

Memo kengetallen Warmtetoel studie

Documentnummer P10133-GDB-M01 Datum 21-11-2023

Klantorganisatie Gemeente De Bilt
Auteur(s) Max Vroomen
Status Definitief

Inhoud

1. Woninganalyse	2
1.1. Huidige warmtevraag en vermogen	2
1.2. Afgifte temperatuur.....	3
2. Warmtenet	5
2.1. Warmtebronnen.....	5
2.2. Leidingwerk.....	6
2.3. Aflevercomponenten en hulpsystemen	9
2.4. Overheadkosten en post onvoorzien	10
2.5. Klantzijdige kosten bij een warmtenet.....	10
3. Individuele warmtepomp.....	12
3.1. Aanschaf en onderhoud warmtepompen.....	12
3.2. Rendement warmtepompen.....	12
3.3. Inpassen warmtepomp: bouwkundige en installatietechnische aanpassingen	13
3.4. Verzwaring elektra-infrastructuur	13
4. Subsidies	13
4.1. Exploitatiesubsidie: SDE++	13
4.2. Investeringsubsidies (ISDE).....	13
4.3. Programma Aardgasvrije Wijken subsidie (PAW)	14
4.4. Warmtenet Investeringsubsidie (WIS)	14
5. Financiële analyse: tijd en kernresultaten	14
5.1. Tijd.....	14
5.2. Minimale investeringsstap warmtebronnen.....	15
5.3. Herinvestering en restwaarde	16
5.4. Actoren en kernresultaten	16

1. Woninganalyse

1.1. Huidige warmtevraag en vermogen

Voor het bepalen van de huidige warmtevraag in de *Warmtetoel* wordt gerekend met kengetallen. DWTM heeft deze kengetallen zelf bepaald om een zo robuust en betrouwbaar mogelijke inschatting te maken van werkelijke warmtevraag. Er zijn aparte kengetallen voor de jaarlijkse warmtevraag en het piekvermogen van de ruimteverwarming, en voor de jaarlijkse warmtevraag en het vermogen van tapwater.

1.1.1. Warmtevraag woningen – ruimteverwarming

De berekening van de warmtevraag voor de ruimteverwarming van woningen volgt de volgende formule:

$$Q = a \cdot S + b$$

Met het gebruiksoppervlak van de woning in m^2 . De parameters a en b zijn afhankelijk van woningtype, energielabel en bouwjaar. Let op: later in dit document wordt expliciet onderscheid gemaakt tussen energielabel en schillabel. Voor de warmtevraag kengetallen werken we met het energielabel, aangezien de kengetallen bepaald zijn op basis van de onderverdeling hiernaar.

Om kengetallen te bepalen zijn we gestart met de kengetallen die worden gebruikt in de Startanalyse van de Leidraad voor gemeenten (versie 2020). PBL heeft voor het rekenmodel erachter (Vesta MAIS 5.0) een uitvoerige analyse gemaakt op werkelijke gasverbruiksdata in Nederland om tot een set van kengetallen te komen die de warmtevraag in alle buurten zo goed mogelijk voorspelt. Echter stelden wij in deze kengetallen nog een aantal onlogische trends vast. Zo is het mogelijk dat de warmtevraag van een kleine woning voor eenzelfde labelsprong minder afneemt dan die van een grote woning met verder dezelfde eigenschappen (bouwjaar, woningtype en uitganglabel).

Om die reden hebben wij de volgende regel opgelegd aan deze getallen: “Zowel het variabele als het vaste deel (a en b uit de formule hierboven) mogen binnen één typologie (woningtype + bouwjaar) niet lager worden voor slechtere labels.”

1.1.2. Warmtevraag woningen – tapwater

De tapwatervraag van een woning [GJ/jaar] wordt berekend met de volgende formule:

$$T = 2,7 * p$$

met p het aantal personen. Het aantal personen per woning is gebaseerd op de oppervlakte van de woning volgens ISSO 82.3.

Tabel 1 – Aantal personen en tapwatervraag per gebruiksoppervlakte categorie.

Gebruiksoppervlakte	Aantal personen	Tapwatervraag
< 50 m ²	1,4	3,8
50 - 75 m ²	2,2	5,9
75 - 100 m ²	2,8	7,6
100 - 150 m ²	3	8,1
> 150 m ²	3,2	8,6

1.1.3. Piekvermogen woningen

1.1.3.1. Piekvermogen ruimteverwarming

Het piekvermogen van ruimteverwarming in woningen wordt afgeleid van de jaarlijkse warmtevraag in combinatie met een inschatting van het aantal vollasturen. We gaan voor alle woningen uit van 1.300 vollasturen.

1.1.3.2. Piekvermogen tapwater

Het piekvermogen van woningen voor tapwater wordt standaard aangenomen op 26.2 kW, gelijk aan het vermogen van een CW4-klasse CV-ketel, wat de standaard is voor de meeste woningen in Nederland.

1.2. Afgifte temperatuur

De *Warmtetoel* rekt met vier varianten voor de afgiftetemperatuur. De afgiftetemperatuur is de aanvoertemperatuur van de afgiftesystemen in de gebouwen. De vier varianten zijn:

- 90 °C –uitgangspunt is dat alle bestaande bouw zonder aanpassingen geschikt is voor 90 °C
- 70 °C
- 50 °C
- 40 °C

Voor deze studie is gerekend met **70 °C** afgiftetemperatuur voor warmtenet en bronnet en **50 °C** afgiftetemperatuur voor het bronnet en individuele technieken.

1.2.1. Vereist schillabel voor elke afgiftetemperatuur

De *Warmtetoel* definieert voor elk van de **afgiftetemperaturen** een minimaal vereist **schillabel**. Dit wil zeggen dat wanneer een bepaalde afgiftetemperatuur geselecteerd wordt voor een scenario, de kosten voor alle schilverbeteringen worden meegenomen in de resultaten. Hieronder een overzicht van de vereiste schillabels per afgiftetemperatuur.

Afgiftetemperatuur	Vereist schillabel woningen	Vereist schillabel utiliteiten
70 °C	D	D
50 °C	B	A

1.2.2. Kosten voor schillabelsprongen bij woningen

De **kosten** K voor een schillabelsprong van een gebouw wordt berekend aan de hand van de gebruiksoppervlakte S en twee parameters a en b via de volgende formule:

$$K = a \cdot S + b$$

De parameters a en b (hierna kortweg de *kengetallen* genoemd) zijn afhankelijk van **woningtype** (bij woningen) en **bouwjaar**, en uiteraard van het **huidige** en **te behalen schillabel**. Voor woningen levert dat een set van kengetallen op voor alle combinaties uit de volgende drie tabellen.

Bouwjaarklassen	Woningtypen	Schillabelsprongen
< 1930	Vrijstaande woning	G, F, E ¹ → D
1930 – 1945	Hoekwoning/twee-onder- één-kapwoning	G, F, E, D, C → B
1946 – 1964	Tussenwoning	G, F, E, D, C, B → A
1965 – 1974	Hoogbouwwoning	
1975 – 1991		
1992 – 1995		
1996 – 1999		
2000 – 2005		
2006 – 2010		
2011 – 2014		
2015 – 2020		

Deze gebruikte kengetallen zijn:

- *inclusief* nodige isolatiemaatregelen aan vloer, gevel, dak, vervanging van glas en aanpassing van ventilatiesysteem (voor labels A en B).
- *exclusief* aanpassing afgiftesysteem naar LT-radiatoren of beter. Deze kosten worden apart berekend in de Excel-module van de *Warmtetoel*.

Voor het bepalen van de kengetallen is de basis de kengetallen voor labelsprongen die worden gehanteerd in de Startanalyse van de Leidraad, versie 2020. Deze komt overeen met de kengetallen uit het rekenmodel Vesta MAIS 5.0, ontwikkeld door PBL. Hoe deze set tot stand is gekomen wordt in onderstaande info-box toegelicht.

Kengetallen Startanalyse 2020/Veste MAIS 5.0

De kengetallen in Vesta MAIS zijn afgeleid van bouwkundige kostenkengetallen voor schilmaatregelen van Arcadis (2019) ([link](#)), toegepast op modelwoningen uit het WoON-rapport 2018 ([link](#)). Beide datasets zijn ingevoerd in de Variatietool van ECN (een generieke toolkit voor statistische analyses) om gemiddelde kengetallen te produceren. De kengetallen van Arcadis bevatten een bandbreedte die is overgenomen in de statistische analyse en invulling geeft aan de min- en max-waarde in de Vesta MAIS kengetallen.

De gemiddelde kengetallen zijn door PBL onderworpen aan een handmatige toets op plausibiliteit voor modelwoningen van 30, 120 en 400 m². Er is geprobeerd om voor elke bouwjaar klasse (zie boven) een aparte set kengetallen te produceren. Een voorwaarde die hierop is gesteld is dat er minstens 10 datapunten per bouwjaar klasse moeten zijn om een voldoende accurate *a* en *b* te kunnen bepalen. Waar dit niet kon, zijn bouwjaar klassen samengevoegd. In extreme gevallen leidde dit tot eenzelfde set van kengetallen voor alle bouwjaar klassen. Ook is door PBL een handmatige correctie gebeurd om te voorkomen dat een labelsprong van G naar B goedkoper is dan van F naar B binnen één categorie.

Na deze analyse zijn kosten voor het aanpassen van het ventilatiesysteem (voor een voldoende gezond binnenklimaat) opgeteld bij de kengetallen. Rekenkundig komt het erop neer dat de *b*-parameter voor labelsprongen naar A en B verhoogd is met een vaste waarde (min: € 2605 per woning en max: € 2813 per woning).

¹ Voor elk van deze sprongen is een apart kengetal. Bijvoorbeeld: voor de sprong van G naar D, maar ook van F naar D etc.

1.2.3. Warmtevraag na isolatie

Bij een gemaakte schillabelstap hoort een nieuwe warmtevraag. De warmtevraag voor de ruimteverwarming gaat omlaag, de warmtevraag voor tapwater niet (deze is immers niet afhankelijk van de schilkwaliteit). De warmtevraag voor ruimteverwarming wordt op eenzelfde manier berekend als de warmtevraag vóór de labelsprong (dus in de uitgangssituatie), dus met kengetallen a en b die afhangen van gebouwtype en bouwjaar. De set van kengetallen voor deze berekening is gelijk aan de set van kengetallen voor de warmtevraag vóór de labelsprong met uitzondering van de oude gebouwen met een goed uitgangslabel.

2. Warmtenet

2.1. Warmtebronnen

2.1.1. Investeringskosten en onderhoud warmtebronnen

De investeringskosten van de verschillende warmtebronnen in het warmtenet hangen grotendeels af van de ontwerpcapaciteit van de bronnen. De totale investeringskosten van de bron worden vervolgens berekend a.h.v. de formule $K=a*P+b$, waarbij a een kengetal is in €/kW en b een vaste waarde in €. Elke broncategorie heeft een eigen a en b , deze staan gespecificeerd in de Excel module van de Warmtetool.

De jaarlijkse onderhoudskosten (jaarlijks, vast) worden op een gelijkaardige manier berekend, maar zonder vaste prijscomponent ($K=a*P$). Ook deze kengetallen staan in de Excel module.

In deze studie zijn de volgende concepten doorgerekend: een warmtenet o.b.v. een lucht-water warmtepomp, een geothermie doublet en de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). Voor het laatste concept is een warmte-koude opslag (WKO) als seizoensopslag meegenomen. In de warmtenet scenario's is een elektrische boiler de piekvoorziening. De hierbij horende kengetallen staan in onderstaande tabel.

Warmtebron	Component	Eenheid	Waarde
Collectieve lucht-water warmtepomp	Aanvoertemperatuur bron	°C	7
	CAPEX, vast	€	0
	CAPEX, variabel	€/kW	2.667 ²
	Herinvestering na	jaar	15
	Herinvestering %	%	30
	O&M	€/jaar/kW	88
	OPEX variabel	€/GJ	0
Geothermie	Aanvoertemperatuur bron	°C	55
	CAPEX, vast	€	0
	CAPEX, variabel	€/kW	1.817
	Herinvestering na	Jaar	30
	Herinvestering %	%	0
	O&M	€/jaar/kW	36.3
	OPEX variabel	€/GJ	0
RWZI	Aanvoertemperatuur bron	°C	16
	CAPEX, vast	€	0
	CAPEX, variabel	€/kW	242
	Herinvestering na	Jaar	15
	Herinvestering %	%	80%
	O&M	€/jaar/kW	2.4
	OPEX variabel	€/GJ	

² Deze kosten zijn incl. de piekvoorziening

2.1.2. Aansluitkosten energie

Alle warmtenetten hebben een centrale aansluiting op het elektriciteitsnet nodig, en bij een piekketel op aardgas ook op het gasnet. Hier zijn eenmalige en jaarlijkse kosten mee gepaard. De Warmtetoel gaat ervanuit dat alle elektrische verbruikers in het warmtenet (Warmtepomp, transportpomp, onttrekking bron, elektrische piekvoorziening (allen indien van toepassing)) dezelfde aansluiting delen. Uit de aansluit- en vaste kosten-tarieven van 2020 van de drie grootste netbeheerders is een gemiddeld kengetal bepaald voor de volgende vier kosten:

Tabel 2 – Aansluitkosten elektra en aardgas

Post	Kengetal
Elektriciteitsaansluiting: eenmalige aansluitkosten	82 €/kWe
Elektriciteitsaansluiting: vaste jaarlijkse kosten	35 €/jaar/kWe
Aardgasaansluiting: eenmalige aansluitkosten	29 €/(m ³ /hr)
Aardgasaansluiting: vaste jaarlijkse kosten	24 €/jaar/(m ³ /hr)

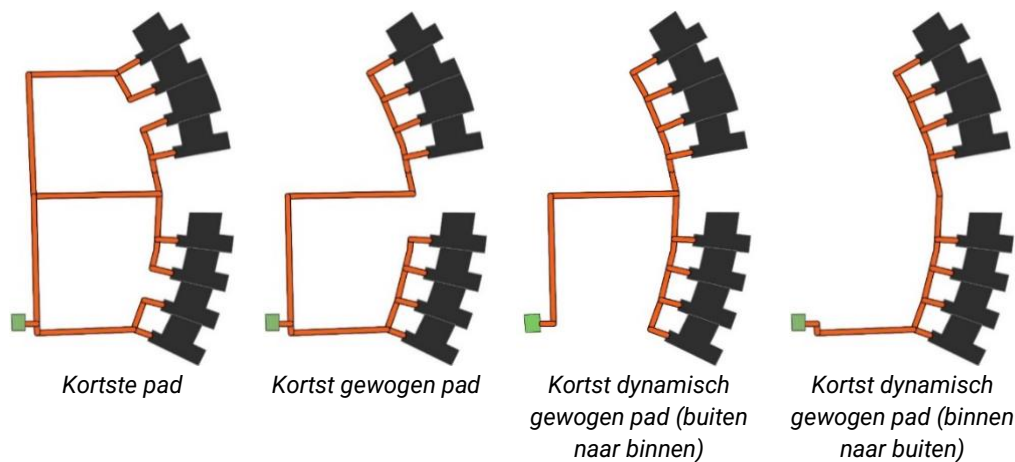
2.2. Leidingwerk

2.2.1. Tracé-ontwerp en leidinglengte

Een cluster in de Warmtetoel bestaat uit een selectie panden op de kaart. Om een inschatting te maken van de lengte warmteleidingen die aangelegd moet worden om deze panden te verbinden met een warmtebron, maakt de Warmtetoel gebruik van een automatisch leidingnet algoritme: het Dijkstra algoritme.

Dijkstra algoritme

Het Dijkstra algoritme is onderdeel van de korstepad-algoritmes binnen de grafentheorie en zoekt via de 'knopen' en 'lijnen' in een netwerk, een route van a naar b. Om het leiding-netwerk als geheel te optimaliseren op het vlak van lengte en opvoerdruk, is het algoritme aangepast. De aanpassing maakt het een '**dynamisch gewogen korste pad algoritme**'. Door het 'gewicht' van de lengte tussen 'knopen' dynamisch te maken wordt de reeds berekende routes 'goedkoper' en daardoor 'gunstiger' voor de routes die nog berekend moeten worden. Daardoor heeft ook de volgorde van routes zoeken effect op de uitkomst. Figuur 1 laat illustratief zien wat het effect is van verschillende zoekvolgorden op de uitkomst van het algoritme. Uit een aantal tests blijkt dat een **dynamische factor 0.3** en een aansluitrichting van **binnen naar buiten** een zeer goed en ook stabiel resultaat oplevert.



Figuur 1: Illustratie van de werking van het dynamisch gewogen kortste pad algoritme

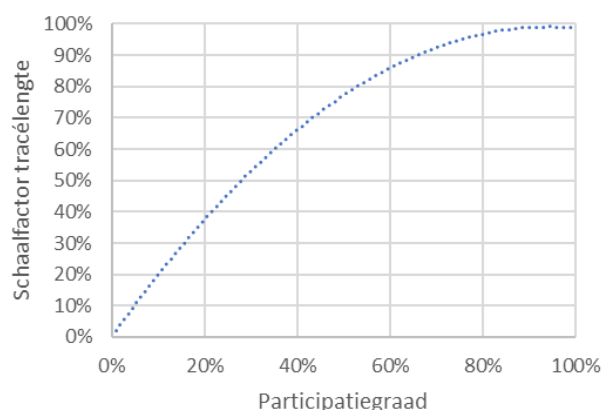
2.2.2. Bronleiding

Bovenop het tracé dat de panden met elkaar verbindt, wordt de leidinglengte vanaf de bron tot aan de eerste afnemer apart bepaald. Voor locatiegebonden bronnen wordt de bronleiding bepaald a.d.h.v. afstand tussen de locatie van de bron en de dichtstbijzijnde afnemer. Voor niet-locatiegebonden bronnen wordt een aanname gemaakt voor de lengte van de bronleiding.

2.2.3. Primair en secundair tracé

Eerst wordt bepaald of er een apart primair en secundair tracé aangelegd moet worden. Dit is nodig als het totale bronvermogen groter is dan *drempelwaarde primair* is.

Om de lengte van het secundair tracé te bepalen, wordt de lengte van het getekende tracé vermenigvuldigd met een correctiefactor voor participatiegraad. Deze factor is iets hoger dan de participatiegraad zelf, omdat een lagere participatiegraad betekent dat de gemiddelde afstand tussen afnemers groter wordt. Hieronder is dit verband zichtbaar op een grafiek. Voor dit onderzoek is er voor gekozen om altijd de kosten van het volledige tracé, onafhankelijk van de participatiegraad mee te nemen, om zo de aannames van Syntraal en ons gelijk te trekken en om de optie voor uitbreiding van het net en aansluiting van nieuwe afnemers in de toekomst makkelijker te maken.



Figuur 2 – Schaalfactor tracélengte ten op zichten van participatiegraad

Tot slot, als er geen apart primair net wordt aangelegd, wordt de lengte van de bronleiding opgeteld bij het secundair tracé.

De lengte van het primair tracé (indien van toepassing) wordt bepaald als een vast percentage van 5% van het secundair tracé. Vervolgens wordt de lengte van de bronleiding erbij opgeteld.

Tabel 3 – Default waarden drempelwaarde primair tracé en lengte bronleiding

Parameter	Eenheid	Waarde
Drempelwaarde primair	MW _{th}	2,5
Lengte primair tracé	m/m	5%
Lengte bronleiding netten zonder primair tracé	m	240
Lengte bronleiding netten met primair tracé	m	480

2.2.4. Dimensionering en begroting warmteleidingen

Leidingen worden begroot door het aantal meters te vermenigvuldigen met integrale meterprijzen. Integrale meterprijzen bevatten alle kosten voor de aanleg en aanschaf van warmteleidingen, inclusief arbeid, materialen, overhead en winst & risico van tussenpartijen zoals aannemers. In een meterprijs zitten de kosten voor zowel aanvoer- als retourleidingen.

2.2.4.1. Secundair (distributieleidingen)

Voor het **secundaire net** wordt een **gemiddelde meterprijs** bepaald die licht afhankelijk is van de benodigde diameter, maar voornamelijk van de verharding (asfalt vs. klinkers).

De integrale meterprijs bij 50% asfalt is 1.361 €/m. Bij een **verharding** van 0% asfalt wordt de meterprijs met 30% verlaagd en bij 100% asfalt 30% verhoogd. Tot slot wordt deze **meterprijs** vermenigvuldigd met de **complexiteitsfactor**, die default gelijk is aan 1.

2.2.4.2. Secundair (aansluitleidingen en inpandig leidingen bij hoogbouw)

Voor aansluitleidingen wordt onderscheid gemaakt tussen kleinverbruik (kvb) en grootverbruik (gvb) afnemers. Kvb afnemers hebben een aansluitvermogen tot 100 kW, alles vanaf 100 kW zijn gvb's. Voor een kvb aansluitleiding wordt gerekend met een totaalprijs van 3.533 €/afnemer. Voor gvb aansluitingen wordt gerekend met een totaalprijs van 11.777 €/afnemer.

2.2.4.3. Secundair (inpandig leidingen bij meergezinswoningen/hoogbouw)

Bij meergezinswoningen en andere panden met meerdere verblijfsobjecten binnen één pand zijn er twee situaties mogelijk: een collectieve aansluiting of individuele aansluitingen.

Bij een **collectieve aansluiting** wordt het gehele pand vanuit het warmtenet gezien als één afnemer. Het vermogen van deze collectieve afnemer wordt met dezelfde formule berekend als het gelijktijdig vermogen van een collectieve warmtebron:

$$P_{gel} = [P_{r,cum} * f_{r,gel}] + [P_{tap,cum} * f_{tap,gel}] - [\min(P_{r,cum}, P_{tap,cum}) * f_{r,gel} * f_{tap,gel}]$$

met $f_{r,gel}$ en $f_{tap,gel}$ de gelijktijdigheidsfactoren voor respectievelijk ruimte en tapwater, $P_{r,cum}$ en $P_{tap,cum}$ de cumulatieve vermogens van alle afnemers voor respectievelijk ruimte en tapwater. De gelijktijdigheidsfactoren worden bepaald o.b.v. ISSO 7 rekenregels. In het geval van een collectieve aansluiting wordt ervan uitgegaan dat er al inpandig verdeelleidingen zijn om de warmte van een centrale afleverset te verdelen naar de aparte verblijfsobjecten.

Bij **individuele aansluitingen**, wordt inpandig leidingwerk begroot. Dit wordt gedaan op basis van één vast kengetal per afnemer: € 2.355, inclusief stijgleidingen en aansluitleidingen.

2.2.4.4. Primair

Tussen meterprijzen van primaire netten zit veel meer variatie dan secundaire netten. Daarom wordt voor de primaire meterprijs wel gekeken naar de benodigde flow. De flow wordt bepaald a.h.v. de formule:

$$\dot{m} = \frac{P}{dT \cdot c}$$

Met c de soortelijke warmte van water ($4.187 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$) en P het benodigd transportvermogen. Het benodigd transportvermogen wordt berekend a.h.v. het gelijktijdig piekvermogen van de afnemers in het warmtenet. Uit deze flow kan de diameter van de bronleiding en bijhorende integrale meterprijs worden bepaald m.b.v. onderstaande tabel.

Tabel 4 - Diameters, flows en integrale meterprijzen (Peiljaar 2022, CPI geïndexeerd naar 2023) van

Nominale diameter [mm]	Max flow [kg/s]	Meterprijs [€/m]	Nominale diameter [mm]	Max flow [kg/s]	Meterprijs [€/m]
DN1000	2269,69	12.402	DN150	25,93	1.811
DN900	1828,62	10.634	DN125	15,74	1.652
DN800	1452,60	9.005	DN100	9,11	1.501
DN700	1105,78	7.516	DN80	4,54	1.387
DN600	811,08	6.166	DN65	2,98	1.305
DN500	507,68	4.954	DN50	1,51	1.226
DN450	381,31	4.401	DN40	0,80	1.175
DN400	276,86	3.882	DN32	0,54	1.135
DN350	209,79	3.399	DN25	0,26	1.101
DN300	149,22	2.949	DN20	0,13	1.077
DN250	94,64	2.535	DN15	0,07	1.054
DN200	52,11	2.156			

warmteleidingen.

2.2.5. Onderhoudsbegroting

Op alle leidingelementen wordt gerekend met een onderhoudsbegroting van 2% van de initiële investering.

2.3. Aflevercomponenten en hulpsystemen

2.3.1. Aflevercomponenten

Bij de afnemers van een warmtenet vindt warmte-overdracht plaats. In moderne warmtenetten vindt dit meestal plaats met een indirecte afleverset, waarbij een warmtewisselaar de warmte uit het warmtenet overbrengt op het afgiftesysteem van de afnemer. De warmtetoel rekent met een eenvoudig kengetal voor afleversets voor kleinverbruikers (€ 1.237 totaalcost incl. warmtemeter). Voor grootverbruikers wordt de kost berekend met een vast en variabel deel:

$$\text{kost} = \text{€}18.608 + 4,36 \frac{\text{€}}{\text{kW}} P$$

Met P het aansluitvermogen van de afnemer.

2.3.2. Hulpsystemen

Het bronvermogen dicteert of een scheiding tussen een primair en secundair warmtenet nodig is. Als dat het geval is wordt een warmte-overdrachtsstation (WOS) in het ontwerp en de begroting meegenomen. Het aantal WOSsen wordt als volgt bepaald:

- Bronvermogen $\leq 2.500 \text{ kW}$ → geen WOS
- Bronvermogen $> 2.500 \text{ kW}$ → aantal WOSsen = ROUNDUP(bronvermogen / 2.500 kW)

De Warmtetoel hanteert voor een WOS een vaste, integrale kost van € 153.000 per WOS.

Naast de WOS heeft een warmtenet nog een aantal kleinere hulpsystemen nodig zoals filters, waterbehandeling etc. De kosten voor deze hulpsystemen worden berekend als een toeslag van 1% op de totale begroting van het leidingwerk (primair + secundair + aansluitleidingen).

2.4. Overheadkosten en post onvoorzien

2.4.1. Overhead en onvoorzien tijdens realisatie

Naast de kosten voor arbeid en materialen bij de aanleg van het warmtenet, moeten nog andere kosten worden gemaakt voor de realisatie van een warmtenet. Deze worden in de Warmtetoel gevat in de volgende posten:

- **Post onvoorzien:** Het ontwerpen en begrootte warmtenet gaat uit van een optimaal ontwerp. De leidingen nemen bijvoorbeeld de meest optimale route naar de gebouwen en er worden geen bijzondere en onverwachte omstandigheden ingecalculerd. De praktijk leert dat er altijd onvoorzien zaken opduiken die een flinke impact kunnen hebben op de realisatiekosten, zoals grondverontreiniging, archeologie, moeilijke kruisingen in de ondergrond, etc. Om dit te vatten in de Warmtetoel wordt gerekend met een post onvoorzien die standaard **30%** is van de investeringskosten voor het warmtenet (het warmtenet omvat in dit geval bronnen, leidingwerk, afnamecomponenten en hulpsystemen).
- **Overhead bij realisatie:** projectmanagement en engineering. Voor deze post rekent de Warmtetoel **10%** van de investeringskosten voor het warmtenet aan (het warmtenet omvat in dit geval bronnen, leidingwerk, afnamecomponenten en hulpsystemen).
- **Ontwikkelkosten:** kosten voor het ontwikkelen van het warmtenet, zoals opstellen van een businesscase, voorlopig ontwerp en contractering. Hiervoor wordt gerekend met een eenmalige vaste kost van **177 € per afnemer**.

2.4.2. Overhead en vennootschapsbelasting (tijdens exploitatie)

Tijdens realisatie zijn er niet alleen fysieke kostenposten (onderhoud, inkoop van energie, ...) maar ook overheadkosten zoals het factureren van klanten en andere administratietaken. Hiervoor rekent de Warmtetoel **53 € per afnemer per jaar**.

Warmtebedrijven moeten als ondernemingen vennootschapsbelasting over hun winst afdragen. De belastbare winst wordt per jaar berekend in de Warmtetoel op de volgende manier:

$$\text{Belastbare winst} = \max(\text{EBIT}, 0\text{€})$$

$$\text{EBIT} = \frac{\text{omzet} - \text{winst}}{\text{EBITDA}} - \text{afschrijvingen} - \text{amortisaties}$$

Over de belastbare winst wordt in twee staffels vennootschapsbelasting geheven: **15% tot € 395.000 winst en 25,8% daarboven**. Dit was in 2020 de voorgenomen regeling vanaf 2021. Intussen zijn de tarieven weer iets aangepast, dit wordt in een update van de Warmtetoel meegenomen.

2.5. Klantzijdige kosten bij een warmtenet

Er zijn een aantal kostenposten die door de afnemer betaald worden en die nodig zijn om gebruik te kunnen maken van een warmtenet, zoals isolatie, aanpassingen aan de ventilatie, aan het afgiftesysteem en kosten voor het inpassen van de warmtenet-aansluiting.

2.5.1. Aansluitbijdrage, levering warmte en netbeheerkosten

Net als bij elektriciteit en aardgas betaalt de warmteklant de variabele leveringskosten aan de energieleverancier en netbeheerkosten zoals vastrecht en meettarief aan de netbeheerder. Omdat de Warmtewet geen scheiding tussen de rollen van leverancier en netbeheerder oplegt, worden deze rollen bij bestaande warmtenetten bijna altijd door dezelfde partij ingenomen: de exploitant.

Onder Netbeheerkosten vallen het vastrecht, meettarief en huur van de afleverzet. De Bijdrage Aansluitkosten (BAK) is de verzamelnaam voor de aansluitbijdrage (AB) en de kostendekkingsbijdrage (KDB). Voor alle afnemers geldt dat warmtevraag en het aansluitvermogen worden bepaald uit de GIS-dataset zoals beschreven in 1.1 Huidige warmtevraag en vermogen en 1.2.3 Warmtevraag na isolatie. De Warmtetoel hanteert de volgende standaardtarieven, waarvan op projectbasis kan worden afgeweken als daar een reden voor is. De modelleur heeft in de Warmtetoel de mogelijkheid om een van deze posten automatisch in te vullen om een sluitende businesscase te halen, uiteraard gelden onderstaande tarieven niet in dit geval.

Tabel 5 – Standaardtarieven warmte (excl. btw).

Tarief	Eenheid	Waarde	Bron
Warmtetarief kleinverbruik	€/GJ	75,13 ³	ACM 2023 maximum
Warmtetarief grootverbruik	€/GJ	67,62	10% korting t.o.v. kleinverbruik
Vastrecht kleinverbruik	€/aansluiting/jr	596,04 ⁴	ACM 2023 maximum
Vastrecht grootverbruik	€/kW/jaar	29,83	Ervaringsgetallen Greenvis
Default aansluitbijdrage kleinverbruik	€/aansluiting	4.031,44	ACM 2023 maximum
Default aansluitbijdrage grootverbruik	€/kW	75	Ervaringsgetallen Greenvis

2.5.2. Isolatie en aanpassing ventilatie

Afhankelijk van de gekozen afgiftetemperatuur van het warmtenet moeten de panden die erop aansluiten de isolatiegraad van hun schil verbeteren. Hoe de Warmtetoel de benodigde mate van isolatie en bijhorende kosten bepaalt, wordt beschreven in 1.2.2 Kosten voor schillabelsprongen bij woningen. Vanaf label B wordt aangenomen dat er ook een verbeterd ventilatiesysteem nodig is om het binnenklimaat gezond te houden.

2.5.3. Aanpassing naar lage-temperatuur afgiftesysteem

Voor scenario's met een afgiftetemperatuur van 50 °C of lager, is een lage-temperatuur afgiftesysteem nodig. Dit kan bestaan uit LT-radiatoren of -convectoren, of vloer- of muurverwarming. De eerste categorie zijn goedkoper en beter inpasbaar in bestaande bouw en daarom de standaard aanname in de Warmtetoel. Vloer- en/of muurverwarming zijn opties en kunnen worden overwogen door afnemers voor extra comfort tegen een meerprijs. Er wordt aangenomen dat bestaande bouw nog nergens LT-afgiftesystemen heeft, wat natuurlijk niet overal waar is. Daarom wordt deze kostenpost in sommige gebouwen overschat. In een toekomstige versie van de Warmtetoel zal per adres kunnen worden ingevoerd of er al een LT-afgiftesysteem aanwezig is. Voor het aanschaffen en installeren van een LT-afgiftesysteem wordt standaard gerekend met € 1.967 per woning (natuurlijk moment⁵: € 810 en zelfstandig moment: € 3.124).

2.5.4. Inpassen afleverzet: bouwkundige en installatietechnische aanpassingen

In bestaande bouw zijn meestal nog extra kosten nodig om het warmtenet goed te verbinden met het afgiftesysteem:

- Een mantelbuis voor de aansluitleiding
- Doorvoeren door muren en plafonds tussen de plek waar de aansluitleiding het pand binnenkomt en waar de afleverzet komt te hangen.
- Aansluiten van de afleverzet op de bestaande installatie. Vaak moeten hiervoor in een pand nog extra leidingen worden aangelegd. Deze leidingen moeten ook netjes worden afgewerkt.

³ Het daadwerkelijke GJ tarief kan afwijken indien een business case zo gunstig is dat het dit toelaat

⁴ Dit is het vastrecht voor bruikbare warmte voor ruimteverwarming en tapwater. Voor zogenaamde 'lage temperatuur' warmtenetten of bronnetten hanteren wij andere vastrechtkosten. Zie het ACM besluit 2023 voor een volledig overzicht

⁵ Een natuurlijk moment voor een geboumaatregel betekent dat de maatregel kan worden gecombineerd met andere gebouwaanpassingen zoals grootschalig(e) onderhoud of renovatie.

Voor deze kosten wordt een vast bedrag aangerekend van

- € 3.533 voor kleinverbruik, grondgebonden aansluitingen,
- € 1.767 voor kleinverbruik aansluitingen in gestapelde bouw, en
- € 3.533 + 88 €/kW voor grootverbruik aansluitingen

Deze kosten vallen buiten de businesscase van het warmtenet maar wel binnen de nationale kosten die de Warmtetoel doorrekent.

3. Individuele warmtepomp

De tweede hoofdcategorie warmteconcepten in de Warmtetoel, naast warmtenetten, zijn de individuele warmtepompen. Met individueel wordt bedoeld dat gebouwen individueel verwarmd worden, maar binnen een gebouw kan nog steeds sprake zijn van een collectieve voorziening, vergelijkbaar met een collectieve gasketel in een appartementencomplex.

In de huidige versie van de Warmtetoel zijn drie technieken voor individuele warmtepompen geïmplementeerd:

1. Lucht-water warmtepompen (all-electric)
2. Bodem-water warmtepompen (all-electric)
3. Hybride warmtepompen (gas & elektra)

3.1. Aanschaf en onderhoud warmtepompen

De integrale kost voor het aanschaffen en installeren van een warmtepomp is afhankelijk van het type warmtepomp, het outputvermogen (thermisch) en de te produceren temperatuur. In deze studie is de lucht-water warmtepomp met 50°C afgiftetemperatuur als referentie scenario gebruikt. De kengetallen hiervoor staan in onderstaande tabel.

Tabel 6 - Kostenkengetallen individuele lucht-water warmtepomp

Type warmtepomp	Afgiftetemperatuur	Vast (€)	Variabel (€/kW)
Lucht-water warmtepomp	50 °C	7.492	321
Bodem-water warmtepomp	50 °C	10.703	578
Hybride warmtepomp	70 °C	3.211	3

De vermelde kosten zijn integrale kosten inclusief binnen-unit, buiten-unit of bodemlus, buffervat voor tapwater en installatiekosten.

Voor **onderhoud** en beheer rekent de Warmtetoel met een jaarlijkse kost gelijk aan **2%** van de initiële investering.

3.2. Rendement warmtepompen

Het gemiddelde rendement van een warmtepomp over een heel jaar wordt uitgedrukt met de sCOP. Deze wordt opgesplitst in de sCOP voor ruimteverwarming en die voor tapwaterbereiding. Voor ruimteverwarming hanteert de Warmtetoel de volgende aannames.

Tabel 7 – Rekenwaarden voor de jaargemiddelde COP (sCOP) voor ruimteverwarming.

Type warmtepomp	Afgiftetemperatuur	sCOP
Lucht-water warmtepomp	50 °C	3,6
Bodem-water warmtepomp	50 °C	4,4
Hybride warmtepomp	70 °C	3,6 ⁶

⁶ De warmtepomp staat alsnog op 50°C ingesteld. Dit is voor matig koude temperaturen (het grootste gedeelte van het jaar) voldoende. Indien het erg koud is buiten wordt een stooklijn van 50°C gebruikt en alles daarboven wordt door de CV-ketel opgepakt.

3.3. Inpassen warmtepomp: bouwkundige en installatietechnische aanpassingen

In bestaande bouw zijn meestal extra kosten nodig om een warmtepomp goed te installeren en te verbinden met het bestaande afgiftesysteem:

- Doorvoeren door buiten- en binnenmuren tussen buiten- en binnen-unit.
- Bouwkundige aanpassingen om plaats te maken voor de warmtepomp en het buffervat.

Voor deze kosten wordt een vast bedrag aangerekend van

- € 3.533 voor kleinverbruik, grondgebonden aansluitingen,
- € 1.767 voor kleinverbruik aansluitingen in gestapelde bouw, en
- € 3.533 + 88 €/kW voor grootverbruik aansluitingen

3.4. Verzwaring elektra-infrastructuur

De kosten voor het verzwaren van de elektra-aansluitingen worden behandeld in Jaarlijkse energie- & netbeheerkosten en energiebelasting. Zoals daar aangegeven is dit meestal niet noodzakelijk. Het verzwaren van de laagspanning distributiekabels is vaak wel noodzakelijk. De kosten hiervoor worden gemaakt door de netbeheerder en hiervoor rekent de Warmtetoel met de volgende totale kosten:

$$K = L * 131 \frac{\text{€}}{m}$$

met L de lengte van het te verzwaren distributienet. Deze lengte wordt overgenomen van de automatisch bepaalde tracélengte van de secundaire warmteleidingen voor het cluster. Uiteraard worden de kosten voor de warmteleidingen dan niet in rekening gebracht, enkel de meters tracé worden overgenomen.

4. Subsidies

De Warmtetoel rekent met een aantal verschillende subsidies, die vanuit de overheid uitgekeerd worden aan de warmte-exploitant of gebouw-eigenaar. Er zijn drie categorieën subsidies waar de Warmtetoel mee kan werken: exploitatiesubsidies (bijv. SDE++), investeringssubsidies (bijv. ISDE) en projectsubsidies (bijv. PAW).

Subsidies hebben enkel effect op de kosten van specifieke actoren, niet op de nationale kosten.

4.1. Exploitatiesubsidie: SDE++

Sommige collectieve warmtebronnen maken aanspraak op SDE++ subsidie. De volgende eigenschappen hiervoor zijn overgenomen uit het SDE++ eindadvies 2023:

- Basisbedrag (€/kWh)
- Correctiebedrag (€/kWh)
- Duur (jaar)
- Max. aantal vollasturen (hr/jaar)

Voor de bronnen geothermie en RWZI is SDE++ subsidie beschikbaar.

4.2. Investeringsubsidies (ISDE)

4.2.1. ISDE Warmtepompen

Voor warmtepompen tot 70 kW kan een investeringssubsidie worden aangevraagd. Dit kan dus het geval zijn bij individuele warmtepompen of kleinschalige warmtenetten met collectieve warmtepompen. De Warmtetoel rekent met de volgende waarden:

Type warmtepomp	Subsidiebedrag (peildatum 2022)
Lucht-water	1.725 € +150 €/kW

Bodem-water warmtepomp	2.475 € +150 €/kW
Hybride warmtepomp	1.700 € +100 €/kW

Er is ook een subsidie beschikbaar voor VvE's en woningcorporaties. Deze ligt ongeveer even hoog als de ISDE subsidie en is daarom hiermee opgenomen.

4.2.2. ISDE Isolatiemaatregelen

Wanneer je als woningeigenaar isolatiestappen onderneemt kan je aanspraak maken op een investeringssubsidie. Aan deze subsidie hangen meerdere voorwaarden waaraan moet worden voldaan. In de Warmtetoel is er uitgedaan van **25%** subsidie op de totale isolatiekosten wanneer er wordt geïsoleerd naar 40 of 50 °C (schillabel B of beter). Deze aannames komen ruwweg overeen met de actuele subsidieregeling per 1 januari 2021.

4.3. Programma Aardgasvrije Wijken subsidie (PAW)

De buurt Brandenburg West is aangewezen als PAW wijk en heeft daarvoor subsidie ontvangen. Deze subsidie kan gebruikt worden voor collectieve warmtevoorzieningen.

4.4. Warmtenet Investeringsubsidie (WIS)

De WIS subsidie is een subsidie die specifiek tot leven is geroepen om de warmte-infrastructuur te subsidiëren en warmtenetten rendabeler te maken. Omdat het verkrijgen van deze subsidie nog onzeker is, is deze niet meegenomen in het basisscenario, maar is het effect ervan getoond in de gevoeligheidsanalyse. De hoogte van de WIS is afhankelijk van een aantal factoren.

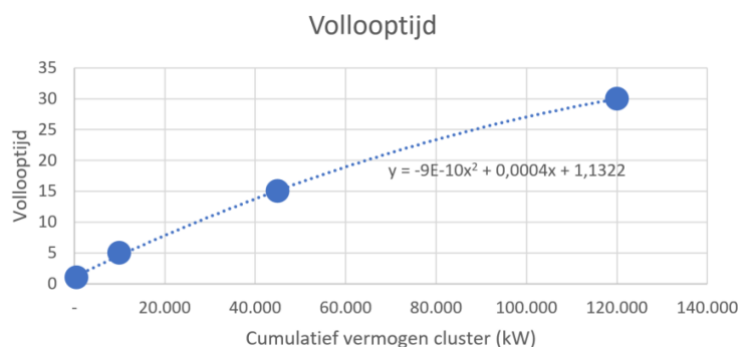
De WIS is gemaximaliseerd op het laagste getal tussen: €6.000 per kvb aansluiting of 45% van de kosten voor de infrastructuur. Dit is een versimpelde berekening van de daadwerkelijk verkrijgbare WIS subsidie, maar een benadering die dicht genoeg bij de werkelijkheid ligt.

5. Financiële analyse: tijd en kernresultaten

5.1. Tijd

Voorgaande hoofdstukken zetten uiteen hoe initiële en jaarlijks wederkerende kosten worden berekend. In dit hoofdstuk geven we aan hoe deze kosten daadwerkelijk in de tijd worden doorgevoerd om te komen tot een realistisch beeld van een businesscase en/of een total cost of ownership (zie latere secties).

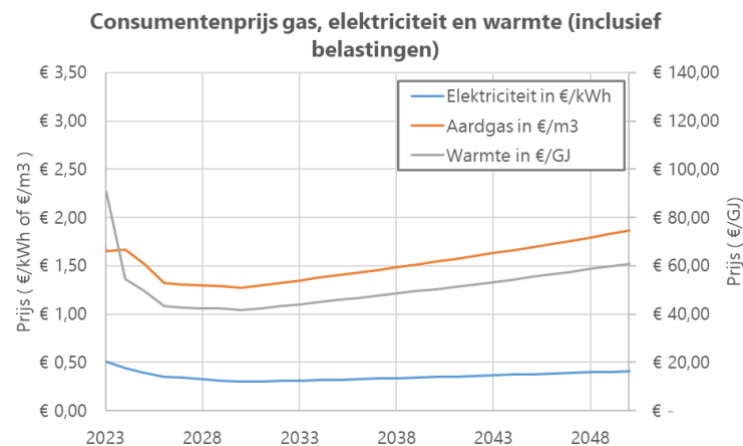
De Warmtetoel rekt 31 jaar door: jaar 0 tot en met 30. In jaar 0 wordt enkel geïnvesteerd, vanaf jaar 1 wordt deels geëxploiteerd. De voltooptijd bepaalt hoe snel 100% van het cluster is overgestapt op het nieuwe warmteconcept. De voltooptijd kan worden bepaald op twee manieren: automatisch of handmatig. Indien automatisch, dan berekent de Warmtetoel de voltooptijd zelf aan de hand van het cumulatieve vermogen van de volgens de volgende vergelijking:



De bovengrens is 30 jaar en de ondergrens 1 jaar.

De volgende tijdseffecten worden meegenomen die direct of indirect impact hebben op een aantal kostenposten:

- **Inflatie algemeen:** Alle kosten in een jaar n worden vermenigvuldigd met een inflatiefactor die per jaar wordt bepaald a.h.v. de formule $f(n)=(1+infl)_n$ met $infl=2\%$ (standaard waarde)
- **Prijscurve gas, elektra en warmte:** Door de fluctuatie in energieprijzen is een indexatie op de huidige tarieven geen reële situatie. Hierdoor is er voor de energieprijzen een aparte prijscurve bepaald aan de hand van prognoses van de KEV en futures:



- **Warmtevraag reductie door autonomie isolatie:** Autonomie isolatie zijn maatregelen die gebouweigenaren zelf besluit te nemen, onafhankelijk van wat strikt noodzakelijk is in het doorgerekende scenario. De kosten hiervoor worden niet aangerekend omdat het geen noodzakelijke kosten en misschien ook wel deels rendabele kosten zijn. Hoe sterk dit wordt meegenomen is afhankelijk van de afgiftetemperatuur in het gekozen scenario: 0,25% per jaar bij 90 °C en 70 °C en 0% bij 50 °C en 40 °C.
- **Warmtevraag reductie door klimaateffect:** Klimaateffect betekent dat door de geleidelijke opwarming van het klimaat de warmtevraag minder wordt. De Warmtetoel neemt voor deze afname standaard 0.5% per jaar.
- **Leereffect:** Je kan veronderstellen dat technologieën door innovatie en opschaling over de jaren heen goedkoper worden, dit noemen we het leereffect. De Warmtetoel onderscheidt een verschillend leereffect voor drie verschillende kostencategorieën:
 - **Voor installaties en isolatie** gaan we uit van 25% kostendaling over 30 jaar, ofwel 1% per jaar.
 - **Voor leidingwerk** gaan we uit van 20% kostendaling over 30 jaar, ofwel 0,7 % per jaar.
 - **Voor onderhoud en administratie** gaan we uit van 18% kostendaling over 30 jaar, ofwel 0,6 % per jaar.
- **Discountvoet:** Geld van nu is minder waard in de toekomst en wordt daardoor minder zwaar meegewogen.
 - **Warmte-exploitant:** 4,23%⁷
 - **Gebouweigenaar en gebruiker:** 3,5%
 - **Maatschappij:** 3%

5.2. Minimale investeringsstap warmtebronnen

De Warmtetoel hanteert voor warmtebronnen een minimale volloopstap. Dat wil zeggen dat wanneer de vollooptijd hoger dan 1 jaar is, de investering van de warmtebron moet worden verdeeld over de vollooptijd op een dusdanige manier dat elke investeringsstap minimaal de minimale investeringsstap is. Dit is met name van belang voor warmtebronnen zoals geothermie die niet in kleine stapjes kunnen worden gerealiseerd maar altijd in één keer een grote investering vereisen.

⁷ Dit is het maximale rendement dat gevraagd mag worden voor het verkrijgen van de WIS subsidie

5.3. Herinvestering en restwaarde

Veel investeringen in nieuwe warmtesystemen vereisen binnen minder dan 30 jaar een herinvestering voor de vervanging van componenten. De Warmtetoel definieert voor elke investering welk percentage geherinvesteerd moet worden en na hoeveel tijd. Bijvoorbeeld bij warmtepompen (alle formaten) gaat de Warmtetoel uit van een herinvestering van 80% van de initiële investering na 15 jaar. Voor het deel dat buiten deze herinvestering valt, gaat de Warmtetoel uit van een levensduur van 50 jaar.

Tenzij een investering precies na het laatste jaar in de Warmtetoel weer aan een herinvestering toe is, zit er nog een restwaarde op. We rekenen met de technische restwaarde. Dit wordt als volgt berekend:

1. Per jaar wordt voorspeld wat van de investering die in dat jaar plaatsvindt de restwaarde zal zijn na 30 jaar. Deze inschatting gebeurt op basis van de levensduur van de asset die wordt aangeschaft en het aantal jaren tussen dat jaar en jaar 30.
2. Deze waarden worden bij elkaar opgeteld, dat is de totale restwaarde op het einde van de 30 jaar.

5.4. Actoren en kernresultaten

De Warmtetoel onderscheidt twee soorten kosten:

- **Nationale kosten**, ofwel totale systeemkosten.
- **Interne kasstromen**, ofwel kosten tussen stakeholders in het model.

Beide sluiten elkaar per definitie uit: een interne kasstroom is nooit een nationale kost, omdat het voor de ene stakeholder een kost is maar voor de andere een baat.

De samenhang tussen nationale kosten, interne kasstromen en stakeholders (ofwel actoren in het model) is weergegeven in onderstaande schema's. De **total cost of ownership (TCO)** voor een bepaalde partij is de som van alle nationale kosten, interne kosten (vertrekkende pijl) en baten (arriverende pijl, negatieve kosten) die bij een partij staan, over de 30 jaar. De (financiële) **businesscase** de warmtenet-exploitant is opgebouwd uit dezelfde kosten en baten als de TCO van de exploitant.

De nationale kosten, TCO's en businesscase van de warmtenet-exploitant noemen we de kernresultaten van de Warmtetoel.



Figuur 3 – Voorbeeldsituatie warmtenet – Samenhang tussen stakeholders (actoren), nationale kosten en interne kasstromen.



Figuur 4 – Voorbeeldsituatie individuele warmtepompen – Samenhang tussen stakeholders (actoren), nationale kosten en interne kasstromen.