Aanpassingen ECN.

### 3.2.6 Kosten gasverbruik hulpwarmtekets

Wanneer in het geval van warmtelevering de afvalverwerkingsinstallatie ARN op piekmomenten en in geval van onderhoud niet de gehele warmtevraag kan invullen, worden gasgestookte hulpwarmtekets ingeschakeld. Op basis van informatie van NUON/Liandon gaan we uit van een bijstookfactor van 15%<sup>33</sup>, hetgeen betekent dat de hulpwarmtekets 15% van de warmtevraag dekken.

Het Radboud UMC vraagt mogelijk hogere temperatuurniveaus dan nu in de warmtelevering richting de Waalsprong gebruikelijk zijn. Dat zou extra bijstook betekenen bij warmtelevering door het ketelhuis van het UMC. We nemen dat in de kosten/baten analyse niet mee. Dit is wel een aandachtspunt in de concrete uitwerking wanneer tot de aanleg van trace2 van het warmtenet wordt besloten.

Voor het gasverbruik van hulpwarmtekets rekenen we met de gasprijzen zoals weergegeven in tabellen 13 en 14, voor de verbruiksklasse > 10 mln m<sup>3</sup>/jaar.

### 3.2.7 Kosten elektriciteitsderving ARN bij warmtelevering

De hoofdwarmtebron voor de warmtelevering in Nijmegen is de afvalverbrandingsinstallatie (AVI) van de ARN. De ARN produceert daarbij ook elektriciteit. Als er warmte wordt afgetapt voor het warmtenet dan gaat dit ten kosten van die elektriciteitsproductie. In het nulalternatief wordt er x ton afval verstoekt door de AVI en daarbij wordt y kWh elektriciteit geproduceerd. Als de AVI warmte gaat leveren dan verstoekt deze nog steeds x ton afval, want de AVI wordt "afvalgestuurd" bedreven en niet aan de hand van energievraag aangezet. Door de warmtelevering kan de AVI minder elektriciteit produceren omdat de warmte voor de turbine op hoge temperatuur wordt afgetapt. De gedeelde elektriciteitsproductie is 0,055 kWh elektriciteit per MJth afgetapte warmte<sup>34</sup>.

De kosten van elektriciteitsderving door de ARN worden bepaald door de huidige en toekomstige commodityprijzen voor elektriciteit op de elektriciteitsmarkt. Ook hiervoor gebruiken we de prijzen uit de WLO scenariostudie van CPB en PBL. De WLO achtergrondstudie met elektriciteitsprijzen geeft de elektriciteitsprijzen zoals vermeld in tabel 15.<sup>35</sup>

<sup>33</sup> Kostenraming trace 2 NUON/Liandon, 1 april.

<sup>34</sup> Overgenomen uit gelijkwaardigheidsverklaring voor warmtelevering van de ARN aan de Waalsprong,

<sup>35</sup> CPB / PBL (2016) Klimaat En Energie. Achtergronddocument. WLO - Welvaart en Leefomgeving. Toekomstverkenning 2030 en 2050. 30 maart 2016. P. 13.

**Tabel 15:** WLO Commodityprijzen elektriciteit (WLO, 2015)

2.016 [€/MWh]	2013	2030	2050
WLO Laag	53	68	92
WLO Hoog	53	92	102
WLO Tweegraden scenario	53	117	107

### 3.2.8 Kosten elektriciteitsverbruik pompen warmtenet, WKO en warmtepompen

De kosten van het elektriciteitsverbruik van pompen in het warmtenet, WKO en warmtepompen worden bepaald door de eindverbruiksprijzen voor elektriciteit. Daarvoor vermenigvuldigen we de commodityprijzen uit de WLO met een marge voor de energieleverancier en tellen we er de variabele kosten voor transport- en systeemdiensten en de energiebelasting en opslag duurzame energie bij op (zie tabel 16). RU en UMC kopen gezamenlijk energie in en hebben samen een elektriciteitsverbruik dat hoger is dan 10 mln kWh. Voor de gebouwen langs het tracé gaan we uit van een verbruik tussen de 50.000 en 10 mln kWh.

**Tabel 16:** Eindgebruikersprijzen elektriciteit

Elektriciteit in euro2016/kWh	0-10.000 kWh	10.000-50.000 kWh	50.000-10 mln kWh	>10 mln kWh
Commodity	0,053	0,053	0,053	0,053
Marge op commodity	15%	15%	15%	15%
Systeemdiensten	0,001	0,001	0,001	0,001
Transportdiensten	0,04	0,01	0,01	0,00
ODE	0,006	0,007	0,002	0,000
Energiebelasting	0,10	0,05	0,01	0,00
<b>Totaal</b>	<b>0,20</b>	<b>0,13</b>	<b>0,09</b>	<b>0,06</b>

De energiebelasting en ODE tarieven uit tabel 16 worden ook gebruikt voor de post “extra energiebelasting elektriciteit”

### 3.2.9 Emissiereductie CO<sub>2</sub>

Deze paragraaf begint met de uitgangspunten zoals gebruikt bij de CO<sub>2</sub>-reductie berekening van warmtelevering voor projectalternatieven 2a, 2b en 2c. Vervolgens bespreken we de uitgangspunten voor de CO<sub>2</sub>-reductie berekening van extra besparing, WKO en warmtepompen voor projectalternatieven 3a, 3b en 3c. Tot slot lichten we de waardering van CO<sub>2</sub>-reductie toe, het uitdrukken in euro's CO<sub>2</sub>-baten.

### CO<sub>2</sub>-reductie warmtenet

Bij de afweging van de baten van tracé 2 van het warmtenet is het belangrijk wat de CO<sub>2</sub>-reductie is van warmtelevering ten opzichte van de referentiesituatie. De referentiesituatie is dat de ARN elektriciteit produceert en warmte levert aan de (nieuwe) woningen in de Waalsprong en het Waalfront en dat gebouwen op de campus en langs tracé 2 een voorziening hebben op gas.

Bij levering van warmte voor tracé 2 verandert het volgende:

1. Gebouwen op de Radboudcampus en langs tracé 2 vragen minder gas voor verwarming.
2. Er wordt gas bijgestookt in hulpwarmtekets.
3. Er wordt elektriciteit verbruikt voor pompen in het transport- en distributienet.
4. ARN levert minder elektriciteit.

#### 1 Vermeden gasverbruik ketels

De uitgespaarde hoeveelheid aardgas wordt naast de warmtevraag van de gebouwen die worden aangesloten bepaald door het ketelrendement van de ketels die nu in de warmtevraag voorzien. Zoals beschreven in paragraaf 3.2.5 hanteren we in de kosten/baten analyse verschillende rendementen voor de ketels van de RU, het UMC en de gebouwen langs het tracé.

**Tabel 17:** Parameters gebruikt bij CO<sub>2</sub>-besparing vermeden gasverbruik ketels

Parameter	Waarde	Eenheid
Rendement collectieve-ketel (onderwaarde)	95% gebouwen RU 92% gebouwen UMC 94% gebouwen langs het tracé	
Onderste verbrandingswaarde gas	31.65	GJ/1000 m <sup>3</sup> aardgas
Emissiefactor Gas	1788 <sup>36</sup>	kg CO <sub>2</sub> /1000 m <sup>3</sup>

Voor de gebouwen langs het tracé wordt met 1000 MJ (1 GJ) geleverde warmte 33,6 m<sup>3</sup> gas bespaard wat overeenkomt met 60 kg CO<sub>2</sub>.

#### 2 Gasbijstook in hulpwarmtekets en 3 elektriciteitsverbruik warmtepompen

Het transport van warmte gaat gepaard met leidingverliezen en energieverbruik van de pompen. Daarnaast kan de hoofdwarmtebron op piekmomenten en in geval van onderhoud niet de gehele vraag invullen en worden gasgestookte hulpwarmtekets ingeschakeld. Voor iedere GJ afgeleverde warmte moet dus rekening gehouden worden met de factoren zoals vermeld in tabel 18.

<sup>36</sup> 56,5 kg CO<sub>2</sub>/GJ aardgas, Nederlandse emissie autoriteit 2016.

Tabel 18: Parameters gebruikt bij CO<sub>2</sub>-uitstoot gerelateerd aan warmtelevering

Parameter		Bron
Warmteverlies distributienet	15% t.o.v. afgeleverde GJ	Informatie NUON
Pompenenergie	0.027 GJe/GJth ingevoerde GJ	NEN 7125, uitgaande van 14 km primair net <sup>37</sup>
Aandeel hulpwarmtekotel	15%	Kostenraming trace 2 NUON/Liandon, 1 april 2016
Rendement hulpwarmte ketels	91% op onderwaarde	Informatie NUON

Voor iedere afgeleverde 1000 MJ (gelijk aan 1 GJ) warmte, moet dus 1150 MJ (1,15 GJ) warmte aangeleverd worden. Hiervan komt 977,5 MJ van de AVI en 172,5 MJ van hulpwarmtekets. De hulpwarmtekotel verbruikt hiervoor 6 m<sup>3</sup> en stoot 11 kg CO<sub>2</sub> uit.

Uitgaande van een 14 kilometer<sup>38</sup> lange transportleiding is er 8,6 kWh elektriciteit nodig per GJ ingevoerde warmte. De CO<sub>2</sub>-emissies gerelateerd aan elektriciteitsverbruik voor pompen worden berekend met een emissiefactor van het centrale referentiepark in 2020, zie paragraaf hieronder. Het elektriciteitsverbruik van de pompen levert 4,6 kg CO<sub>2</sub> op per GJ afgeleverde warmte.

#### 4 Elektriciteitsderving ARN

De hoofdwarmtebron voor de warmtelevering in Nijmegen is de afvalverbrandingsinstallatie (AVI) van de ARN. De ARN produceert daarbij ook elektriciteit. Als er warmte wordt afgetapt voor het warmtenet dan gaat dit ten kosten van die elektriciteitsproductie. De gedeelde elektriciteitsproductie is 0,055 kWh elektriciteit per MJth afgetapte warmte. Voor iedere afgeleverde 1000 MJ (gelijk aan 1 GJ) warmte, wordt 977,5 MJ geleverd door de ARN en is er dus 54 kWh gedeelde elektriciteitsproductie.

De gedeelde elektriciteit moet elders geproduceerd worden, wat tot een toename van CO<sub>2</sub>-emissies leidt. Om de CO<sub>2</sub>-emissies gerelateerd aan de gedeelde elektriciteit te berekenen gebruiken we de Referentiepark-methode. Kenmerk van de 'Referentiepark-methode' is dat wordt verondersteld dat veranderingen in de vraag naar elektriciteit, ten gevolge van elektriciteitsbesparing of decentrale productie op jaarbasis worden opgevangen door het centrale elektriciteitsproductiepark dat gebruik maakt van fossiele energiebronnen. Dit productiepark wordt gezien als referentiepark en vandaar de naam 'Referentiepark-methode'. Het betreft de gasgestookte, kolengestookte en nucleaire centrales, die weinig of geen warmtelevering hebben en dus elektriciteitsvraag gestuurd worden bedreven. Elektriciteitsproductie door WKK, uit restgassen in de industrie, uit AVI's en duurzame elektriciteitsproductie uit zon/wind wordt niet meegenomen.

Voor het verleden en huidige situatie zijn de kentallen voor het referentie rendement, CO<sub>2</sub> emissiefactor (kg CO<sub>2</sub>/kWh of kg CO<sub>2</sub>/kWh) gegeven in Berekening van de CO<sub>2</sub>.

<sup>37</sup> NEN 7125, tabel 13 geeft aan dat de hulenergie in een warmtedistributienet gelijk is aan  $0,0018 \times L$  GJe/GJth voor het primaire net en 0,0018 GJe/GJth voor het secundaire net indien in het primair net de afstand tussen de productie-eenheid en het verst gelegen punt meer is dan 3 km. L is de afstand tussen de productie-eenheid en het verst gelegen punt van het primair net, in km

<sup>38</sup> NUON/Liandon blz 22 Bijlagen kostenraming tracé 2 november 2015

emissies, update in protocol monitoring duurzame energie 2015. Toekomstige emissiefactoren zijn berekend op basis van het elektriciteitspark uit de NEV 2015<sup>39</sup>. Voor de periode na 2025, hebben we verondersteld dat deze constant zijn.

**Tabel 19:** CO<sub>2</sub> emissiefactor elektriciteit volgens Referentiepark-methode (bron NEV 2015, ECN)

	2000	2005	2010	2013	2020	2025
Elektrisch rendement [%]	39,8	40,2	42,5	42,6	43,9	45,1
CO <sub>2</sub> -emissiefactor [kg CO <sub>2</sub> / GJ primair input]	71,3	68,9	67,3	73,7	64,3	63,1
CO <sub>2</sub> -emissiefactor [kg CO <sub>2</sub> /kWh]	0,64	0,62	0,57	0,62	0,53	0,50

Op basis van de huidige CO<sub>2</sub> emissiefactor (2013) veroorzaakt de 54 kWh gedeerde elektriciteit 33 kg CO<sub>2</sub> op. In de toekomst zal die emissiefactor dalen. Op basis van de emissiefactor uit de NEV2015 in 2025 gaat het dan om 27 kg CO<sub>2</sub>.

#### *CO<sub>2</sub>-reductie warmtelevering*

Als we het bovenstaande allemaal meenemen zien we dat per GJ geleverde warmte aan de ene kant 60 kg CO<sub>2</sub>-emissies bespaard worden, maar er aan de andere kant 42 kg CO<sub>2</sub> wordt uitgestoten door de hulpwarmteketel, elektriciteit opwekking voor pompenergie en compensatie van gedeerde elektriciteit bij de AVI. De besparing per GJ geleverde warmte in 2020 is dus 18 kg CO<sub>2</sub> ten opzichte van warmte geproduceerd door gasketels, een reductie van 30%. In deze MKBA houden we daarnaast ook rekening met de indirecte effecten van emissiehandel die we verderop in deze paragraaf bespreken. Tevens is het goed om te realiseren dat de CO<sub>2</sub>-reductie van warmtelevering in kwaliteitsverklaringen voor nieuwbouwprojecten, in de uniforme maatlat en de EMG norm NEN 7125 anders wordt gepresenteerd o.a. vanwege de biogene fractie bij AVI's. Dat lichten we hieronder ook toe.

<sup>39</sup> <https://www.ecn.nl/publications/PdfFetch.aspx?nr=ECN-N--13-017> geeft hogere getallen voor 2025 en verder. Dat komt omdat die cijfers zijn gebaseerd op een scenario uit 2012 waarin meer kolengestookte centrales in bedrijf waren en verondersteld werden in bedrijf te blijven. De NEV 2015 houdt berekening met het Energieakkoord en de daarin afgesproken sluiting van kolencentrales. Daarmee krijgt het referentiepark een lagere emissiefactor want er zitten naar verhouding meer gasgestookte centrales in.

Tabel 20: CO<sub>2</sub>-reductie per GJ afgeleverde warmte

	Energiegebruik		CO <sub>2</sub> -emissies	
Warmtelevering	1000	MJ		
Warmteverlies warmtedistributie	150	MJ		
Warmteproductie	<b>1150</b>	MJ		
- waarvan AVI		MJ		
	977,5			
- waarvan Hulpwarmtekets	172,5	MJ	11	kg CO <sub>2</sub>
Vermindering elektriciteitsproductie AVI door warmte aftap	54	kWhe	27	kg CO <sub>2</sub>
Pompeconomie warmtedistributie	8,6	kWhe	4,6	kg CO <sub>2</sub>
Totale CO <sub>2</sub> -emissie warmtelevering			42	kg CO <sub>2</sub>
Vermeden CO <sub>2</sub> gasverbruik ketels			60	kg CO <sub>2</sub>
		<b>CO<sub>2</sub>-reductie</b>	<b>18</b>	<b>kg CO<sub>2</sub> (30%)</b>

#### CO<sub>2</sub>-reductie warmtelevering volgens uniforme maatlat

In bovenstaande berekening van de CO<sub>2</sub>-reductie door warmtelevering wordt de volledige gederfde elektriciteitsproductie bij de AVI meegenomen. In de methode van de uniforme maatlat en de EMG norm NEN 7125 wordt daar anders mee omgegaan. De uniforme maatlat is een methode om de CO<sub>2</sub>-uitstoot en het fossiele energiegebruik van verschillende warmteopties met elkaar te vergelijken. De NEN 7125 is de methode om de energieprestatie van maatregelen op gebiedsniveau zoals warmtenetten te bepalen ten behoeve van energieprestatie-eisen voor nieuwe woningen en gebouwen. In beide methodes wordt de derving van de elektriciteitsproductie door warmtelevering bij een AVI gecorrigeerd voor de biogene fractie van het afval en daarom vermenigvuldigd met 0,5. In de uniforme maatlat wordt het geactualiseerde cijfer gebruikt, voor 2014 is dat 0,54. Dat is een beleidsmatige keuze. Op die manier wordt een AVI gewaardeerd als ware het voor de ene helft een fossiele en voor de andere helft een biomassa centrale. Door deze keuze wordt er verschil gemaakt tussen warmtelevering uit een AVI en warmtelevering uit een gewone gasgestookte elektriciteitscentrale.

Voor de emissiefactor van elektriciteit gebruikt de uniforme maatlat het gemiddelde van de totale elektriciteitsproductie 0,43 kg CO<sub>2</sub>/kWh in 2020 (integrale methode<sup>40</sup>). De CO<sub>2</sub>-reductie van warmtelevering is dan 58% (zie tabel 21).

Deze waarde presenteren we hier ter vergelijking, in deze MKBA rekenen we met de cijfers uit deze paragraaf zoals geschetst in tabel 20 en 22. Een MKBA bekijkt de integrale effecten in vergelijking tot het nulalternatief. Ten opzichte van het nulalternatief is er bij warmtelevering vanuit de AVI derving van elektriciteitsproductie. Die elektriciteit moet elders door een andere elektriciteitscentrale worden opgewekt en leidt daar tot uitstoot van CO<sub>2</sub>-emissie. Dat de helft van het afval dat een AVI als input gebruikt van biogene oorsprong is, doet er niet toe voor hoeveel stroom elders

<sup>40</sup> <http://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2013/n13017.pdf>

opgewekt moet worden en hoeveel CO<sub>2</sub> uitstoot dat genereerd. In de uniforme maatlat en de NEN 7125 wordt de biogene fractie wel gebruikt in de waardering van warmtelevering vanuit een AVI. Dat is een politieke keuze die niet past in een MKBA.

**Tabel 21:** CO<sub>2</sub>-reductie per GJ afgeleverde warmte volgens uniforme maatlat

	Energiegebruik		CO <sub>2</sub> -emissies	
Warmtelevering	1000	MJ		
Warmteverlies warmtedistributie	150	MJ		
Warmteproductie	<b>1150</b>	MJ		
- waarvan AVI		MJ		
	977,5			
- waarvan Hulpwarmtekets	172,5	MJ	11	kg CO <sub>2</sub>
Vermindering elektriciteitsproductie AVI door warmte aftap	27	kWhe	11	kg CO <sub>2</sub>
Pompenergie warmtedistributie	8,6	kWhe	3,7	kg CO <sub>2</sub>
Totale CO <sub>2</sub> -emissie warmtelevering			25	kg CO <sub>2</sub>
Vermeden CO <sub>2</sub> gasverbruik ketels			60	kg CO <sub>2</sub>
		<b>CO<sub>2</sub>-reductie</b>	<b>35</b>	<b>kg CO<sub>2</sub> (58%)</b>

#### Indirecte effecten emissiehandel

Elektriciteitscentrales vallen onder het Europese emissiehandel systeem ETS (Emission Trading System). Emissiehandel is een marktinstrument waarmee de EU de uitstoot van broeikasgassen kosteneffectief wil verminderen om zo haar klimaatdoelstelling te realiseren. Emissiehandel is de handel in emissierechten, die het recht geven om een bepaalde hoeveelheid broeikasgassen uit te stoten (zie tekstkader "Hoe werkt emissiehandel"). Een emissiehandelssysteem begint met het vaststellen van een uitstootplafond. Het totaal aantal beschikbare emissierechten is gelijk aan dit plafond.

Wanneer warmtelevering zorgt voor minder elektriciteitsproductie bij de ARN dan moet deze elektriciteit door een andere elektriciteitscentrale worden opgewekt. Die elektriciteitscentrale valt echter onder het emissieplafond van het Europese emissiehandelssysteem. Als die elektriciteitscentrale meer CO<sub>2</sub>-emissie uitstoot vanwege meer elektriciteitsproductie dan mogen andere bedrijven minder CO<sub>2</sub>-emissie uitstoten. Als je rekening houdt met het emissiehandelssysteem dan doet alle extra CO<sub>2</sub>-uitstoot onder het ETS niet ter zake en kan buiten beschouwing worden gelaten. Dat geldt ook voor de CO<sub>2</sub>-emissie door extra elektriciteitsverbruik van pompen in het warmtedistributienet.

Ook de hulpwarmtekets zijn zo groot qua vermogen dat ze onder het emissiehandelssysteem vallen. De emissiereductie van warmtelevering is dan 100% (zie tabel 22).



#### Box 4: Hoe werkt emissiehandel?

Bedrijven die deelnemen aan emissiehandel moeten voor elke ton CO<sub>2</sub> die zij uitstoten een emissierecht inleveren. Dat is de basisverplichting. Binnen het Europese plafond is een maximale hoeveelheid emissierechten beschikbaar; dit zorgt ervoor dat er ook een maximum is voor de uitstoot van alle aan EU-ETS deelnemende bedrijven

Bedrijven die minder emissierechten beschikbaar hebben dan zij hebben uitgestoten, moeten emissierechten aankopen, terwijl bedrijven die minder hebben uitgestoten dan zij aan emissierechten hebben, hun overschot aan rechten mogen verkopen. Door de vraag naar en het aanbod van emissierechten krijgen emissierechten een prijs.

Elk bedrijf maakt voor zichzelf de afweging: is het goedkoper om zelf maatregelen te nemen die de uitstoot naar beneden brengen of om emissierechten te kopen? Als het duur is om zelf maatregelen te nemen, koopt een bedrijf emissierechten. Als het duur is om emissierechten te kopen, neemt een bedrijf zelf maatregelen. Op die manier worden de broeikasgas reducerende maatregelen genomen daar waar ze het goedkoopst zijn.

*Bron: Nederlandse emissieautoriteit.*

Tabel 22: CO<sub>2</sub>-reductie per GJ afgeleverde warmte rekening houdend met CO<sub>2</sub> emissiehandel

	Energiegebruik		CO <sub>2</sub> -emissies	
Warmtelevering	1000	MJ		
Warmteverlies warmtedistributie	150	MJ		
Warmteproductie	<b>1150</b>	MJ		
- waarvan AVI		MJ		
	977,5			
- waarvan Hulpwarmteketels	172,5	MJ	0	kg CO <sub>2</sub>
Vermindering elektriciteitsproductie AVI door warmte aftap	54	kWhe	0	kg CO <sub>2</sub>
Pompenergie warmtedistributie	8,6	kWhe	0	kg CO <sub>2</sub>
Totale CO <sub>2</sub> -emissie warmtelevering			0	kg CO <sub>2</sub>
Vermeden CO <sub>2</sub> gasverbruik ketels			60	kg CO <sub>2</sub>
		<b>CO<sub>2</sub>-reductie</b>	<b>60</b>	<b>kg CO<sub>2</sub> (100%)</b>

Daarnaast is van belang dat de Radboudcampus door de grootte van het ketelhuis van het UMC ook een emissiehandel deelnemer is. Dat betekent dat alle energiegebruik op de Radboudcampus ook onder hetzelfde emissieplafond valt. CO<sub>2</sub>-reductie door gasbesparing bij het UMC en de Radboud Universiteit in de projectalternatieven reken we in deze MKBA daarom ook niet mee.

Omdat er binnen het ETS momenteel een overschot is aan rechten en de prijzen daardoor laag zijn, lijkt het vreemd om in deze MKBA rekening te houden met emissiehandel en de extra emissies binnen het ETS buiten beschouwing te laten en alleen te kijken naar reducties buiten het ETS (de non ETS emissies). De Europese Commissie neemt echter maatregelen om de effectiviteit van het ETS te versterken (zie tekstkader "Overschot emissierechten"). Merk op dat het overschot niet zo groot is dat de rechten gratis zijn, de prijs is nog steeds positief en drukt zo toch schaarste uit. We gaan er vanuit dat het ETS blijft bestaan en verder wordt verbeterd. De CO<sub>2</sub>-prijzen uit de WLO studie zijn daar ook op gebaseerd en tonen een opgaande lijn.

#### **Box 5: Overschot emissierechten**

Op dit moment is er een groot overschot aan rechten. Door het overschot is de prijs van rechten laag.

Er zijn verschillende oorzaken aan te wijzen voor de opbouw van het overschot. De belangrijkste is de economische crisis (vanaf 2008) en het achterblijven van economische groei. Doordat de productie kromp, beschikten bedrijven vaak over meer rechten dan zij nodig hadden om aan hun verplichtingen voor uitstootbeperking te voldoen. Een andere reden is dat bedrijven overgebleven rechten uit de tweede handelsperiode mochten doorschuiven naar de derde (het zogenaamde 'banking'). Een deel van die rechten komt uit buitenlandse projecten, vooral uit ontwikkelingslanden. Binnen die buitenlandse projecten kon vaak veel uitstoot worden gereduceerd, tegen lagere kosten dan binnen de EU. Omdat het voor het effect op het klimaatprobleem niet uitmaakt waar uitstootbeperkingen worden gerealiseerd, mogen bedrijven binnen het EU ETS de buitenlandse rechten inzetten om aan hun verplichtingen te voldoen. Hieraan is wel een aantal voorwaarden verbonden en het mag maar tot een bepaalde grens. Aankoop van deze rechten heeft niettemin op grote schaal plaatsgevonden en dit heeft bijgedragen aan het overschot. Tot slot heeft een succesvol energiebesparingsbeleid effect op vermindering van de hoeveelheid CO<sub>2</sub>-uitstoot. Daardoor is er een toename van het aantal niet gebruikte rechten.

Door het plafond in de toekomst verder te verlagen, zullen bedrijven eerder een tekort krijgen aan rechten. Dat zal leiden tot meer transacties en tot de afbouw van het overschot. De Europese Commissie (EC) heeft de centrale regie op het toewijzen van rechten versterkt. De EC heeft uniforme regels in werking gesteld, die minder beleidsruimte laten voor de lidstaten bij de toewijzing van rechten. Daarnaast zijn bij de start van de derde handelsperiode afspraken gemaakt over de afbouw van het gebruik van rechten uit de eerste twee handelsperiodes. Hieronder valt ook het gebruik van buitenlandse uitstootbeperkingen.

Maar deze maatregelen hebben op korte termijn nog weinig resultaat om het effect van het overschot aan rechten weg te werken. Door het overschot kan het prijsmechanisme zijn werk dan niet goed doen. Na toenemende kritiek op het functioneren van het ETS heeft de Europese Commissie in 2013 maatregelen genomen. De Commissie zal het aantal rechten op de markt met 900 miljoen verminderen. Deze rechten zullen in latere jaren alsnog worden geveild ('backloading').

De Commissie verwacht dat het overschot de komende jaren structureel en langdurig zal zijn. Daarom werkt de Europese Commissie daarnaast aan structurele maatregelen om het overschot aan rechten te verminderen door een Marktstabiliteitsreserve te maken. Bij een overschot kunnen rechten tijdelijk uit de markt worden genomen en in de reserve gezet. Hiermee wordt het aanbod van rechten flexibeler en meer in overeenstemming met de vraag.

*Bron: Nederlandse emissieautoriteit*

### **CO<sub>2</sub>-reductie projectalternatief met extra besparing, WKO en warmtepompen**

De emissiereductie van projectalternatief 3 wordt bepaald door de gasbesparing maal de CO<sub>2</sub>-emissiefactor van aardgas en het extra elektriciteitsverbruik van warmtepompen of WKO maal de gemiddelde emissiefactor van elektriciteit. Ook die emissiefactor baseren we op de referentieparkmethode, zoals vermeld in tabel 19. Ook hier geldt dat uitgaande van emissiehandel de CO<sub>2</sub>-emissie van het extra elektriciteitsverbruik van warmtepompen en WKO niet relevant is en buiten beschouwing kan worden gelaten.

### **Waardering CO<sub>2</sub> reductie**

Vermeden CO<sub>2</sub> is lastig te waarderen. Deels is het een niet-marktgoed (voor sectoren die niet onder emissiehandel vallen) en deels werkt het emissiehandelssysteem slecht waardoor die prijs een slecht signaal van de waarde van CO<sub>2</sub> is. Het waarderen van CO<sub>2</sub>-reductie is daarmee lastig. We volgen in deze studie de twee scenario's uit de WLO (CPB, PBL, 2015), waarvan het kabinet heeft besloten dat deze gebruikt moeten worden voor de waardering van CO<sub>2</sub>-reductie in MKBA's.<sup>41</sup>

In 2013 gaan CPB en PBL uit van een CO<sub>2</sub>-prijs van 4 €/ton (zie tabel 23). In 2030 van 15 en 40 €/ton in het laag respectievelijk het hoog scenario. In 2050 gaan ze uit van 40 en 160 €/ton voor het laag respectievelijk het hoog scenario (zie CPB en PBL, 2015a, p.31<sup>42</sup>). De tussenliggende jaren schatten we middels lineaire interpolatie. Na 2050 veronderstellen we de trend tussen 2030 en 2050 constant.

<sup>41</sup> Minister van Financiën (2015) Betreft Kabinetsreactie bij eindrapport werkgroep discontovoet. Brief aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. 13 november 2015. IRF/2015/866.

<sup>42</sup> CPB en PBL geven aan dat de CO<sub>2</sub>-prijzen in de WLO scenario's Laag en Hoog relatief laag zijn. De achtergrond hiervan is dat het CO<sub>2</sub>-beleid nu heel inefficiënt is. Hierbij gaat het zowel om wat valt onder ETS als bijvoorbeeld om welke technologieën worden gesubsidieerd (dit verstoort de prijzen). De ETS prijzen zijn nu relatief laag. Tegelijkertijd stelt het CPB dat voor een MKBA naar de marktprijzen in het ETS gekeken moet worden. Als de MKBA negatief uitkomt, gegeven het huidige klimaatbeleid, zijn er betere alternatieven (onder ETS). Tot 2030 zijn de marktprijzen heel anders dan de preventiekosten buiten de ETS, omdat veel technologieën gesubsidieerd worden. Na 2030 zijn in beide scenario's deze kosten veel meer gelijk, omdat in beide scenario's de hele wereld steeds meer een klimaatbeleid gaat voeren. Nu al worden de verschillen in beleid kleiner (bijvoorbeeld China heeft geen CO<sub>2</sub>-beleid, maar wel schone luchtbeleid. Alle landen hebben toezeggingen gedaan in Parijs). Daarom zijn de ETS en niet-ETS kosten per ton CO<sub>2</sub> vanaf 2030 gelijk. In 2050 moet er in het scenario Hoog veel meer CO<sub>2</sub> worden bespaard, daarom zijn daar de kosten per ton CO<sub>2</sub> berekend met de preventiekostenmethode en niet op basis van een inschatting van de ETS prijzen. Het pad van de CO<sub>2</sub>-prijzen in het scenario Hoog passen bij een opwarming van ongeveer 3 graden.

Tabel 23: CO<sub>2</sub>-prijzen volgens de WLO in €2016/m<sup>3</sup>

	2013	2030	2050
Laag	4	15	40
Hoog	4	40	160

Bron: CPB, PBL (2015a) Cahier Klimaat en energie. Toekomstverkenning Welvaart en leefomgeving, p. 31.

De twee scenario's van de WLO gaan uit van een relatief lage CO<sub>2</sub>-prijs en een CO<sub>2</sub>-uitstoot waarbij de opwarming van de aarde niet beperkt blijft tot 2 graden Celsius. In een aanvullende onzekerheidsverkenning ('het tweegradendoel') is ervan uitgegaan dat sterker klimaatbeleid wordt gevoerd, zodat de wereldgemiddelde temperatuurstijging op lange termijn beperkt blijft tot 2 graden Celsius. Dat past bij de klimaatafspraken in Parijs. Het 'tweegradendoel' geldt als de stip op de horizon voor het internationale en nationale klimaat- en energiebeleid. De verwachting is dat de Europese Unie en Nederland daarbij in 2050 een emissiereductie realiseren van ten minste 80 tot meer dan 95 procent, maar het is onzeker welke reductie precies nodig zal zijn. De CO<sub>2</sub>-prijzen die bij dit doel passen, zijn zeer onzeker en lopen naar schatting uiteen van 100 tot 500 euro per ton in 2030 en 200 tot 1.000 euro per ton CO<sub>2</sub> in 2050.<sup>43</sup> Dit is fors hoger dan in de twee basisscenario's van de WLO. Omdat er voor het tweegradendoel snel actie is vereist kan met 60€/ton in 2016 gerekend worden.<sup>44</sup> In 2030 en 2050 is met het midden van de bandbreedte gerekend (300 respectievelijk 600 euro per ton), tussenliggende jaren zijn lineair geïnterpoleerd en na 2050 is de prijs constant verondersteld. Dit scenario met strengere milieubeleid nemen we mee in de gevoeligheidsanalyse.

### 3.2.10 Emissiereductie NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof

Als er minder fossiele brandstoffen zoals aardgas worden verbrand (bijvoorbeeld door warmtelevering of door energiebesparing), dan verlaagt dit ook de uitstoot van andere emissies dan CO<sub>2</sub>, namelijk reductie van NO<sub>x</sub>-emissies in ketels. Bij warmtelevering leidt het stoken van gas in hulpwarmteketels echter ook weer tot extra NO<sub>x</sub>-emissies.

Er worden eisen gesteld aan de NO<sub>x</sub>-emissie van ketels (zie tabel 24). In het Activiteitenbesluit milieubeheer geldt per 1 januari 2013 een norm van 70 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup> rookgas voor ketels (dat is omgerekend 19,6 g NO<sub>x</sub>/GJ aardgasinput), maar deze geldt alleen voor ketels groter dan 400 kW en alleen voor nieuwe ketels en bij brander vervanging. Voor oudere ketels geldt nog de typekeuring. Deze gold vanaf 1995 voor ketels tot 900 kW met dezelfde eis voor voorgemengde branders, maar hogere waarden voor andere typen branders, ventilatorbranders en atmosferische branders, die juist in de grotere ketels nog voorkomen. Beneden de 400 kW geldt sinds 1 januari 2013 geen eis meer. Hier moeten nieuwe Ecodesign eisen het gat gaan opvullen, voor nieuwe ketels geldt vanaf 2018 een eis van 17,3 g NO<sub>x</sub>/GJ aardgasinput.

<sup>43</sup> CPB, PBL (2015a) Cahier Klimaat en energie. Toekomstverkenning Welvaart en leefomgeving, p. 11.

<sup>44</sup> Persoonlijke communicatie met Rob Aalbers (CPB).

**Tabel 24:** NO<sub>x</sub> emissie eisen gasgestookte ketels

	Vermogens- klasse	Eis maximale g NO <sub>x</sub> /GJ gasinput per brandertype		
		Voorgemengd	Atmosferisch	Ventilator
Typekeuring vanaf 1995	< 900 kW	20	44	29
Activiteitenbesluit vanaf 2013	>400 kW	20	20	20
Ecodesign vanaf 2018	<400 kW	17,3		

In de gebouwen die eventueel op het warmtenet worden aangesloten is het benodigd vermogen per gebouw tussen de paar honderd kW en een paar MW. Onbekend is of we het hebben over ketels groter of kleiner dan 400 kW. Ook weten we van de grotere ketels niet wat voor brandertype ze hebben. We veronderstellen de emissiefactor voor NO<sub>x</sub> van gasgestookte ketels in deze MKBA daarom constant op 20 g NO<sub>x</sub>/GJ gas. We gaan daarbij dus uit van voorgemengde branders en verwaarlozen dat andere type branders een hogere emissiefactor hebben. Uitgaande van 15 jaar levensduur zouden vanaf 2020 alle ketels die er staan gebouwd zijn na 1995 en aan de 20 g NO<sub>x</sub> /GJ gas moeten voldoen. We verwaarlozen dan dat vanaf 2018 nieuwe ketels kleiner dan 400 kW een lagere emissiefactor hebben.

Als er extra elektriciteitsvraag is in de projectalternatieven voor pompen bij warmtelevering of door toepassing van WKO en warmtepompen dan leidt de productie van de extra elektriciteitsvraag juist weer tot extra NO<sub>x</sub>-emissie, SO<sub>2</sub> en fijn stof (zie tabel 25). De kwantificering gebeurt aan de hand van kengetallen zoals deze door ECN en PBL ook in ramingen worden gebruikt voor de ontwikkeling van de uitstoot van deze emissies in de Nationale energieverkenning 2015.

**Tabel 25:** Emissiefactoren NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof (PM10) (bron NEV 2015, ECN)

		2017	2020	2025	Vanaf 2030
Gasverbruik in ketels	NO <sub>x</sub> /GJ gas	20	20	20	20
Elektriciteitsproductie	ton NO <sub>x</sub> /TWh	269	258	240	241
	ton SO <sub>2</sub> /TWh	81,7	85,9	75,4	78,9
	ton PM10/TWh	3,5	3,5	3,1	3,4

We kunnen de gekwantificeerde getallen in geld uitdrukken door uit te gaan van kengetallen uit CE(2010) Handboek schaduw prijzen, waardering en weging van emissies en milieueffecten. Voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> zijn er nationale emissienormen, daarom moet als door dit project meer wordt uitgestoten elders meer aan preventie worden gedaan, daarom zijn voor deze stoffen de preventiekosten van belang. Deze zijn €5,54 per kg en 8,66 per kg voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> respectievelijk. Voor fijnstof zijn wel nationale normen voor

de concentratie maar niet voor de uitstoot, daarom gebruiken we voor fijnstof (PM10) de schadekosten, €45,41 per kg.<sup>45</sup> Dit zijn bedragen met 2015 als prijspeil.

Tevens is in lijn met het nieuwe kabinetsstandpunt rond verdisconteren aangenomen dat deze natuur effecten per jaar 1 procent in waarde stijgen.<sup>46</sup>

<sup>45</sup> De inflatiecorrectie is op basis van CBS statline data over de HICP (Harmonised Index of Consumer Prices), update 5 november 2015. Deze aanpak is eveneens gevolgd door SEO (2014) Windmolens en welvaart, p.13.

<sup>46</sup> Minister van Financiën (2015) Betreft Kabinetsreactie bij eindrapport werkgroep discontovoet. Brief aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. 13 november 2015. IRF/2015/866

# 4

## Resultaten

Dit hoofdstuk presenteert de belangrijkste uitkomsten van de MKBA.

### 4.1 Netto Contante Waarde per alternatief

Van alle alternatieven zijn de kosten en baten per jaar uitgerekend over een periode van 50 jaar en verdisconteerd naar huidige (contante) waarden. Omdat de Welvaart en leefomgeving studie (WLO) van het CPB en PBL verschillende ontwikkelingen in de tijd schetst voor gas-, elektriciteit- en CO<sub>2</sub>-prijzen presenteren we de resultaten in 3 tabellen: tabel 26 geeft de resultaten voor WLO Laag, tabel 27 geeft de resultaten voor WLO Hoog en tabel 28 voor het WLO 2 graden scenario.

Een belangrijk verschil tussen WLO Laag en WLO Hoog zit in het gevoerde mondiale klimaatbeleid. Dit is in WLO Hoog veel steviger dan in WLO Laag. Daardoor is er in WLO Hoog minder vraag naar aardgas en is de gasprijs lager dan in WLO Laag. De elektriciteitsprijs en de CO<sub>2</sub>-prijs zijn juist hoger in WLO Hoog. Zo zijn de gasbesparingen in WLO Laag meer waard dan in WLO Hoog, terwijl ze fysiek even groot zijn. Extra elektriciteitsverbruik en CO<sub>2</sub>-reductie zijn in WLO Laag juist minder waard dan in WLO-Hoog.

De WLO Laag en WLO Hoog scenario's schetsen de twee meest waarschijnlijke ontwikkelingen voor Nederland in de komende decennia. Tegelijkertijd geven CPB en PBL aan dat het mogelijk is dat er stringenter klimaatbeleid gevoerd gaat worden dan nu verwacht wordt. Hiervoor hebben ze een alternatief CO<sub>2</sub>-prijspad bedacht, het zogenaamde twee graden scenario. Hierbij hoort een substantieel hogere CO<sub>2</sub>-prijs dan in de WLO Laag en WLO Hoog scenario's beginnende bij €60 per ton in 2016. Tevens bevat het WLO twee graden scenario een ander, iets hoger prijspad voor elektriciteit. Voor gas is het prijspad uit WLO Hoog aangehouden. Hierbij is gerekend met het midden van de bandbreedte die de WLO geeft voor de CO<sub>2</sub> prijs.<sup>47</sup>

<sup>47</sup> De CO<sub>2</sub>-prijzen in dit scenario zijn zeer onzeker en lopen naar schatting uiteen van 100 tot 500 Euro per ton in 2030 en 200 tot 1.000 euro per ton CO<sub>2</sub> in 2050. Gerekend is met 300 euro per ton en 600 euro per ton.

De drie tabellen met de resultaten uitgaande van het WLO Laag, WLO Hoog of WLO 2 graden scenario hebben een vaste opbouw.

Het eerste blok cijfers betreft de verschillende kostenposten, waarbij de eerste regel het totaal van de kosten weergeeft. Het tweede blok cijfers zijn de batenposten, waarbij de eerste regel het totaal van de baten weergeeft. De onderste regel van de tabel geeft de uitkomst van baten minus kosten. Een negatief getal hier geeft weer dat de kosten van dit alternatief groter zijn dan de baten.

De CO<sub>2</sub>-baten kunnen op 2 verschillende manieren worden berekend: door uit te gaan van de fysieke CO<sub>2</sub>-reductie, dan wel rekening te houden met de indirecte effecten van emissiehandel. Daarom staan er 2 regels in de tabellen voor de CO<sub>2</sub>-baten en uiteindelijk ook 2 regels voor de totale baten en het saldo van kosten en baten.

Daar waar in de CO<sub>2</sub>-baten rekening is gehouden met emissiehandel is alleen de CO<sub>2</sub>-reductie door gasbesparing bij niet emissiehandel deelnemers meegenomen. Gasbesparing van het UMC en de RU wordt in de CO<sub>2</sub>-baten dan niet meegenomen omdat zij als emissiehandel deelnemers ook onder het emissieplafond vallen. Rekening houdend met emissiehandel wordt gedeerde elektriciteitsproductie door warmtelevering bij de ARN, en extra elektriciteitsverbruik van warmtepompen ook niet meegenomen omdat dit geproduceerd wordt door elektriciteitscentrales die vallen onder emissiehandel met één emissieplafond. Ook het gasverbruik van hulpwarmteketels bij warmtelevering wordt in de berekening van de CO<sub>2</sub>-baten niet meegenomen omdat zij ook onder het emissiehandelssysteem vallen.

Uit de tabellen met alle kosten en baten wordt duidelijk welke posten relatief groot zijn. In de warmtenetalternatieven is niet de aanleg en exploitatie van het warmtenet de grootste kostenpost, maar de door het rijk misgelopen energiebelasting op het uitgespaarde aardgas de grootste kostenpost. Na de aanleg van het warmtenet inclusief hulpwarmtecentrales is de waarde van de gedeerde elektriciteit bij de AVI een substantiële kostenpost. Bij de besparingsalternatieven zijn de investeringskosten van energiebesparende maatregelen, WKO en warmtepompen en de kosten voor elektriciteit de grootste posten.

In alle alternatieven is de gasbesparing de grootste baat. De CO<sub>2</sub>-baten verschillen sterk tussen WLO Laag en WLO Hoog maar zijn altijd flink kleiner dan de waarde van het uitgespaarde gas. Alleen in het WLO 2 graden scenario zijn de CO<sub>2</sub>-baten groter dan de waarde van het uitgespaarde aardgas. De CO<sub>2</sub>-baten zijn in dit alternatieve scenario ruim vier maal zo hoog als onder het basisscenario van WLO Hoog. Dit komt door een hogere CO<sub>2</sub>-prijs en niet door grotere emissiereductie. Ook de andere waardes voor elektriciteitsgebruik en -derving komen door een andere prijs en niet door andere hoeveelheden.



Tabel 26:: Resultaten MKBA voor 6 projectalternatieven: WLO Laag

Miljoenen euro's	PA2a Warmtenet tot station Heijendaal	PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC	PA2c Warmtenet tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmtepompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmtepompen all- electric
<b>Totale kosten</b>	93	114	128	30	85	154
investeringen ketels	-8	-9	-12	-0,1	-2	-11
Investeringen warmtenet	29	32	38	0	0	0
Investeringen in WKO/warmtepomp	0	0	0	5	17	64
investeringen in besparingen	0	0	0	18	18	18
Exploitatiekosten ketel	-3	-4	-5	-0,1	-1	-4
Exploitatiekosten warmtenet	7	8	10	0	0	0
Exploitatiekosten WKO/warmtepomp	0	0	0	2	5	21
Gasverbruik hulpwarmtekets	8	11	13	0	0	0
Elektriciteitsverbruik pompen warmtenet	3	4	5	0	0	0
Elektriciteitsderving ARN	20	29	34	0	0	0
Elektriciteitsverbruik WKO/warmtepompen	0	0	0	1	21	30
Gederfde energiebelasting aardgas	38	42	47	6	29	40
Extra energiebelasting elektriciteit	0	0	0	-0,01	-3	-4
<b>Totale baten zonder rekening te houden met emissiehandel</b>	87	113	130	19	77	101
<b>Totale baten rekening houdend met indirecte effecten emissiehandel</b>	92	119	136	19	79	104
Gasbesparing	85	110	127	17	72	95
Waarde CO2 reductie alle fysieke uitstoot	2	3	3	2	4	5
Waarde CO2-reductie rekening houdend met emissiehandel	7	8	9	1	6	9
NOX, SO2, fijn stof	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
<b>Saldo baten minus kosten zonder rekening te houden met emissiehandel</b>	-6	-1	2	-11	-8	-52
<b>Saldo baten minus kosten rekening houdend met emissiehandel</b>	-1	4	7	-12	-6	-49

Tabel 27: Resultaten MKBA voor 6 projectalternatieven: WLO Hoog

Miljoenen euro's	PA2a Warmtenet tot station Heijendaal	PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC	PA2c Warmtenet tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmtepompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmtepompen all- electric
<b>Totale kosten</b>	95	116	131	31	88	158
investerings ketels	-8	-9	-12	-0,1	-2	-11
Investerings warmtenet	29	32	38	0	0	0
Investerings in WKO/warmtepomp	0	0	0	5	17	64
investerings in besparingen	0	0	0	18	18	18
Exploitatiekosten ketel	-3	-4	-5	-0,1	-1	-4
Exploitatiekosten warmtenet	7	8	10	0	0	0
Exploitatiekosten WKO/warmtepomp	0	0	0	2	5	21
Gasverbruik hulpwarmtekets	5	7	8	0	0	0
Elektriciteitsverbruik pompen warmtenet	3	5	6	0	0	0
Elektriciteitsderving ARN	24	34	40	0	0	0
Elektriciteitsverbruik WKO/warmtepompen	0	0	0	1	25	35
Gederfde energiebelasting aardgas	38	42	47	6	29	40
Extra energiebelasting elektriciteit	0	0	0	-0,01	-3	-4
<b>Totale baten zonder rekening te houden met emissiehandel</b>	71	92	105	19	69	90
<b>Totale baten rekening houdend met indirecte effecten emissiehandel</b>	91	112	125	16	76	102
Gasbesparing	64	81	93	12	53	70
Waarde CO2 reductie alle fysieke uitstoot	7	10	12	7	16	20
Waarde CO2-reductie rekening houdend met emissiehandel	27	30	32	4	23	31
NOX, SO2, fijn stof	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
<b>Saldo baten minus kosten zonder rekening te houden met emissiehandel</b>	-23	-25	-26	-12	-19	-68
<b>Saldo baten minus kosten rekening houdend met emissiehandel</b>	-3	-5	-6	-14	-12	-57

Tabel 27: Resultaten MKBA voor 6 projectalternatieven: WLO 2 graden scenario

Miljoenen euro's	PA2a Warmtenet tot station Heijendaal	PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC	PA2c Warmtenet tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmtepompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmtepompen all- electric
<b>Totale kosten</b>	99	123	139	31	91	163
investeringen ketels	-8	-9	-12	-0,1	-2	-11
Investeringen warmtenet	29	32	38	0	0	0
Investeringen in WKO/warmtepomp	0	0	0	5	17	64
investeringen in besparingen	0	0	0	18	18	18
Exploitatiekosten ketel	-3	-4	-5	-0,1	-1	-4
Exploitatiekosten warmtenet	7	8	10	0	0	0
Exploitatiekosten WKO/warmtepomp	0	0	0	2	5	21
Gasverbruik hulpwarmtekets	5	7	8	0	0	0
Elektriciteitsverbruik pompen warmtenet	4	5	6	0	0	0
Elektriciteitsderving ARN	28	40	47	0	0	0
Elektriciteitsverbruik WKO/warmtepompen	0	0	0	1	28	39
Gederfde energiebelasting aardgas	38	42	47	6	29	40
Extra energiebelasting elektriciteit	0	0	0	-0,01	-3	-4
<b>Totale baten zonder rekening te houden met ETS</b>	93	124	143	41	118	151
<b>Totale baten rekening houdend met ETS</b>	177	208	227	29	149	200
Gasbesparing	64	81	93	12	53	70
Waarde CO2 reductie alle fysieke uitstoot	29	43	50	29	65	80
Waarde CO2-reductie rekening houdend met ETS	113	126	134	17	96	130
NOX, SO2, fijn stof	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
<b>Saldo baten minus kosten zonder rekening te houden met emissiehandel</b>	-6	2	5	10	26	-12
<b>Saldo baten minus kosten rekening houdend met emissiehandel</b>	79	85	89	-2	58	37



### **Resultaten alleen gebaseerd op fysieke CO2-reductie**

Qua resultaten valt op dat alle projectalternatieven een negatief saldo hebben onder de twee WLO scenario WLO Laag en WLO Hoog, de kosten zijn dan hoger dan de maatschappelijke baten. Alleen projectalternatief 2c (het langste warmtenet alternatief) heeft een positief saldo onder WLO laag door de hoge gasprijzen.

Onder een twee graden scenario met hoge CO2-prijzen zijn de warmtenet alternatieven met aansluiting van de Radboud campus (PA2b en PA2c) en de twee besparingsalternatieven PA3a en PA3b maatschappelijk aantrekkelijk Alleen alternatief PA2a (het kortste warmtenet) en PA3c(extra besparing en all-electric warmtepompen) scoren negatief. De besparingsalternatieven scoren beter dan de warmtenet alternatieven.

### **Resultaten rekening houdend met emissiehandel**

Wanneer we rekening houden met de indirecte effecten van emissiehandel, verbetert het saldo van maatschappelijke kosten en baten van de verschillende projectalternatieven. De CO2-baten zijn hoger doordat gedeerde elektriciteitsproductie door warmtelevering bij de ARN en extra elektriciteitsverbruik van warmtepompen worden gecompenseerd onder het emissieplafond. Alleen bij projectalternatief 2a verslechterd het saldo doordat de gasbesparing op de Radboudcampus als deelnemer aan emissiehandel niet wordt meegenomen. Toch blijft het saldo van kosten en baten negatief voor de meeste projectalternatieven onder de twee WLO scenario WLO Laag en WLO Hoog. Alleen de twee warmtenet alternatieven met aansluiting van de Radboud campus (PA2b en PA2c) scoren positief onder WLO laag door de hoge gasprijzen.

Onder een twee graden scenario met hoge CO2-prijzen en rekening houdend met de indirecte effecten van emissiehandel zijn alle projectalternatieven maatschappelijk aantrekkelijk, behalve projectalternatief PA2a.

### **Effect tijdshorizon**

Hoe verder effecten in de toekomst liggen hoe lastiger ze in te schatten zijn. Deels wordt dit gecompenseerd doordat effecten in de toekomst minder zwaar meetellen (door de verdiscontering). Binnen het project is er behoefte aan om te zien of een kortere tijdshorizon waarin effecten worden bestudeerd, uitmaakt voor de uitkomst gezien de onzekerheid van de toekomstige warmtevoorziening. Voor diverse looptijden (10, 20, 30 40 en 50 jaar) is uitgerekend wat de netto contante waarde van effecten tot dat moment zijn. Figuren 3 tot en met 5 geven deze uitkomst weer met interpolatie tussen de decennia.

Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele restwaardes van kapitaalgoederen zoals warmtepompen, cv ketels en warmtenetten. Het effect hiervan op de uitkomst is groter naar gelang de looptijd korter is.

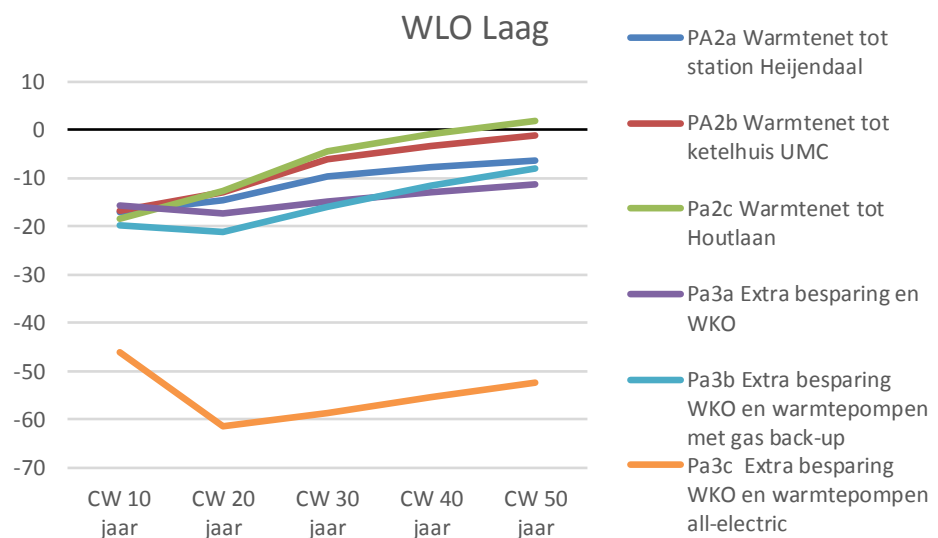
Onder WLO Laag (figuur 3 en6) laten de meeste scenario's een gebruikelijk patroon bij investeringen zien: de initiële waarde is laag omdat de meeste kosten in het begin worden gemaakt en de baten over langere periode volgen. Zonder rekening te houden met emissiehandel is alleen Alternatief PA2c positief. Wanneer we rekening houden met emissiehandel is alternatief PA2c Warmtenet tot Houtlaan net positief na 40 jaar

terwijl alternatief PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC na 40 jaar een negatief saldo heeft en na 50 jaar wel positief is. De besparingsvarianten beginnen ook negatief en laten een positieve ontwikkeling zien, maar de toename is niet voldoende om op een positief saldo uit te komen na 50 jaar.

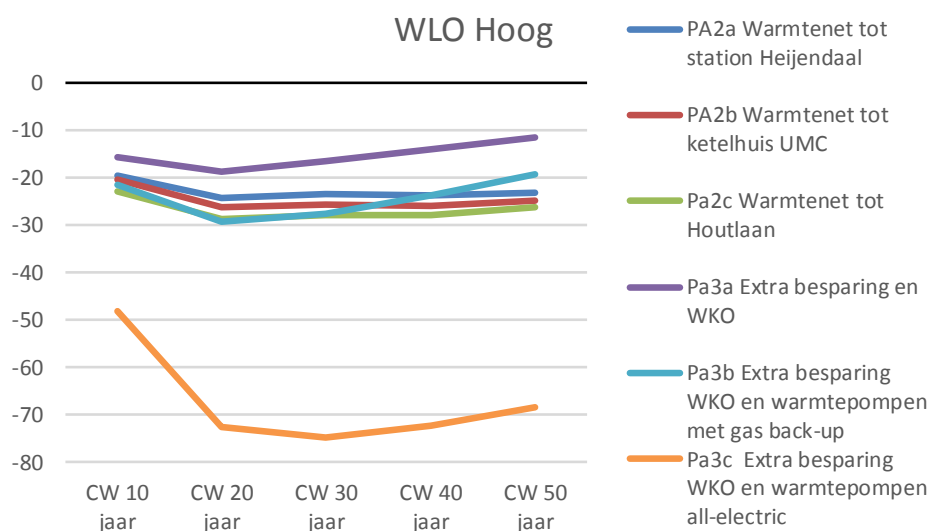
Onder WLO Hoog (figuur 3 en 7) laat een in grote lijnen vergelijkbaar patroon zien met een groot verschil. De toename van de baten is nergens groot genoeg om de initiële investeringen te compenseren en na 50 jaar is ieder alternatief maatschappelijk gezien onaantrekkelijker dan het nulalternatief, zowel met als zonder rekening houdend met emissiehandel .

De figuren 5 en 8 laat de ontwikkeling in de tijd van de alternatieven ten opzichte van het nulalternatief zien onder het WLO twee graden scenario. In dit alternatieve scenario zijn de CO<sub>2</sub>-baten fors groter, wat resulteert in eerder een positief saldo. De warmtenet alternatieven zijn na 20 jaar maatschappelijk positief (alternatief 2a) of vanaf dat moment bijna positief 2b en 2c) mits we rekening houden met emissiehandel. Kijken we alleen naar de fysieke CO<sub>2</sub>-reductie dan worden alleen de langere warmtenetalternatieven pas na 40 jaar aantrekkelijk. Van de besparingsalternatieven is alternatief 3a nooit aantrekkelijk. Terwijl alternatief 3b (Pa3b Extra besparing WKO en warmtepompen met gas back-up) na 20 jaar aantrekkelijk is en alternatief 3c is met een tijdshorizon van 30 jaar aantrekkelijk.

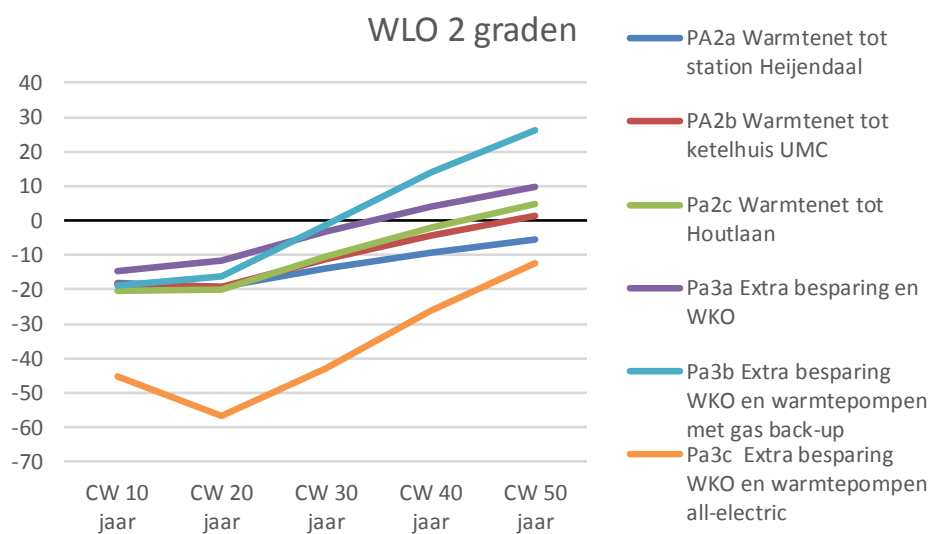
**Figuur 3:** Ontwikkeling van de netto contante waarde bij kortere looptijden voor WLO Laag (miljoen euro, prijspeil 2016). Periode 2016-2065. **Geen rekening houdend met ETS**



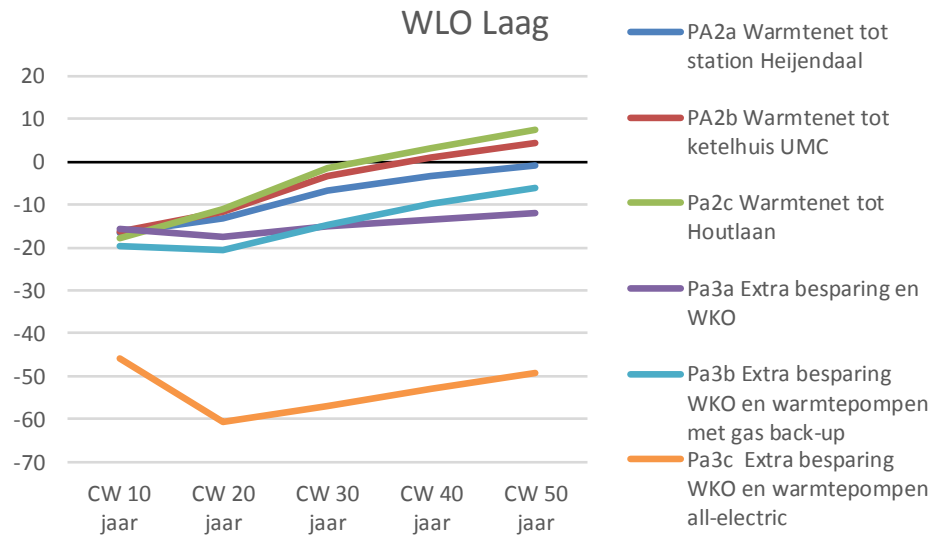
**Figuur 4:** Ontwikkeling van de netto contante waarde bij kortere looptijden voor WLO Hoog (miljoen euro, prijspeil 2016). Periode 2016-2065. **Geen rekening houdend met ETS**



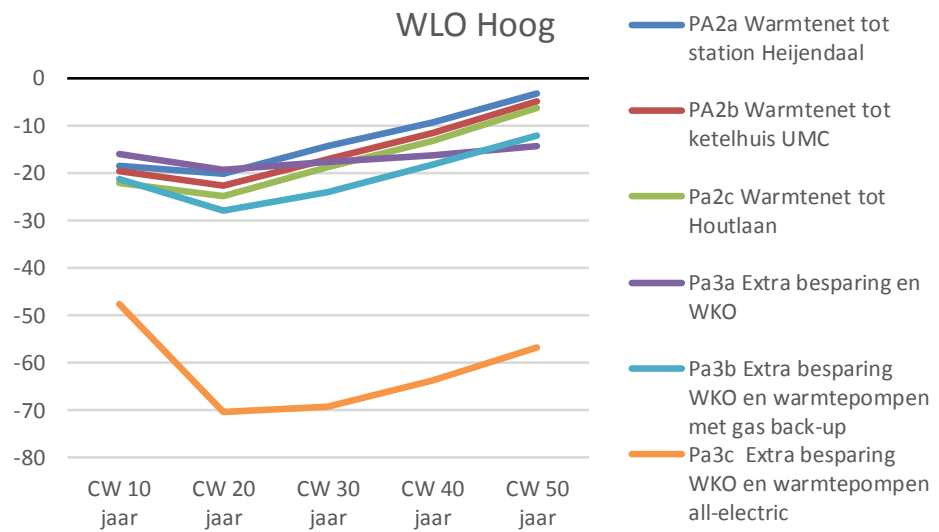
**Figuur 5:** Ontwikkeling van de netto contante waarde bij kortere looptijden voor WLO twee graden scenario (miljoen euro, prijspeil 2016). Periode 2016-2065. **Geen rekening houdend met ETS**



**Figuur 6:** Ontwikkeling van de netto contante waarde bij kortere looptijden voor WLO Laag (miljoen euro, prijspeil 2016). Periode 2016-2065. **Rekening houdend met ETS**

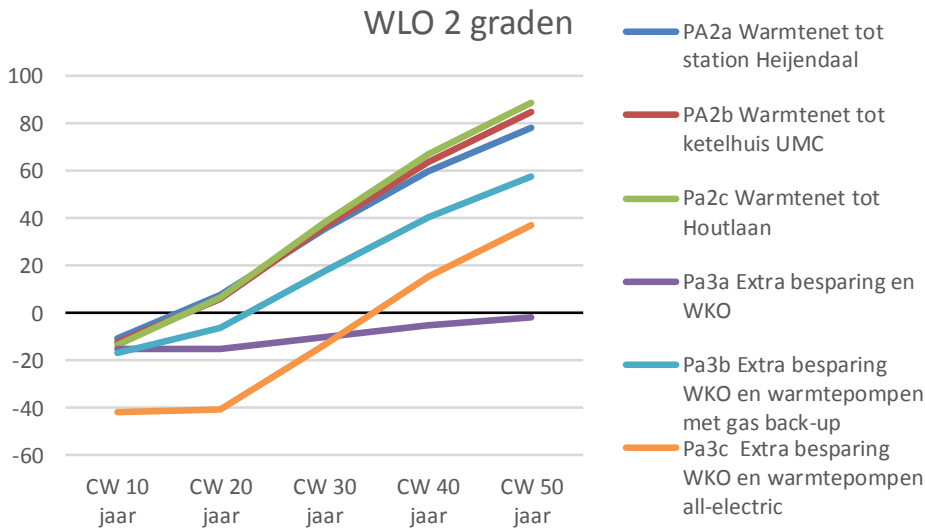


**Figuur 7:** Ontwikkeling van de netto contante waarde bij kortere looptijden voor WLO Hoog (miljoen euro, prijspeil 2016). Periode 2016-2065. **Rekening houdend met ETS**





**Figuur 8:** Ontwikkeling van de netto contante waarde bij kortere looptijden voor WLO twee graden scenario (miljoen euro, prijspeil 2016). Periode 2016-2065. **Rekening houdend met ETS**



## 4.2 Effect van de projectalternatieven op de CO<sub>2</sub>-reductie

De aanleiding om de hier onderzochte projectalternatieven te onderzoeken op bijdrage aan de welvaart is de wens om CO<sub>2</sub>-reductie te besparen. Daarom brengt tabel 29 in kaart hoeveel procent de CO<sub>2</sub>-uitstoot daalt per projectalternatief ten opzichte van het nulalternatief. Dat is de fysieke CO<sub>2</sub>-reductie zonder rekening te houden met indirecte effecten van emissiehandel.

De warmtenet alternatieven (2a, 2b, 2c) hebben een maximale reductie van 31% procent. De besparingsalternatieven met warmtepompen scoren iets hoger.

**Tabel 28** Procentuele CO<sub>2</sub>-reductie zonder rekening te houden met indirecte effecten emissiehandel.

	PA2a Warmtenet tot station Heijendaal	PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC	PA2c Warmtenet tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmtepompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmtepompen all-electric
2020	9%	16%	20%	2%	7%	9%
2030	17%	24%	30%	16%	33%	40%
2031 en verder	18%	27%	31%	16%	34%	42%

Noot: de CO<sub>2</sub>-reductie in de variant PA3a lijkt erg laag, maar standaard wordt al gerekend met een autonome besparing van 0,5% per jaar. De hier weergegeven reductie komt hier dus bovenop.

Daarbij moet bedacht worden dat we de CO<sub>2</sub>-emissie van elektriciteitsderving bij de ARN bij warmtelevering en het elektriciteitsverbruik van pompen in het warmtenet en elektrische warmtepompen en WKO in de besparingsalternatieven nu berekend wordt aan de hand van emissiefactoren van het centrale referentiepark. Wanneer de emissies van elektriciteitsproductie dalen door meer duurzame elektriciteitsproductie met zon en wind zullen die emissies dalen en zal de CO<sub>2</sub>-reductie van de verschillende projectalternatieven groter zijn dan hier geschetst.

De CO<sub>2</sub>-reductie percentages in tabel 29 geven ook een goed beeld van de aardgasbesparing ten opzichte van het nulalternatief. Zonder rekening te houden met emissiehandel wordt immers alle gasbesparing meegenomen, ook die van de Radboudcampus als deelnemer aan emissiehandel. Tevens wordt ook het extra verbruik van fossiele brandstoffen voor gedeelde elektriciteitsproductie bij de ARN bij warmtelevering en voor de productie van extra elektriciteitsverbruik door WKO en warmtepompen meegenomen.

Tabel 30 geeft de bijbehorende CO<sub>2</sub>-uitstoot in fysieke eenheden per alternatief, inclusief het nulalternatief, zien.

**Tabel 29:** CO<sub>2</sub>-uitstoot (1000 ton per jaar), inclusief het nulalternatief, zonder rekening te houden met indirecte effecten emissiehandel.

CO <sub>2</sub> -uitstoot	PA1 Nul alternatief	PA2a Warmte- net tot station Heijendaal	PA2b Warmte- net tot ketelhuis UMC	PA2c Warmte- net tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmte- pompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmte- pompen all-electric
2017	30	29	29	29	29	29	29
2020	27	25	23	22	26	25	24
2030	24	20	19	18	20	16	14
2040	23	19	17	17	19	15	13
2050	22	18	17	16	18	14	12
2060	20	17	16	15	17	13	11
2065	20	17	15	15	17	12	10

Als we de indirecte effecten van emissiehandel meenemen dan zijn de CO<sub>2</sub>-reductie percentages hoger (zie tabel 31). De warmtenet alternatieven (2a, 2b, 2c) hebben een maximale reductie van 84 tot 100 procent afhankelijk van het aandeel van de warmtevraag dat wordt aangesloten op warmtelevering in de verschillende projectalternatieven.. Rekening houdend met emissiehandel wordt gedeelde elektriciteitsproductie door warmtelevering bij de ARN niet meegenomen omdat dit geproduceerd wordt door elektriciteitscentrales die vallen onder emissiehandel met één emissieplafond. Ook het gasverbruik van hulpwarmteketels bij warmtelevering wordt in de berekening van de CO<sub>2</sub>-baten niet meegenomen omdat zij ook onder het emissiehandelssysteem vallen.

Alternatief 3a extra besparing en WKO heeft verreweg de kleinste CO<sub>2</sub>-besparing. Het betreft hier alleen de besparing van de gebouwen langs het tracé want het UMC en de RU zijn ETS deelnemer. Alternatief PA3b Extra besparing WKO en warmtepompen met

gas back-up heeft 74 procent maximale reductie. De all electric variant (PA3c) heeft een maximale CO<sub>2</sub>-reductie van 100 procent. Het elektriciteitsverbruik van warmtepompen wordt niet meegenomen omdat deze geproduceerd wordt door elektriciteitscentrales die vallen onder emissiehandel met één emissieplafond.

**Tabel 30** Procentuele CO<sub>2</sub>-reductie rekening houdend met indirecte effecten via emissiehandel.

	PA2a Warmtenet tot station Heijendaal	PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC	PA2c Warmtenet tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmte- pompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmte- pompen all- electric
2020	48%	48%	55%	4%	22%	29%
2030	81%	81%	96%	13%	70%	94%
2031 en verder	84%	96%	100%	13%	74%	100%

Noot: de CO<sub>2</sub>-reductie in de variant PA3a lijkt erg laag, maar standaard wordt al gerekend met een autonome besparing van 0,5% per jaar. De hier weergegeven reductie komt hier dus bovenop.

Tabel 32 toont de CO<sub>2</sub> uitstoot in de projectalternatieven en in het nulalternatief in fysieke hoeveelheden rekening houdend met indirecte effecten emissiehandel. In het nulalternatief daalt de uitstoot van 18 duizend ton CO<sub>2</sub> per jaar naar 14 duizend. Dit betreft alleen de emissies van de gebouwen langs het tracé, de emissies van de Radboud campus als emissiehandel deelnemer worden in deze tabel niet meegenomen. De projectalternatieven verlagen dit, waarbij de daling in alternatief 3a het kleinste is tot 12 duizend ton aan het eind van de periode en het grootst in alternatief 3c waarbij de CO<sub>2</sub> uitstoot naar nul daalt.

**Tabel 31:** CO<sub>2</sub>-emissie in duizenden tonnen rekening houdend met indirecte effecten emissiehandel, alleen non ETS emissies

CO <sub>2</sub> - uitstoot	PA1 nul- alternatief	PA2a Warmte- net tot station Heijendaal	PA2b Warmte- net tot ketelhuis UMC	PA2c Warmte- net tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmtepo- mpen met gas back- up	PA3c Extra besparing WKO en warmtepo- mpen all- electric
2017	18	16	16	15	18	17	17
2020	18	9	9	8	17	14	13
2030	17	3	3	1	15	5	1
2040	16	3	1	0	14	4	0
2050	16	3	1	0	13	4	0
2060	15	2	1	0	13	4	0
2065	14	2	1	0	12	4	0

De berekende CO<sub>2</sub> effecten van warmtelevering in dit rapport wijken af van de op basis van de uniforme maatlat en NEN 7125 berekende kwaliteitsverklaringen. Deze studie zegt uitdrukkelijk niets over de waarde en juistheid van die kwaliteitsverklaringen.

## 4.3 Gevoeligheidsanalyse

De belangrijkste aannames in de berekeningen worden hieronder in een gevoeligheidsanalyse getest op impact op de uitkomst. Tabel 33 geeft de gevoeligheidsanalyse weer. De eerste rij bevat de basisberekening, welke voor tabel 26 gebruikt is. Per rij eronder staat steeds een andere gevoeligheidsanalyse uitgewerkt. Het eerste getal is gebaseerd op het WLO Laag scenario en het tweede getal op het WLO Hoog scenario.

Als eerste valt op dat de besparingsvarianten nooit positief uitkomen; geen van de hier getoonde gevoeligheden zorgen voor een positieve uitkomst. Merk op dat een deel van de gevoeligheidsanalyses zich specifiek op het warmtenet richt.

Een lagere discontovoet, 3 procent voor alle kosten en baten, heeft meestal geen effect op het teken, met uitzondering van alternatief 2a dat van net negatief naar net positief gaat onder het WLO Laag scenario. Wel neemt bij een lagere discontovoet de hoogte van het saldo steeds toe. Een hogere discontovoet, 5,5 procent zoals gebruikt door CE omdat die tot voor kort voorgeschreven waren, verlaagt alle uitkomsten en het tweede warmtenetalternatief wordt er ook onder WLO Laag negatief door.

Lagere investeringskosten in het warmtenet (30% in verband met de door NUON/Liandon aangegeven onzekerheid), maken de warmtenetalternatieven aantrekkelijker. Het warmtenet tot station Heyendaal (PA2a) wordt hierdoor onder het WLO Laag scenario aantrekkelijk. Een 30 procent hogere investeringskosten verlaagt uiteraard alle saldi, alle warmtenetalternatieven worden hierdoor ook onder het WLO Laag scenario negatief.

Hogere dan wel lagere autonome energiebesparing (respectievelijk 0 en 1 procent), verlaagt dan wel verhoogt alle saldi, maar nergens het teken van het saldo (positief dan wel negatief).

Tot slot is onzeker of alle panden die nu in het onderzoek meegenomen worden daadwerkelijk aangesloten worden op het warmtenet als dat aangelegd wordt of niet (pandeigenaren mogen daar voor kiezen). Het merendeel van de kosten van aanleg blijven gelijk (zo moet de transportleiding helemaal worden aangelegd). Daarom is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met 10 procent lagere kosten voor de aanleg van het netwerk en 30 procent lagere vraag. Hierbij dalen de saldi voor de warmtenetalternatieven en worden de saldi ook onder het WLO Laag scenario negatief.

Conclusie: de uitkomst van de warmtenetalternatieven lijkt vooral gevoelig voor hogere investeringskosten en voor lagere dan nu geplande deelname aan het warmtenet, dan worden de tekens van de saldi negatief onder WLO Laag scenario, terwijl de saldi onder het WLO Hoog scenario al negatief waren. De besparingsalternatieven blijven altijd negatief scores.

Tabel 32: Resultaten gevoeligheidsanalyses

	PA2a Warmte- net tot station Heijendaal	PA2b Warmte- net tot ketelhuis UMC	PA2c Warmte- net tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmte- pompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmte- pompen all-electric
Basisscenario	-1 a -3	4 a -5	7 a -6	-12 a -14	-6 a -12	-49 a -57
Discontovoet 3%	3 a -9	10 a -12	15 a -14	-11 a -16	-2 a -18	-53 a -74
Discontovoet 5,5% en 4 % voor natuur en milieu	-4 a -8	0 a -9	2 a -11	-12 a -15	-9 a -15	-48 a -56
Investeringskosten warmtenet 30 procent lager dan begroot	5 a 3	11 a 2	15 a 1	-12 a -14	-6 a -12	-49 a -57
Investeringskosten warmtenet 30 procent hoger dan begroot	-7 a -9	-2 a -12	0 a -14	-12 a -14	-6 a -12	-49 a -57
Autonome energiebesparing 0%	2 a 0	8 a -1	11 a -3	-10 a -13	-3 a -9	-46 a -53
Autonome energiebesparing 1%	-3 a -6	2 a -8	4 a -9	-13 a -16	-9 a -15	-52 a -60
Minder aansluitingen op het warmtenet	-6 a -8	-3 a -10	-2 a -12	-12 a -14	-6 a -12	-49 a -57

## 4.4 Verdelingseffecten

In paragraaf 4.2 zijn steeds de totale effecten gepresenteerd en is geen onderscheid gemaakt naar wie een kost betaalt of wie profiteert van een baat. In werkelijkheid zal de verdeling van kosten en baten niet gelijk zijn over de betrokken actoren. Daarom presenteert deze paragraaf de verdeling van de kosten en baten over drie groepen, namelijk de eindgebruikers (de afnemers van gas/warmte en elektriciteit), de energiebedrijven (zowel de netwerk bedrijven als de commerciële energiebedrijven inclusief de ARN) en de rijksoverheid. Een gedetailleerdere indeling is niet zinvol omdat van veel kosten en baten nog niet bekend is welk bedrijf deze daadwerkelijk doet en nog niet duidelijk is wat de gerekende tarieven gaan worden. Hierdoor is de hieronder gepresenteerde verdeling dan ook een voorlopige.

De meeste investeringen en exploitatiekosten worden door de eindverbruikers gemaakt. De enige uitzondering zijn de investering en exploitatie van het warmtenet die door het energiebedrijf gebeuren. De met het warmtenet samenhangende kosten van gasgebruik voor hulpwarmtecentrales, elektriciteit voor de pompen en elektriciteitsderving bij de ARN komen ook bij het energiebedrijf terecht.

In de berekening rekenen we 95 procent van de uitgespaarde investeringen en exploitatiekosten in ketels toe aan het energiebedrijf, en 5 procent aan de eindverbruikers. Dit sluit aan bij de huidige praktijk waarin eindverbruikers aangesloten op een warmtenet een aansluitbijdrage en vastrecht betalen. We gaan ervan uit dat deze iets lager zijn dan de uitgespaarde kosten bij de eindverbruikers om aansluiting op het warmtenet voor eindverbruikers aantrekkelijk te maken.

De gedeerde energiebelasting aardgas en de extra energiebelasting elektriciteit komen bij de rijksoverheid terecht.

Qua baten zijn de baten van minder emissies van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en PM10 ook bij de Rijksoverheid als vertegenwoordiging van alle Nederlanders opgeteld. De gasbesparing komt bij de eindgebruikers terecht in geval van energiebesparing (hier hebben de eindgebruikers ook de investering betaald). Bij de gasbesparing door warmtelevering is aangenomen dat hiervan 95 procent bij het energiebedrijf terecht komt en 5 procent bij de eindverbruikers komt. De logica hierachter is dat het energiebedrijf een rekening stuurt aan de eindverbruikers voor de warmte die de eindverbruikers afnemen, waarbij de warmte niet meer dan anders mag kosten en het energiebedrijf de eindverbruikers moet overhalen aan te sluiten op het warmtenet.

Bijlage C geeft de precieze verdeling van kosten en baten over drie groepen weer.

Tabel 34 en 35 geven de contante waarde over 50 jaar van de effecten voor de drie groepen weer, tabel 34 uitgaande van fysieke emissies en tabel 35 rekening houdend met indirecte effecten emissiehandel. Hierbij is het eerste cijfer per alternatief de waarde als uitgegaan wordt van het WLO Laag scenario en het tweede getal is de waarde onder het WLO Hoog scenario.

**Tabel 33:** verdeling van kosten en baten over Energiebedrijf, eindverbruikers en het rijk (miljoen euro, prijspeil 2016). Periode 2016-2065. **Geen rekening houdend met indirecte effecten emissiehandel**

	PA2a Warmtenet tot station Heijendaal	PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC	PA2c Warmtenet tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmte- pompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmte- pompen all-electric
Energiebedrijf	25 a 4	32 a 2	38 a 3	0 a 0	0 a 0	0 a 0
Eindverbruikers	5 a 4	6 a 5	7 a 6	-8 a -13	14 a -9	-22 a -53
Rijksoverheid	-36 a -31	-40 a -32	-44 a -35	-4 a 2	-22 a -10	-30 a -16
Totaal	-6 a -23	-1 a -25	2 a -26	-11 a -12	-8 a -19	-52 a -68

**Tabel 34:** verdeling van kosten en baten over Energiebedrijf, eindverbruikers en het rijk (miljoen euro, prijspeil 2016). Periode 2016-2065. **Rekening houdend met indirecte effecten emissiehandel**

	PA2a Warmtenet tot station Heijendaal	PA2b Warmtenet tot ketelhuis UMC	PA2c Warmtenet tot Houtlaan	PA3a Extra besparing en WKO	PA3b Extra besparing WKO en warmte- pompen met gas back-up	PA3c Extra besparing WKO en warmte- pompen all-electric
Energiebedrijf	25 a 4	32 a 2	38 a 3	0 a 0	0 a 0	0 a 0
Eindverbruikers	5 a 4	6 a 5	7 a 6	-8 a -13	14 a -9	-22 a -53
Rijksoverheid	-30 a -11	-34 a -12	-38 a -15	-4 a -1	-20 a -3	-27 a -4
Totaal	-1 a -3	4 a -5	7 a -6	-12 a -14	-6 a -12	-49 a -57

In de besparingsalternatieven heeft het energiebedrijf geen rol en heeft dan ook een saldo van 0. In de warmtenet alternatieven profiteert het energiebedrijf van de aanleg, waarbij het meer profiteert onder het WLO laag scenario met hoge gasprijzen en dus ook hogere warmtetarieven dan onder het WLO Hoog scenario met lage gasprijzen en lage warmtetarieven. De eindverbruikers gaan er bij een warmtenet altijd op vooruit, gezien onze aanname dat de kosten lager moeten zijn dan in het nulalternatief om hen te verleiden zich op het warmtenet aan te sluiten. In de besparingsalternatieven gaan de eindgebruikers er bijna altijd flink op achteruit, de uitzondering is alternatief 3b onder het WLO Laag scenario. In de warmtenet alternatieven en de besparingsalternatieven gaat de overheid er altijd op achteruit. De misgelopen energiebelasting overtreft de CO<sub>2</sub>-baten.

## 4.5 Conclusies

De onderzoeksvraag in deze MKBA is:

*Wat zijn de maatschappelijke kosten en baten van verduurzaming van de warmtevoorziening van de gebouwen langs tracé 2 en op de Radboud campus?*

In dit hoofdstuk zijn voor verschillende projectalternatieven voor verduurzaming van de warmtevoorziening de maatschappelijke kosten en baten bepaald. Naast warmtelevering vanuit de ARN is gekeken naar extra besparing en WKO en de toepassing van warmtepompen. Er zijn verschillende alternatieven voor het warmtenet uitgewerkt, met en zonder aansluiting van de Radboudcampus en op de Radboudcampus alleen aansluiting van het ketelhuis van het UMC of ook aansluiting van individuele (nu verketelde) gebouwen.

De maatschappelijke kosten van warmtelevering bestaan uit de investering- en exploitatiekosten van een warmtenet en een investering in hulpwarmteketels, gasverbruik voor hulpwarmteketels, elektriciteitsverbruik van pompen en derving van elektriciteitsproductie bij de ARN en gedeelde energiebelasting op aardgas. De kosten van de andere projectalternatieven bestaan uit investering- en exploitatiekosten in

besparingsmaatregelen, WKO en warmtepompen en de kosten van extra elektriciteitsverbruik. De baten bestaan uit gasbesparing, CO<sub>2</sub>-reductie en reductie van overige emissies. In projectalternatieven met warmtepompen komt daar extra energiebelasting op elektriciteit bij.

Van alle projectalternatieven zijn de kosten en baten per jaar uitgerekend over een periode van 50 jaar en verdisconteerd naar huidige (contante) waarden. De kosten en baten zijn sterk afhankelijk van de ontwikkeling van gas-, elektriciteit- en CO<sub>2</sub>-prijzen. We gebruiken daarvoor twee scenario's uit de Welvaart en leefomgeving studie (WLO) van het CPB en PBL. Een belangrijk verschil tussen WLO Laag en WLO Hoog zit in het gevoerde mondiale klimaatbeleid. Dit is in WLO Hoog veel steviger dan in WLO Laag. Daardoor is er in WLO Hoog minder vraag naar aardgas en is de gasprijs lager dan in WLO Laag. De elektriciteitsprijs en de CO<sub>2</sub>-prijs zijn juist hoger in WLO Hoog. De WLO Laag en WLO Hoog scenario's schetsen de twee meest waarschijnlijke ontwikkelingen voor Nederland in de komende decennia. Tegelijkertijd geven CPB en PBL aan dat het mogelijk is dat er stringenter klimaatbeleid gevoerd gaat worden dan nu verwacht wordt. Hiervoor hebben ze een alternatief CO<sub>2</sub>-prijspad bedacht, het zogenaamde twee graden scenario.

De CO<sub>2</sub>-baten kunnen op 2 verschillende manieren worden berekend: door uit te gaan van de fysieke CO<sub>2</sub>-reductie, dan wel rekening te houden met de indirecte effecten van emissiehandel. Daar waar in de CO<sub>2</sub>-baten rekening is gehouden met emissiehandel is alleen de CO<sub>2</sub>-reductie door gasbesparing bij niet emissiehandel deelnemers meegenomen. Gasbesparing van het UMC en de RU wordt in de CO<sub>2</sub>-baten dan niet meegenomen omdat zij als emissiehandel deelnemers ook onder het emissieplafond vallen. Rekening houdend met emissiehandel wordt gedeerde elektriciteitsproductie door warmtelevering bij de ARN, en extra elektriciteitsverbruik van warmtepompen ook niet meegenomen omdat dit geproduceerd wordt door elektriciteitscentrales die vallen onder emissiehandel met één emissieplafond. Ook het gasverbruik van hulpwarmteketels bij warmtelevering wordt in de berekening van de CO<sub>2</sub>-baten niet meegenomen omdat zij ook onder het emissiehandelssysteem vallen.

### **Resultaten alleen gebaseerd op fysieke CO<sub>2</sub>-reductie**

Qua resultaten valt op dat alle projectalternatieven een negatief saldo hebben onder de twee WLO scenario WLO Laag en WLO Hoog, de kosten zijn dan hoger dan de maatschappelijke baten. Alleen projectalternatief 2c (het langste warmtenet alternatief) heeft een positief saldo onder WLO laag door de hoge gasprijzen.

Onder een twee graden scenario met hoge CO<sub>2</sub>-prijzen zijn de warmtenet alternatieven met aansluiting van de Radboud campus (PA2b en PA2c) en de twee besparingsalternatieven PA3a en PA3b maatschappelijk aantrekkelijk. Alleen alternatief PA2a (het kortste warmtenet) en PA3c (extra besparing en all-electric warmtepompen) scoren negatief. De besparingsalternatieven scoren beter dan de warmtenet alternatieven.



### **Resultaten rekening houdend met emissiehandel**

Wanneer we rekening houden met de indirecte effecten van emissiehandel, verbetert het saldo van maatschappelijke kosten en baten van de verschillende projectalternatieven. De CO<sub>2</sub>-baten zijn hoger doordat gedeelde elektriciteitsproductie door warmtelevering bij de ARN en extra elektriciteitsverbruik van warmtepompen worden gecompenseerd onder het emissieplafond. Alleen bij projectalternatief 2a verslechterd het saldo doordat de gasbesparing op de Radboudcampus als deelnemer aan emissiehandel niet wordt meegenomen. Toch blijft het saldo van kosten en baten negatief voor de meeste projectalternatieven onder de twee WLO scenario WLO Laag en WLO Hoog. Alleen de twee warmtenet alternatieven met aansluiting van de Radboud campus (PA2b en PA2c) scoren positief onder WLO laag door de hoge gasprijzen.

Onder een twee graden scenario met hoge CO<sub>2</sub>-prijzen en rekening houdend met de indirecte effecten van emissiehandel zijn alle projectalternatieven maatschappelijk aantrekkelijk, behalve projectalternatief PA2a besparing in de gebouwen langs het tracé en extra WKO op de Radboud campus .

### **Onzekerheden**

Door afvalbeleid en overcapaciteit in de afvalverwerking is het onzeker hoe lang de ARN nog warmte kan leveren. Het risico bestaat dat op termijn (na 20 of 30 jaar) geïnvesteed moet worden in een nieuwe duurzame warmtebron, zoals geothermie of biomassa. Dat betekent tientallen miljoenen euro's investeringskosten die nu nog niet in de kosten-batenanalyse zijn meegenomen.

Er zijn nog twee relatief grote onzekerheden in de data. De kostengegevens van het warmtenet zijn door Nuon/Liandon alleen in zeer condense vorm verstrekt en konden daarom niet kwalitatief getoetst worden.

Besparingen langs het tracé zijn desk research inschattingen. Zonder dat gebouwen geschouwd zijn en gekeken is welke maatregelen nodig en/of aantrekkelijk zijn, is hiervan op basis van leeftijd en energieverbruik een inschatting gemaakt. De mogelijkheden van energiebesparing in detail per gebouw uitzoeken viel buiten de opdracht, maar het precies nagaan welke maatregelen bij welke gebouwen aantrekkelijk zijn kan wel een aantrekkelijk besparingsalternatief op leveren. Hierbij kan dan tevens aandacht zijn voor de kostenschattingen van WKO's en WPen in utiliteitsbouw waar erg weinig informatie over beschikbaar is en kosten voor verzwarende van het elektriciteitsnet.

# Bijlage A. Gebouwen in verschillende projectalternatieven

Tabel 35: Gebouwen langs het tracé

nr.	Naam	Adres	*	Warmte toepassing in verschillende project alternatieven					
				PA1	PA2a	PA2b	PA2c	PA3a	PA3b
0	Stedelijk Gymnasium Nijmegen en kantoren	Kronenburgersingel 269/Nieuwe Marktstraat 54-56	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
1	Politie Nijmegen Hoofdbureau	Stieltjesstraat 1	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
2	Voormalig kantoor Belastingen	Stieltjesstraat 2	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
3	Metterswane kantoor en appartementen particulier	Stationsplein 21	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
4	Stadsregio Arnhem Nijmegen en 15 woningen	Stationsplein 26/Van Schaek Mathonsingel 111	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
5	Appartementen particulier	Burgemeester Hustinxstraat	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
6	Stadsschouwburg Nijmegen	Keizer Karelplein 269	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
7	Mercure Hotel Nijmegen Centre	Stationsplein 29	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
8	Talis - van Diemerbroeckstraat	van Diemerbroeckstraat 1-151	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
9	Centraal Station Nijmegen	Stationsplein 6	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
13	SSHN Galgenveld (meerdere gebouwen)	Oude Groenewoudseweg 8	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
21	GGD	Groenewoudseweg 275	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
22	Brandweer	Professor Bellefroidstraat 11	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
23	SSHN - De gouverneur	Professor Bellefroidstraat	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
24	Bedrijfsgebouw gezondheidzorg	Professor Bellefroidstraat 22	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
25	Olround bowling	Heyendaalseweg	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
27	Kleijn Heyendaal (twee gebouwen)	Professor Huijbersstraat	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
28	HAN	Professor Molkenboerstraat 3	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
29	School SGN	Groenewoudseweg 1-3	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
30	Neijvelt - woonzorg	Heyendaalseweg 113	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
32	SSHN Hoogveldt (meerder gebouwen)	Professor Bromstraat	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
36	Albertine Klooster	Heyendaalseweg 123-125	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
37	SSHN Proosdij	Minervaplaats	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
41	SSHN Sterrenbosch	Platolaan 682	A	gas	gas	gas	warmtenet	gas	WP
45	Woningbouwstichting De Gemeenschap	Woningbouwstichting De Gemeenschap	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP

nr.	Naam	Adres	*	Warmte toepassing in verschillende project alternatieven					
				PA1	PA2a	PA2b	PA2c	PA3a	PA3b
46	Limos terrein	Limos terrein	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
69	De gemeenschap/Standvast/Oud Burger gasthuis	Archipelstraat 103/Professor Cornelissenstraat 2/4	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
72	Stichting Conexus (51 woningen)	Archipelhof 15	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
73	Stichting De Waalboog, Joachem en Anna	Groesbeekseweg 327	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
75	School (tijdelijk)	Vlierestraat 3	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
76	School (tijdelijk)	Elzenstraat 4	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
84	ROOMS-KATHOLIEKE PAROCHIE HEILIGE STEFANUS	Professor Molkenboerstraat 5	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
85	NSG school	Van Cranenborchstraat 7	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
87	HAN school	Laan van Scheut 10	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
88	SSHN cooperatie kantoor	Laan van Scheut 3	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
89	HAN school	Laan van Scheut 2	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
91	HAN school	Kapittelweg 33	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP
93	HAN school	Verlengde Groenestraat 75	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	WP

\*) Aansluiting op warmte net: A in fase tot 2020, B tussen 2020 en 2030.

**Tabel 36:** Gebouwen langs het tracé - zonder collectieve ketel

nr	Naam	Adres	*	Warmte toepassing in verschillende project alternatieven					
				PA1	PA2a	PA2b	PA2c	PA3a	PA3b
44	Castella - Talis	Castellastraat 29	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
70	Standvast Wonen	Professor Cornelissenstraat 256	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
71	Appartementen complex particulier (43 woningen)	Molukkenstraat 3	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
77	Standvastwonen en supermarkt/winkels	Van 't Santstraat 342	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
78	Appartementencomplex 84 woningen en zorginstelling	Thijmstraat 7	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
79	Talis cooperatie (77 woningen)	Thijmstraat 9	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
80	Kantoorgebouw (6 objecten)	St. Annastraat 198	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
81	Bedrijfsverzamelgebouw (35 objecten)	Gorterplaats 24	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
82	ROC school	Heyendaalseweg 98	B	gas	gas	warmtenet	warmtenet	gas	gas
86	woningcomplex particulieren	Rode Kruislaan 2	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
96	Vilandry 54 appartementen	Vilandry	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas

\*) Aansluiting op warmte net: A in fase tot 2020, B tussen 2020 en 2030.

**Tabel 37:** Gebouwen langs het tracé - die eerder niet mee werden genomen

nr	Naam	Adres	*	Warmte toepassing in verschillende project alternatieven					
				PA1	PA2a	PA2b	PA2c	PA3a	PA3b
103	Bellefroidstraatgebied	Heyendaalseweg 94A	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
77	Kringel	Nieuwe Marktstraat 44	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
91	Kringel	Kronenburgersingel 249	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
93	Kringel	Kronenburgersingel 257	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
94	Kringel	Stieltjesstraat 75	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
98	Kringel	Stieltjesstraat 119	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
100	Kringel	Stieltjesstraat 161	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
75	Museumgebied	Van Schaeck Mathonsingel 4	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
78	Museumgebied	Nassausingel 3	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
25	Nimbusgebied	Spoorstraat 30	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
33	Nimbusgebied	Vredestraat 143	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
36	Nimbusgebied	Kronenburgersingel 23	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
72	Nimbusgebied	Kronenburgerplaats 25	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
53	Ruyterstraat gebied	Castellastraat 22	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
54	Ruyterstraat gebied	Castellastraat 116	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
65	Ruyterstraat gebied	Graafsedwardsstraat 48	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
71	Ruyterstraat gebied	Graafsedwardsstraat 32	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
76	Ruyterstraat gebied	Graafseweg 101	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
4	Stationsplein 9	Stationsplein	A	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
79	Vondelstraatgebied	Graafseweg 104	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
92	Vondelstraatgebied	Vondelstraat 127	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
101	Vondelstraatgebied	Vondelstraat 75	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas
105	Vondelstraatgebied	Van Diemerbroeckstraat 227	B	gas	warmtenet	warmtenet	warmtenet	gas	gas

\*) Aansluiting op warmte net: A in fase tot 2020, B tussen 2020 en 2030.

Tabel 38: Gebouwen UMC<sup>48</sup>

Gebouwcode	Naam	Adres	Warmte toepassing in verschillende project alternatieven					
			PA1	PA2a	PA2b	PA2c	PA3a	PA3b
M103	Kasteeltje UMCN		ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M149	Rijwielstalling onder M230	Kapittelweg 40	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M196	M196 Unv, Cen. Infvoorz	Geert Grootplein zuid 41	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M205	M205 Preklinisch instituut	Geert Grootplein noord 21	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M220	M220 Centraal dierenlaboratorium	Geert Grootplein noord 29	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M221	M221 Malaria laboratorium	Geert Grootplein noord 29	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M230	M230 Studiecentrum UMC	Geert Grootplein noord 21	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	WKO	WKO
M232	M232 De Aesculaaf	Geert Grootplein noord 21	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	WKO	WKO
M236	M236 Fysiologie	Geert Grootplein noord 21	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	WKO	WKO
M244	M244 Fysica	Geert Grootplein noord 21	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	WKO	WKO
M245	M245 Anatomie	Geert Grootplein noord 21	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	WKO	WKO
M260	M260 Onderwijscentrum	Geert Grootplein noord 15	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	WKO	WKO
M320	M320 Diagnostiekgebouw	Geert Grootplein zuid 10	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M325	M325 Gebouw Vrouw en Kind	Geert Grootplein zuid 10	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M362	M362 Tandheekunde	Philips van Leydenlaan 25/Erasmuslaan 1	gas	gas	gas	warmtenet	WKO	WKO
M363	M363 Studiecentrum tandheekunde	Philips van Leydenlaan 25/Erasmuslaan 1	gas	gas	gas	warmtenet	WKO	WKO
M367	M367 Geestelijke GezondheidsZorg (GGZ)	Reinier Postlaan 6	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M368	M368 Psychiatrie	Reinier Postlaan 10	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M369	M369 Karakter	Reinier Postlaan 12	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M386	M386 Sanquin bloedbank	Geert Grootplein zuid 34	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M387	M387 Radiotherapie	Geert Grootplein zuid 32	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M510	M510 Parkeergarage Geert Grootplein	Geert Grootplein zuid 10	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M520	M520 Parkeergarage Oost	Eduard Noyenslaan 3	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M680	M680 Verpleeggebouw E	Geert Grootplein zuid 10	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M712	M712 Transitorium	Gerard van Swietenlaan 4	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis

<sup>48</sup> Rode kleur en tekst “ketelhuis” betekent dat het gebouw in dit projectalternatief via het ketelhuis van het UMC wordt aangesloten op het warmtenet, een rode kleur en de tekst “warmtenet” betekent dat het gebouw een individuele aansluiting op het warmtenet krijgt.

Gebouwcode	Naam	Adres	Warmte toepassing in verschillende project alternatieven					
			PA1	PA2a	PA2b	PA2c	PA3a	PA3b
M850	M850 Researchgebouw 1	Geert Groteplein zuid 26-28	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis
M873	M873 Bedrijvencentrum	FC Donderslaan 2	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis

**Tabel 39:** Gebouwen RU<sup>49</sup>

Gebouwcode	Naam	Adres	Warmte toepassing in verschillende project alternatieven					
			PA1	PA2a	PA2b	PA2c	PA3a	PA3b
H015	Aula	Comeniuslaan 2	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
H0281	Universiteitsbibliotheek	Erasmuslaan 36	gas	gas	gas	warmtenet	besp+WKO	besp+WKO
C0900	Werf GWT	Erasmuslaan 5	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
U04	Paviljoen & Studentenkerk	Erasmuslaan 9	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
H0511 / H0512	Erasmusgebouw hoog	Erasmusplein 1 en 3	gas	gas	gas	warmtenet	besp+WKO	besp+WKO
M196	Forum	Geert Groteplein 41	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	warmtenet	besp+WKO	besp+WKO
M103	Huize Heyendael (Kasteeltje)	Geert Groteplein 9	ketelhuis	ketelhuis	ketelhuis	warmtenet	ketelhuis	ketelhuis
U21	Berchmanianum	Houtlaan 4	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
M291	Trigon	Kapittelweg 29	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
H053	Collegезalencomplex / Thomas van Aquinogebouw	Mercatorpad 1	gas	gas	gas	warmtenet	besp+WKO	besp+WKO
U20	Kassencomplex proeftuin en genenbank	Toernooiveld	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
W36B	Mercator III	Toernooiveld 1	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
W58	Valkenburg (UBC)	Toernooiveld 100 t/m 154	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
U08	Kinderdagverblijf II	Toernooiveld 15	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
S050	Mercator 1	Toernooiveld 200 t/m 208	gas	gas	gas	warmtenet	besp+WKO	besp+WKO
U01	Mercator II	Toernooiveld 300 t/m 318	gas	gas	gas	warmtenet	besp+WKO	besp+WKO
W42	Transitorium	Toernooiveld 5	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
U02	HFML (magnetenlab)	Toernooiveld 7	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
U15	FEL gebouw	Toernooiveld 7	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
U10	Nanolab	Toernooiveld 7B	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp

<sup>49</sup> Rode kleur en tekst “ketelhuis” betekent dat het gebouw in dit projectalternatief via het ketelhuis van het UMC wordt aangesloten op het warmtenet, een rode kleur en de tekst “warmtenet” betekent dat het gebouw een individuele aansluiting op het warmtenet krijgt.

W53	Kinderdagverblijf (I)	Toernooiveld 9	gas	gas	gas	warmtenet	extra besp	extra besp
-----	-----------------------	----------------	-----	-----	-----	-----------	------------	------------

# Bijlage B. Warmtevraag en vermogen

Tabel 40: Warmtevraag en vermogen gebouwen langs het tracé

nr	Naam	Bouwjaar	Gebr_opp [m <sup>2</sup> ]	Functie	Warmteverbruik [GJ/jaar]	Vermogen [kW]	Label
0	Stedelijk Gymnasium Nijmegen en kantoren	1884	18.181	Onderwijsfunctie	3.266	864	
1	Politie Nijmegen Hoofdbureau	1998	15.135	Kantoorfunctie	6.258	1.391	
2	Voormalig kantoor Belastingen	1973	10.390	Kantoorfunctie	4.526	1.006	
3	Metterswane kantoor en appartementen particulier	nieuwbouw		Kantoorfunctie / woonfunctie	8.713	1.936	
4	Stadsregio Arnhem Nijmegen en 15 woningen	1962	4.291	Woonfunctie / winkelfunctie	2.014	414	
5	Appartementen particulier	1980	6.256	Woonfunctie	2.936	544	C
6	Stadsschouburg Nijmegen	1961	12.462	Bijeenkomstfunctie	3.390	1.883	
7	Mercure Hotel Nijmegen Centre	1983	4.617	Logiesfunctie	4.400	1.222	
8	Talis - van Diemerbroeckstraat	1980	6.993	Woonfunctie	2.728	505	D
9	Centraal Station Nijmegen	1955	15.168	Bijeenkomstfunctie	6.758	3.755	
13	SSHN Galgenveld (meerdere gebouwen)	1969		Woonfunctie	11.619	2.152	C
21	GGD	1981	5.200	Kantoorfunctie	3.333	741	
22	Brandweer	1980	6.521	Brandweer / kantoor functie	5.826	1.295	
23	SSHN - De gouverneur	2009		Woonfunctie	3.882	719	A
24	Bedrijfsgebouw gezondheidszorg	1980	1.112	Gezondheidszorg	556	88	
25	Olround bowling	1974	3.293	woonfunctie/ winkelfunctie	1.545	318	
27	Kleijn Heyendaal (twee gebouwen)	1959	2.393	Onderwijs	1.066	282	
28	HAN	1985	3.627	Onderwijsfunctie	1.616	428	
29	School SGN	1959	7.464	Onderwijsfunctie	3.326	880	
30	Neijvelt - woonzorg	1971	11.252	Gezondheidszorg	6.677	1.060	
32	SSHN Hoogveldt (meerder gebouwen)	1970	28.000	Woonfunctie	13.240	2.452	C
36	Albertine Klooster	1930	9.000	Woonfunctie	6.513	1.206	geen
37	SSHN Proosdij	1983	10.482	Woonfunctie	7.094	1.314	C
41	SSHN Sterrenbosch	2006	18.827	Woonfunctie	12.187	2.257	A
45	Woningbouwstichting De Gemeenschap	1928	-	Woonfunctie	20.353	3.769	
46	Limos terrein	2000	-	Woonfunctie	22.306	4.131	B?
69	De gemeenschap/Standvast/Oud Burger gasthuis	1966	6.760	Woonfunctie	3.173	588	
72	Stichting Conexus (51 woningen)	1983	2.149	Woonfunctie	1.009	187	



nr	Naam	Bouwjaar	Gebr_opp [m <sup>2</sup> ]	Functie	Warmteverbruik [GJ/jaar]	Vermogen [kW]	Label
73	Stichting De Waalboog, Joachem en Anna	1963	12.373	Gezondheidszorg	13.089	2.078	
75	School (tijdelijk)	1959	3.015	Onderwijsfunctie	1.343	355	
76	School (tijdelijk)	1981	662	Onderwijsfunctie	1.106	293	
84	ROOMS-KATHOLIEKE PAROCHIE HEILIGE STEFANUS	1952	5.683	Bijeenkomstfunctie	2.532	1.407	
85	NSG school	1963	7.200	Onderwijsfunctie	3.204	848	
87	HAN school	2011	13.002	Onderwijsfunctie	7.200	1.905	
88	SSHN coöperatie kantoor	1990	1.078	Kantoorfunctie	276	61	
89	HAN school	1998	6.837	Onderwijsfunctie	3.046	806	
91	HAN school	2003	30.767	Onderwijsfunctie	7.702	2.038	
93	HAN school	1923	4.614	Onderwijsfunctie	1.845	488	
					211.653	47.665	

87, 89, 91, 93 is 27 % meer dan de HAN zelf opgeeft. We moeten het doen met deze cijfers van gebouwen langs het tracé maar de vraag blijft hoe betrouwbaar ze zijn.

**Tabel 41:** Warmtevraag en vermogen gebouwen langs het tracé - zonder collectieve ketel

nr	Naam	Bouwjaar	Gebr_opp [m <sup>2</sup> ]	Functie	Warmteverbruik [GJ/jaar]	Vermogen [kW]	Label
44	Castella - Talis	2013	7285		2578	530	
70	Standvast Wonen		3077		3077	633	
71	Appartementencomplex particulier (43 woningen)		7997		3753	772	
77	Standvastwonen en supermarkt/winkels		7293		3423	704	
78	Appartementencomplex 84 woningen en zorginstelling		10451		4905	1009	
79	Talis cooperatie (77 woningen)		4729		2219	457	
80	Kantoorgebouw (6 objecten)		4895		2297	473	
81	Bedrijfsverzamelgebouw (35 objecten)		13282		3945	877	
82	ROC school		0		9797	2592	
86	woningcomplex particulieren		0		3666	755	
96	Vilandry 54 appartementen		8640		3456	711	
					43116	9513	

Tabel 42: Warmtevraag en vermogen gebouwen langs het tracé – eerder niet meegenomen

nr	Naam	Bouwjaar	Gebr_opp [m <sup>2</sup> ]	Functie	Warmteverbruik [GJ/jaar]	Vermogen [kW]	Label
103	Heyendaalseweg 94A			Bellefroidstraatgebied	469	104	
77	Nieuwe Marktstraat 44			Kringel	1243	265	
91	Kronenburgersingel 249			Kringel	1076	221	
93	Kronenburgersingel 257			Kringel	1031	212	
94	Stieltjesstraat 75			Kringel	1022	210	
98	Stieltjesstraat 119			Kringel	845	174	
100	Stieltjesstraat 161			Kringel	774	159	
75	Van Schaeck Mathonsingel 4			Museumgebied	1194	265	
78	Nassausingel 3			Museumgebied	1150	256	
25	Spoorstraat 30			Nimbusgebied	4224	869	
33	Vredestraat 143			Nimbusgebied	3736	769	
36	Kronenburgersingel 23			Nimbusgebied	3484	717	
72	Kronenburgerplaats 25			Nimbusgebied	1427	294	
53	Castellastraat 22			Ruyterstraat gebied	2399	494	
54	Castellastraat 116			Ruyterstraat gebied	2123	491	
65	Graafsedwarsstraat 48			Ruyterstraat gebied	2518	400	
71	Graafsedwarsstraat 32			Ruyterstraat gebied	1441	296	
76	Graafseweg 101			Ruyterstraat gebied	474	263	
4	Stationsplein			Stationsplein 9	14426	2968	
79	Graafseweg 104			Vondelstraatgebied	1118	249	
92	Vondelstraat 127			Vondelstraatgebied	1047	215	
101	Vondelstraat 75			Vondelstraatgebied	657	135	
105	Van Diemerbroeckstraat 227			Vondelstraatgebied	399	82	
					48.277	10.108	

**Tabel 43: Warmtevraag en vermogen gebouwen UMC**

	Warmteverbruik		Vermogen
	MWh	[GJ/jaar]	[MW]
Alle gebouwen aangesloten op warmtenet			
2020	28.000	100.800	17,3
2022	21.000	75.600	13

**Tabel 44: Warmtevraag en vermogen gebouwen RU**

		Bouwjaar	Gebr_opp [m <sup>2</sup> ]	Warmteverbruik [GJ/jaar]	Vermogen [kW]	Bouwjaar ketel
H015	Aula	1988	2575	481	370	?
H0281	Universiteitsbibliotheek	1966	15650	2.886	1.395	2012
C0900	Werf GWT	1996	657	165	?	?
U04	Paviljoen & Studentenkerk	1967	1806	722	?	?
H0511 /H0512	Erasmusgebouw hoog en laag	1973	24323	10.524	3.400	2012
M196	Forum	1973	8978	Ketelhuis UMC-	n.v.t	n.v.t
M103	Huize Heyendael (Kasteeltje)		3697	Ketelhuis UMC-	n.v.t	n.v.t
U21	Berchmanianum	1929	7224	3.007	575	
M291	Trigon	1988	8292	2.405	1.540	2011
H053	Collegezalencomplex / Thomas van Aquinogebouw	1977	4091	1.503	615	2015
U20	Kassencomplex proeftuin en genenbank	2014	3025	1.203	2.370	2013
W36B	Mercator III	1968/2009	12249	8.419	1.677	2014
W58	Valkenburg (UBC)	1970	2094	1.804	362	2010
U08	Kinderdagverblijf II	2003	1746	902	incl. U20	1982/2000
S050	Mercator 1	1998	5343	2466	660	
U01	Mercator II	2001	6307	1.564	642	2010
W42	Transitorium	1966	3966	902	535	2010
U02	HFML (magnetenlab)	2002	5163	1.323	320	2010
U15	FEL gebouw	2011/2012	2088	421	123	2002
U10	Nanolab	2005	464	150	123	2012
W53	Kinderdagverblijf (I)	1991/98	980	661	incl. U20	2005
				41.508	14.707	

# Bijlage C. Kostenverdeling

Tabel 45: Verdeling kosten en baten naar energiebedrijf, eindgebruikers en Rijk

	Warmtenet (2a, 2b, 2c)			Besparing (3a, 3b, 3c)		
	Energie- bedrijf	Eind- verbruikers	Rijk	Energie- bedrijf	Eind- verbruikers	Rijk
Kosten						
Investerings in collectieve ketel	0,95	0,05	0	0	1	0
Investerings in warmtenet	1	0	0	1	0	0
Investerings in warmtepomp	0	1	0	0	1	0
Investerings in WKO	0	1	0	0	1	0
Investerings in besparingen	0	1	0	0	1	0
Exploitatiekosten collectieve ketel	0,95	0,05	0	0	1	0
Exploitatiekosten warmtenet	1	0	0	1	0	0
Exploitatiekosten warmtepomp	0	1	0	0	1	0
Exploitatiekosten WKO	0	1	0	0	1	0
Exploitatiekosten besparingen	0	0	0	0	0	0
Gasverbruik hulpwarmtekets	1	0	0	1	0	0
Elektriciteitsverbruik pompen warmtenet	1	0	0	1	0	0
Elektriciteitsderving ARN	1	0	0	1	0	0
Elektriciteitsvraag	0	1	0	0	1	0
Elektriciteitsvraag	0	1	0	0	1	0
Elektriciteitsvraag	0	1	0	0	1	0
Gederfde energiebelasting	0	0	1	0	0	1
Extra energiebelasting op gestegen elektriciteitsgebruik	0	0	1	0	0	1
Totale baten	0	0	0	0	0	0
Gasbesparing RU	0,95	0,05	0	0	1	0
Gasbesparing UMC	0,95	0,05	0	0	1	0
Gasbesparing langs het tracé	0,95	0,05	0	0	1	0
ETS emissiereductie						
Non ETS emissiereductie						
Waarde totale CO <sub>2</sub> -reductie	0	0	1	0	0	1
NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , PM10	0	0	1	0	0	1
Saldo						

**ECN**

Westerduinweg 3  
1755 LE Petten

Postbus 1  
1755 LG Petten

T 088 515 4949  
F 088 515 8338  
info@ecn.nl  
www.ecn.nl

