

Warmtetoel

Achtergronddocument bij het rekenmodel

Horend bij Warmtetoel release 1.3.2

Documentnummer 1.3.2-1.0

Datum: 18/03/2021

Auteurs: Daniël De Greef en Johan Verheij

1 Inleiding

Dit achtergronddocument bij de Warmtetoel is bedoeld als naslagdocument bij het werken met of interpreteren van de Warmtetoel. Het document kan gebruikt worden om te begrijpen hoe de Warmtetoel op hoofdlijnen komt van input tot resultaten.

Disclaimers

Het achtergronddocument is geen handleiding (de handleiding is een apart document), noch een functioneel ontwerp. Ook is het niet geschreven om een blauwdruk van het model te zijn – je kan de Warmtetoel niet nabouwen met dit document. Voor verdere details en bronvermeldingen van de berekening en kengetallen kan de tool zelf worden geraadpleegd, of kan contact worden opgenomen met de beheerders van de Warmtetoel.

De Warmtetoel bestaat uit een GIS-module en een Excel-module. Omdat de GIS-module minder toegankelijk is dan de Excel-module, worden de rekenstappen die in de GIS-module worden genomen in meer detail behandeld in dit document. De rekenstappen die in de GIS-module worden genomen zijn o.a.:

- Bepalen van warmtevraag en vermogen van panden en adressen
- Bepalen van kosten en nieuwe warmtevraag in verschillende isolatiescenario's per pand
- Bepalen van tracélengte van het warmtenet voor een cluster ¹

¹ Deze lengte wordt in sommige onderdelen van het model ook gebruikt voor lengte van het elektra-net en het gasnet.

2 Gebouwanalyse – warmtevraag en verbeteringen

2.1 Huidige warmtevraag en vermogen

Voor het bepalen van de huidige warmtevraag in de *Warmtetoel* wordt gerekend met kengetallen. Greenvis 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, voor de jaarlijkse warmtevraag en het vermogen van tapwater.

2.1.1 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 (zie '2.2.1 Het verschil tussen schillabel en energielabel'). 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 van 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 + bouwjaarklasse) niet lager worden voor slechtere labels."

De gehanteerde kengetallen zijn vindbaar in de aparte bijlage 'WT_woning_kentallen.xlsx'.

2.1.2 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.

<i>Gebruiks- oppervlakte</i>	<i>Aantal personen</i>	<i>Tapwatervraag</i>
< 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

2.1.3 Piekvermogen woningen

2.1.3.1 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, we weten dat dit voor moderne woningen een onderschatting is en voor oudere woningen een overschatting. Omdat we geen goede bron hebben van hoe groot deze afwijking is, gaan we in de huidige Warmtetoel versie uit van een vaste waarde, nl. 1.300 vollasturen.

2.1.3.2 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.

2.1.4 Warmtevraag en piekvermogen utiliteiten

De warmtevraag voor ruimteverwarming van een utiliteitsgebouw [GJ/jaar] wordt berekend met de volgende formule:

$$H = a * A + b$$

Met

- H warmtevraag [GJ/jaar]
- a richtingscoëfficiënt [GJ/jaar/m²]
- A oppervlakte [m²]
- b constante [GJ/jaar]

In de analyse kregen een aantal typen utiliteit een vrij hoge parameter b . Daarom is er voor gekozen om voor utiliteiten met een oppervlakte tot 250 m² een andere formule te gebruiken (zie ook Figuur 1 **Error! Reference source not found.**), namelijk:

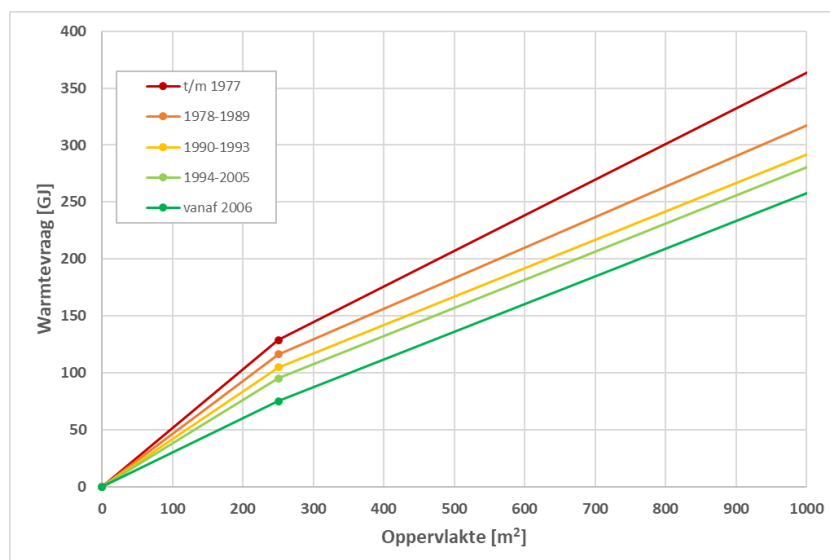
$$H = c * A$$

Met:

- H warmtevraag [GJ/jaar]
- c richtingscoëfficiënt [GJ/jaar/m²]
- A oppervlakte [m²]

De waarden van parameters a , b en c zijn te vinden in.

Zowel het CV als Tap vermogen van een utiliteit wordt berekend door de warmtevraag om te rekenen naar vermogen met een aantal vollasturen.



Figuur 1. Totale warmtevraag kantoren voor de verschillende bouwjaarcategorieën. Merk op dat de warmtevraag van 0-250 m² lineair toeneemt, en vanaf 250 m² ook weer lineair toeneemt, maar met een andere richtingscoëfficiënt.

De gehanteerde kengetallen zijn vindbaar in de aparte bijlage 'WT_utiliteit_kentallen.xlsx'.

2.2 Schillabel versus energielabel

2.2.1 Het verschil tussen schillabel en energielabel

Het schillabel is "het energielabel dat een woning zou hebben als er geen niet-schil gerelateerde maatregelen op zouden zijn toegepast". De belangrijkste niet-schil gerelateerde maatregel is het plaatsen van **zonnepanelen**. Een label C woning kan label A worden door het plaatsen van zonnepanelen, maar heeft nog steeds dezelfde **schilkwaliteit**. Dezelfde woning zou aanzienlijke isolatiemaatregelen moeten treffen om zonder zonnepanelen dezelfde schilsprong te maken. Daarom is het belangrijk om waar mogelijk te weten wat het schillabel is.

2.2.2 Bepalen van huidige schillabel

Er zijn drie mogelijke routes om het huidige schillabel te bepalen: (1) eigen inschatting o.b.v. functie, woningtype en bouwjaar, (2) RVO database en (3) ontvangen informatie van gebouweigenaar. De betrouwbaarheid van deze methoden neemt toe van (1) naar (3) en bij elk gebouw is het meest betrouwbare resultaat gebruikt.

2.2.2.1 Eigen inschatting (gebeurt automatisch in QGIS tools)

Voor woningen waarvoor geen label geregistreerd staat in de RVO database kennen we het energielabel toe dat statistisch gezien het vaakst voorkomt in een bepaalde woningcategorie. Meer specifiek geven we elke woning een energielabel op basis van de volgende tabel:

Woningtype → Bouwjaarklasse ↓	Vrijstaand	Twee-onder-één kap/hoekwoning	Tussenwoning	Hoogbouw- woning
< 1930	G	G	G	G
1930 – 1945	G	F	F	F
1946 – 1964	F	E	E	E
1965 – 1974	D	D	D	D
1975 – 1991	C	C	C	C
1992 – 1995	B	B	B	C
1996 – 1999	B	B	B	B
2000 – 2005	B	B	A	B
2006 – 2010	A	A	A	A
2011 – 2014	A	A	A	A
2015 – 2020	A	A	A	A

2.2.2.2 RVO database (gebeurt automatisch in QGIS tools)

De RVO database van alle verblijfsobjecten bevat de afgemelde energielabels. Voor de meeste woningen kan worden aangenomen dat dit ook een goede inschatting is van het schillabel. Er treden in de praktijk twee effecten op die een afwijking hierop kunnen veroorzaken. *Enerzijds* heeft circa één op de acht (12,5%) van de woningen in Nederland zonnepanelen [bron], waardoor het RVO-label van die woningen in de meeste gevallen beter is dan het schillabel met ca. 1 of 2 labelstappen. *Anderzijds* zijn er ook woningen die na het afmelden van het RVO-label nog verder geïsoleerd zijn maar geen nieuw RVO-label hebben gekregen. Dit is met name het geval bij isolatiemaatregelen die niet samenvielen met de verkoop van de woning. In die gevallen is het RVO-label lager dan het daadwerkelijke schillabel.

Voor *oude* woningen met een *schillabel* A of B maken we hierop een uitzondering. Het is aannemelijk dat in deze groep woningen een groter percentage woningen met zonnepanelen is dan het landelijk gemiddelde van 12,5%. We kunnen dus aannemen dat deze woningen over het algemeen niet schillabel A of B hebben maar een lager schillabel. Hieronder wordt getoond voor welke woningen deze uitzondering gemaakt wordt.

<i>Woningtype →</i>	<i>Vrijstaand</i>	<i>Twee-onder-één kap/hoekwoning</i>	<i>Tussenwoning</i>	<i>Hoogbouw- woning</i>
Maximaal schillabel C voor woningen met bouwjaar tot ...	1991	1991	1991	1995
Maximaal schillabel B voor woningen met bouwjaar tot ...	2005	2005	1999	2005

Dit is in lijn met de bouwjaargrens vanaf dewelke label A en B het meest frequentie energielabel worden (zie '2.2.2.1 Eigen inschatting (gebeurt automatisch in QGIS tools)'). Deze aanname is met name belangrijk voor het berekenen van de warmtevraag van een woning *na* isolatie (zie '2.3.5 Warmtevraag na isolatie').

2.2.2.3 *Ontvangen informatie van gebouweigenaar (meest accuraat, handwerk)*

Als een gebouweigenaar zoals een woningcorporatie gegevens beschikbaar kan stellen over haar bezit, is dit wellicht de meest accurate manier om het schillabel te bepalen. Echter is het schillabel zelf zelden of nooit als dusdanig beschikbaar. In dat geval kan je twee dingen doen: (1) het schillabel terugrekenen vanaf het meest recente energielabel door te corrigeren voor niet-schil-gerelateerde maatregelen of (2) het energielabel theoretisch bepalen a.h.v. gebouweigenschappen zoals isolatiewaarden. Dit laatste is bijna nooit mogelijk, en altijd complex en gevoelig voor onvolledigheid van de informatie.

Het schillabel terugrekenen van vanaf het meest recente energielabel is een haalbaardere aanpak. Via de volgende stappen:

1. Bepalen van de energie-index: soms kan een gebouweigenaar deze precies aangeven. Anders kan je een inschatting maken op basis van het energielabel m.b.v. onderstaande tabel:

Grenswaarden Energie- Index (EI)	Energieprestatie- indicator
Kleiner of gelijk aan 1,20	A
1,21–1,40	B
1,41–1,80	C
1,81–2,10	D
2,11–2,40	E
2,41–2,70	F
Groter dan 2,70	G

2. De energie-index verhogen met een bepaalde waarde om het effect van de zonnepanelen ongedaan te maken. Je kan rekenen met een correctie van 0.4 energie-indexpunt, of een betere methode bedenken a.h.v. de officiële rekenregels. Een aantal rekenvoorbeelden vind je [hier](#).
3. De gecorrigeerde energie-index weer omzetten naar een energielabel, wat nu een goede inschatting is van het schillabel.

2.3 Schilverbeteringen woningen – vraagreductie en investeringskosten

2.3.1 Afgiftetemperatuur

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

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

2.3.2 Vereist schillabel voor elke afgiftetemperatuur

De *Warmtetoel* definieert voor elk van de vier **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.

<i>Afgiftetemperatuur</i>	<i>Vereist schillabel woningen</i>	<i>Vereist schillabel utiliteiten</i>
90 °C	G	G
70 °C	D	D
50 °C	A of B <i>afh. van bouwjaar & type (zie onder)</i>	A
40 °C	A	A

Bij verwarming op 50 °C en 40 °C is naast isolatie ook een verandering in **ventilatiesysteem** en **warmte-afgiftesysteem** noodzakelijk. In de *Warmtetoel* zijn de kosten voor een verbeterd, geschikt ventilatiesysteem opgenomen in de kosten voor isolatiemaatregelen. De kosten voor een lage-temperatuur afgiftesysteem worden er later bij opgeteld.

Bij woningen hangt de schillabel-eis voor 50 °C af van het bouwjaar en woningtype. In sommige bouwperiodes, met name voor de jaren '60-'70-'80 werden radiatoren dusdanig over-gedimensioneerd dat een woning met schillabel B kan verwarmd worden met LT-radiatoren met hetzelfde afgifte-oppervlak. Voor oudere of juist heel recente woningen werd er minder sterk over-gedimensioneerd en halen LT-radiatoren met hetzelfde afgifte-oppervlak en met een afgiftetemperatuur van 50 °C, niet het benodigde afgiftevermogen om i.c.m. schillabel B en de woning warm te maken/houden. Daarom moeten deze woningen naar schillabel A worden geïsoleerd. Een alternatief is het vergroten van het radiator-oppervlak, dit zou bijna altijd goedkoper uitpakken, maar is niet altijd inpasbaar en kan daarom niet als standaard aanname worden meegenomen. De woningen die met label B verwarmd i.c.m. een afgiftetemperatuur van 50 °C verwarmd kunnen worden zijn:

- | | |
|--|----------------------|
| • Vrijstaande woningen | van 1975 t.e.m. 1991 |
| • Hoekwoningen en twee-onder-één-kapwoningen | van 1975 t.e.m. 1999 |
| • Tussenwoningen | van 1965 t.e.m. 1999 |
| • Hoogbouw woningen | na 1975 |

Deze aannames zijn overgenomen uit 'Ecofys/Greenvis - Collectieve warmte naar lage temperatuur' (2016), dat op zijn beurt verwijst naar 'Linard Pronk - The effects of the transition to low temperature district heating on existing buildings' (2016). Beide documenten zijn te vinden in de map 'Bijlagen bij achtergronddocument'.

Bij utiliteiten is minder bekend over de benodigde schillabels. Daarom is ervoor gekozen om conservatief te zijn in de kosten en label A te eisen voor alle utiliteiten om met 50°C verwarmd te kunnen worden.

2.3.3 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.

<i>Bouwjaarklassen</i>	<i>Woningtypen</i>	<i>Schillabelsprongen</i>
< 1930	Vrijstaande woning	G, F, E ² → D
1930 – 1945	Hoekwoning/twee-onder-	G, F, E, D, C → B
1946 – 1964	één-kapwoning	G, F, E, D, C, B → A
1965 – 1974	Tussenwoning	
1975 – 1991	Hoogbouwwoning	
1992 – 1995		
1996 – 1999		
2000 – 2005		
2006 – 2010		
2011 – 2014		
2015 – 2020		

De gebruikte kengetallen zijn te vinden in het bestand 'WT_woning_sprongkosten.xlsx'. Deze 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/Vesta 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

² Voor elk van deze sprongen is een apart kengetal. Bijvoorbeeld: voor de sprong van G naar D, maar ook van F naar D etc.

bouwjaar klasse (zie boven) een aparte set kengetallen te produceren. Een voorwaarde die hierop is gesteld is dat er minstens 10 datapunten per bouwjaarklasse moeten zijn om een voldoende accurate a en b te kunnen bepalen. Waar dit niet kon, zijn bouwjaarclassen samengevoegd. In extreme gevallen leidde dit tot eenzelfde set van kengetallen voor alle bouwjaarclassen. 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).

2.3.3.1 Bandbreedte op de kengetallen

Voor elk kengetal is een min- en een max-waarde bepaald, omdat de kosten voor isolatiemaatregelen sterk afhankelijk zijn van mogelijke koppelkansen. De max-waarden komen overeen met de kosten op zogenaamde *zelfstandige* momenten: de isolatiemaatregelen kunnen op deze momenten niet worden gecombineerd met andere maatregelen waardoor alle overhead-kosten worden toegerekend aan de isolatiemaatregelen. De min-waarden komen overeen met kosten op natuurlijke momenten: op deze momenten kunnen de isolatiemaatregelen worden gecombineerd met andere maatregelen zoals grondige renovatie, een verhuizing (die vaak samen valt met een renovatie), of herstelwerkzaamheden. Deze situatie doet zich in de praktijk niet heel vaak voor en als de warmtetransitie het tempo wilt halen dat beoogd wordt in het Klimaatakkoord, zullen de kosten vaak veel dichterbij de max-waarde dan bij de min-waarde liggen.

2.3.3.2 Correcties t.o.v. Vesta MAIS kengetallen

Op de Vesta MAIS 5.0 kengetallen zijn nog twee handmatige correcties door ons uitgevoerd om meer coherentie en plausibiliteit in de resultaten te bekomen. Deze correcties verantwoorden we op grond van logica en expert judgement en niet op basis van werkelijke waarden. Echter moet gezegd worden dat de situaties waarop deze handmatige correcties invloed hebben eerder zeldzaam zijn. De handmatige correcties zijn:

- Voor een aantal categorieën was het kengetal voor isolatie naar A gelijk aan 0 (voor alle labels) bij bouwjaar vanaf 2006. Dit is gecorrigeerd door de kengetallen van de bouwjaarklasse 2000 – 2005 ook te gebruiken voor woningen vanaf 2006.
- Voor oude woningen met een erg goed energielabel (C of beter) stelden we in de Vesta MAIS kengetallen een bijzonderheid vast in de kosten voor isolatie naar label A. Deze kosten lagen namelijk significant lager dan de kosten voor dezelfde labelsprong voor woningen van een recenter bouwjaar. We weten niet met zekerheid wat dit effect veroorzaakt, maar mogelijk heeft dit effect eveneens te maken met het verschil tussen energielabel en schillabel. Het is hoe dan ook onlogisch dat een dezelfde schillabelsprong voor oudere woningen meer dan 30% goedkoper is dan voor jongere woningen. Daarom hebben we de kosten kengetallen voor deze labelsprongen gelijk getrokken met de kengetallen voor een grotere labelsprong (bvb van D -> A) binnen dezelfde bouwjaarcategorie.

2.3.4 Bouwkundige en installatietechnische eisen passend bij schillabels

We willen graag onderbouwd kunnen aangeven welke aanpassingen en eisen passend zijn bij de verschillende schillabels. Hiervoor loopt op dit moment een intern onderzoek naar informatie die generiek genoeg is voor de Warmtetoel, maar ook betrouwbaar genoeg is voor in dit achtergronddocument. Deze sectie wordt daarom in een volgende versie verder uitgewerkt. Om alvast een idee te geven, geven we hieronder een aantal tabellen uit eerdere Greenvis-projecten.

LT-warmte op 50 °C					
		voor 1975	1975 t/m 1991	1992 t/m 2005	na 2005
Eengezinswoningen	Aanpassingen afgifte systeem	X	X	X	X
	Ventilatie	X	X		
	HR++	X	X		
	Vloerisolatie	X	X		
	Dakisolatie	X	X		
	Spouwmuur of gevelisolatie	X			
Meergezinswoningen	Aanpassingen afgifte systeem	X	X	X	X
	Ventilatie	X	X		
	HR++	X	X		
	Vloerisolatie	X	X		
	Dakisolatie	X	X		
	Spouwmuur of gevelisolatie	X			

MT-warmte op 70 °C					
		voor 1975	1975 t/m 1991	1992 t/m 2005	na 2005
Eengezinswoningen	Aanpassingen afgifte systeem				
	Ventilatie				
	HR++				
	Vloerisolatie	X			
	Dakisolatie				
	Spouwmuur of gevelisolatie	X			
Meergezinswoningen	Aanpassingen afgifte systeem				
	Ventilatie				
	HR++	X			
	Vloerisolatie				
	Dakisolatie				
	Spouwmuur of gevelisolatie	X			

2.3.5 Warmtevraag na isolatie

Bij een gemaakte schillabelstap hoort een nieuwe warmtevraag. De warmtevraag voor het 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. Voor de redenering hiervoor, zie '2.2.2.2 RVO database (gebeurt automatisch in QGIS tools)'.

2.4 Schilverbeteringen utiliteiten – vraagreductie en investeringskosten

[wordt spoedig toegevoegd in volgende versie achtergronddocument]

3 Warmtenetten

Dit hoofdstuk beschrijft hoe warmtenetten in de Warmtetoel worden doorgerekend op technisch, energetisch en financieel vlak. Een warmtenet bestaat uit technische onderdelen die in 3 categorieën te onderscheiden zijn:

1. Bronnen en toebehoren zoals opslag, en pompen (Sectie 3.4)
2. Leidingwerk (Sectie 3.2)
3. Afnamecomponenten en hulpsystemen (Sectie 3.3)

Het hoofdstuk begint met de technische en energetische doorrekening van het warmtenet, omdat dit nodige input is voor het ontwerp en de begroting van bovenstaande onderdelen. Naast de drie genoemde technische hoofdonderdelen zijn er ook nog kostenposten zoals overhead en onvoorzien (sectie 3.5) en klantzijdige kosten (sectie 3.6).

Dit hoofdstuk gaat in op *initiële* investeringen en *jaarlijks wederkerende* kosten. Herinvesteringen en de verwaarding van restwaarde op het einde van de looptijd van de businesscase worden beschreven in hoofdstuk 6 Financiële analyse: tijd en kernresultaten.

3.1 Techniek en energie

3.1.1 Temperatuurverloop in het warmtenet

Het verloop van de aanvoertemperatuur in het warmtenet wordt als volgt berekend.

1. Vanuit de bron wordt voorwaarts een propagatie van de temperatuur doorheen de componenten van het warmtenet gemaakt tot en met de temperatuur achter de voordeur (oftewel de temperatuur in het afgiftesysteem bij de afnemers). Als deze even hoog of hoger is dan de, door de modelleur geselecteerde, afgiftetemperatuur in het doorgerekende scenario is, dan is het temperatuurverloop gekend.
2. Als temperatuur achter de voordeur uit deze voorwaartse propagatie lager uitkomt dan de ingestelde afgiftetemperatuur, is ergens in de keten opwaardering nodig. Waar deze opwaardering plaatsvindt is opnieuw een keuze, dit kan zijn (1) bij de bron, (2) ter hoogte van de warmte-overdrachtstations of (3) bij de afnemers. Het temperatuurverloop is dan als volgt
 - a. Tot aan de locatie van de warmtepomp gelden de temperaturen die zijn bepaald in de voorwaartse propagatie doorheen het warmtenet.
 - b. Vanaf de warmtepomp, moeten de temperaturen worden bepaald door achterwaartse propagatie vanaf de benodigde temperatuur in het afgiftesysteem.
3. In de warmtetoel worden zowel voorwaartse als achterwaartse propagaties van de temperaturen berekend (Figuur 2). Afhankelijk van de noodzaak van een warmtepomp en de locatie hiervan worden de twee propagaties uiteindelijk gecombineerd tot één temperatuurverloop (zie (Figuur 3)).

Hieronder is voor een voorbeeldscenario de voorwaartse en achterwaartse propagatie zichtbaar (Figuur 2). Op de afbeelding daaronder is te zien hoe het werkelijke temperatuurverloop er dan uit ziet als de modelleur ervoor kiest om op te waarden bij de WOS (Figuur 3).

Aanvoertemperaturen in net, vooruit geredeneerd vanaf bron			Temperaturen in net, achteruit geredeneerd vanaf afgiftesysteem		
Bron, opslag & WP	Aanvoertemperatuur bron	20,0 °C	Aanvoertemperatuur bron	20,0 °C	
	Is hier opslag?	0 <i>flag</i>	Is hier opslag?	0 <i>flag</i>	
	Temperatuur uit bron/opslag	20,0 °C	Temperatuur uit bron/opslag	20,0 °C	
Primair net			Warmtepomp nodig?	1 <i>flag</i>	
	Aanvoertemperatuur primair net	20,0 °C	Aanvoertemperatuur primair net	74,6 °C	
			Is er wel een primair net?	0 -	
	Delta T door verlies primair, incl marge	0,1 K	Aanvoertemperatuur primair net	79,4 °C	
Opslag, WOS & opslag	Aanvoertemp eind primair	19,9 °C	Delta T door verlies primair, incl marge	0,9 K	
			Aanvoertemp eind primair	79,55 °C	
	Is hier opslag?	1 <i>flag</i>			
	Temperatuur uit opslag	18,9 °C	Is hier opslag?	1 <i>flag</i>	
	Aanvoertemp voor WOS	18,9 °C	Aanvoertemp voor WOS	78,55 °C	
	Delta T WOS	5,0 K	Delta T WOS	5,0 K	
	Aanvoertemp na WOS	13,9 °C	Aanvoertemp na WOS	73,55 °C	
Secundair net	Is er wel een WOS?	0 <i>flag</i>	Is hier opslag?	0 <i>flag</i>	
	Aanvoertemp na WOS	18,9 °C			
	Is hier opslag?	0 <i>flag</i>			
Afgifte	Temperatuur uit WOS/opslag	18,9 °C			
	Aanvoertemperatuur aan begin secundair net	18,9 °C	Aanvoertemperatuur aan begin secundair net	73,55 °C	
	Delta T door verlies secundair, incl marge	0,2 K	Delta T door verlies secundair, incl marge	1,6 K	
	Temperatuur aan de voordeur	18,7 °C	Temperatuur aan de voordeur	72,0 °C	
	Delta T afleverset	2,0 K	Delta T afleverset	2,0 K	
	Warmtepomp nodig?	1 <i>flag</i>			
	Afgiftetemperatuur	70,0 °C	Afgiftetemperatuur	70,0 °C	

Figuur 2: Schermafbeelding uit tabblad 'C2-Techniek' van de Warmtetoel - voorwaartse en achterwaartse propagatie van het temperatuurverloop in een warmtenet. De warmtebron is een droge koeler (20 °C) die in deze situatie fungeert als regeneratiebron voor een WKO. De afgiftetemperatuur is ingesteld op 70 °C.



Figuur 3: Temperatuurverloop van het warmtenet in de voorbeelduitwerking hierboven.

De belangrijkste rekenkundige uitgangspunten die worden gehanteerd zijn:

- Temperatuurverlies over WOS: 5°C
- Temperatuurverlies over afleverset: 2°C
- Temperatuurverlies over primair en secundair net: afhankelijk van temperatuur
- Temperatuurverlies in warmte-opslag: afhankelijk van type opslag en temperatuur

3.1.2 Op te wekken warmte (GJ's)

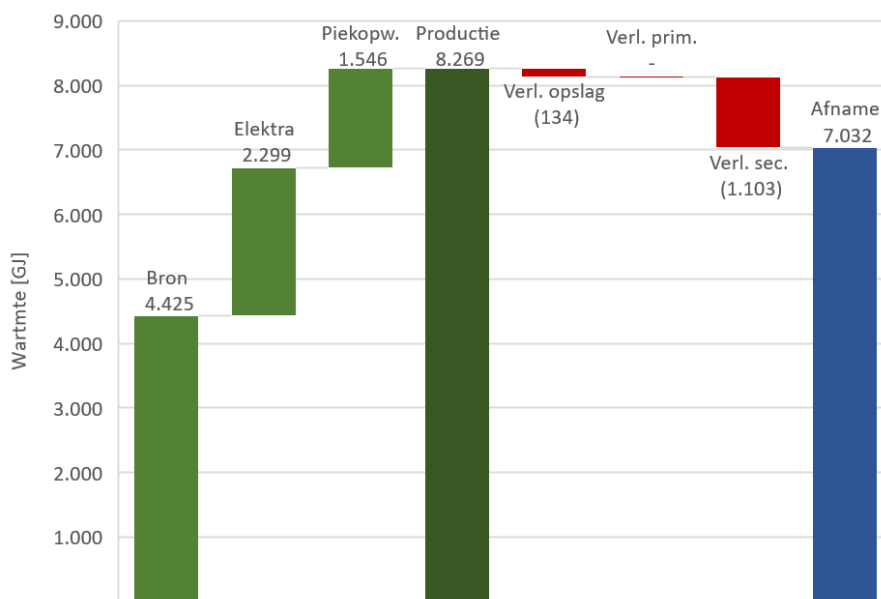
Om de op te wekken warmte per bron te bepalen wordt van de afnemers terug naar de bron geredeneerd. Hiervoor worden de volgende rekenstappen gemaakt

1. De totale warmtevraag volgt uit de eigenschappen van de panden die voor het scenario geselecteerd zijn.
2. Als er opwaardering bij de afnemers is geselecteerd in het scenario, wordt het rendement hiervan berekend. Dit gebeurt op basis van de temperaturen voor en na de warmtepomp (deze volgen uit het eerder berekende temperatuurverloop). Als het rendement gekend is, kan worden berekend

- hoeveel warmte door de warmtepomp wordt opgewekt uit elektriciteit en hoeveel warmte uit het warmtenet nog nodig is.
3. Bij de warmtevraag vanuit het warmtenet wordt een ingeschat warmteverlies in het warmtenet opgeteld. Dit verlies wordt bepaald op basis van het temperatuurregime van het warmtenet. Hierna is geweten hoeveel warmte er totaal nodig is bij de bron.
 4. Deze totale op te wekken warmte wordt onderverdeeld in basislast en pieklast. Met de default instellingen wordt 81% door de basislast en 19% door de pieklast opgewekt (op jaarbasis).
 5. Als er een centrale warmtepomp wordt meegenomen in het scenario, wordt het rendement hiervan bepaald a.h.v. de temperaturen vóór en na de warmtepomp, een theoretische Carnot-cyclus en een systeemefficiëntie van 55%. De warmtepomp fungeert als basislast.
 6. Het rendement en de benodigde opwek uit de warmtepomp worden tot slot vertaald naar een elektriciteitsvraag en opwek uit de primaire warmtebron (zoals ondiepe geothermie of lage temperatuur restwarmte).
 7. Als er geen centrale warmtepomp in het systeem nodig is, wordt het resultaat voor de basislast uit stap 4 meteen opgewekt door de primaire warmtebron.

Voor scenario's waarin warmteopslag wordt gebruikt zijn de rekenstappen wat ingewikkelder, mede omdat er verschil zit in waar de warmteopslag in de keten geplaatst kan worden (direct bij de bron of zo dicht mogelijk bij de WOSsen).

Een voorbeeld van een uitgewerkte warmtebalans is te zien in Figuur 4.



Figuur 4: Voorbeeld van een uitgewerkte warmtebalans in een warmtenet met centrale warmtepomp en piekvoorziening, maar geen primair net.

3.1.3 Op te stellen vermogen of capaciteit (kW's)

Om het op te stellen vermogen per bron te bepalen wordt (opnieuw) vanuit de afnemers gerekend. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat wordt aangenomen dat het verlies op het vermogen nagenoeg verwaarloosbaar is doorheen het warmtenet. In de situatie met een centrale of geen warmtepomp in het warmtenet volgt de berekening onderstaand stappenplan (op hoofdlijnen). In de situatie met pandgebonden water-waterwarmtepompen (bronnet) is de berekening wat complexer maar op hoofdlijnen hetzelfde.

1. Het totale (cumulatieve) benodigde vermogen volgt uit de eigenschappen van de panden die voor het scenario geselecteerd zijn. Deze bestaat uit een component voor ruimteverwarming en (behalve voor sommige utiliteiten) een component voor tapwaterbereiding.
2. Volgens de rekenregels van gelijktijdigheid in warmtenetten wordt hieruit het benodigde gelijktijdige bronvermogen bepaald. Dit gaat volgens de volgende formule.

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

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.

3. Als er backup-opwek in het gekozen scenario wordt meegenomen, wordt deze ontworpen op 100% van het gelijktijdig bronvermogen. Als er geen backup-opwek maar wel piekopwek wordt meegenomen, wordt deze met de default uitgangspunten ontworpen op 70% van het gelijktijdig bronvermogen.
4. Als er een centrale warmtepomp in het gekozen scenario nodig is, dan wordt deze ontworpen op 30% van het gelijktijdig bronvermogen (P_{gel}). Het benodigde thermisch inputvermogen van deze warmtepomp is dan gelijk aan $P_{gel} * \frac{COP-1}{COP}$ (COP = coefficient of performance). Het elektrisch inputvermogen is gelijk aan $P_{gel} * \frac{1}{COP}$.
5. De warmtebron (of extractiesysteem van de warmteopslag) worden ontworpen op 30% van het gelijktijdig bronvermogen of het thermisch inputvermogen van de warmtepomp.
6. In het geval van warmteopslag wordt het vermogen van de bron bepaald a.h.v. het de benodigde hoeveelheid opgeslagen warmte in de opslag en het aantal uren per jaar waarin de opslag kan worden opgeladen.

3.1.4 Pompenergie

De benodigde pompenergie E (in kWh/jaar) voor primaire en secundaire netten wordt berekend a.h.v. de volgende algemene formule

$$E = \Delta p * Q * \frac{1}{\Delta T} * 1,1194 \left[\frac{kWh.K}{bar.GJ} \right]$$

met Δp de opvoerdruk in bar, Q de jaarlijks te transporteren hoeveelheid warmte in GJ en ΔT het verschil tussen aanvoer en retourtemperatuur. De factor 1,1194 is een gemiddelde, bepaald in een analyse van de benodigde pompenergie voor verschillende vraagprofielen. Deze analyse is gebaseerd op de tool "Greenvis - Pompvermogen en -energie 2.1" (voor externen is deze tool niet beschikbaar). De opvoerdruk wordt in de Warmtetoel altijd vastgezet op een default waarde:

- Opvoerdruk primair: 12 bar
- Opvoerdruk secundair: 5 bar

Het benodigde elektrische pompvermogen voor het primair net wordt berekend met de volgende formule:

$$P_{el} = d * 0,48$$

met d het debiet in $\frac{m^3}{hr}$, dat kan worden berekend a.h.v. het thermisch piekvermogen, de ΔT en de soortelijke warmte van water. Deze formule is gebaseerd op de tool "Greenvis - Pompvermogen en -energie 2.1".

Voor de secundaire netten zijn distributiepompen standaard meegenomen in de kosten voor een warmte-overdrachtsstation (WOS).

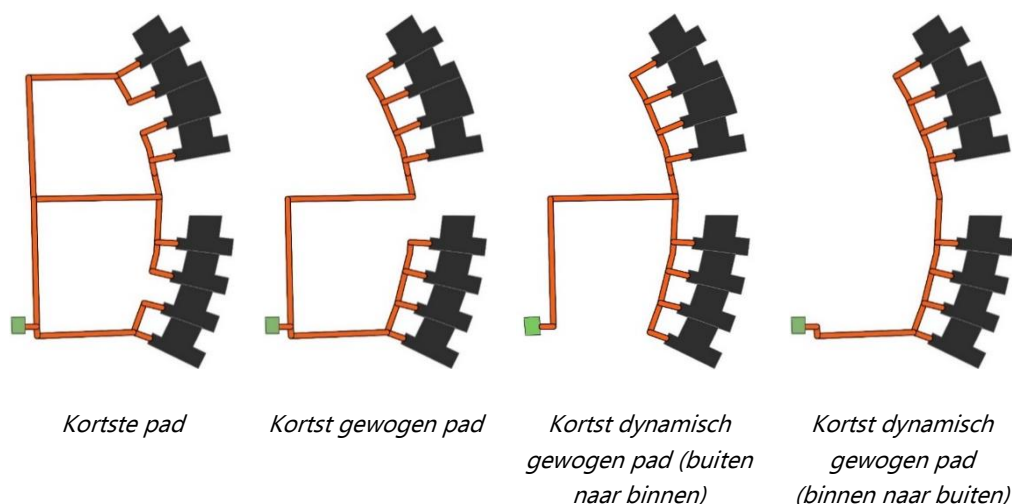
3.2 Leidingwerk

3.2.1 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 kortstepad-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 kortste 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 5 laat illustratief zien wat het effect is van verschillende zoekvolgorden op de uitkomst van het algoritme. Uit een aantal tests (beschreven in memo automatische leidingnetten) blijkt dat een **dynamische factor 0.3** en een aansluitrichting van **binnen naar buiten** een zeer goed en ook stabiel resultaat oplevert.



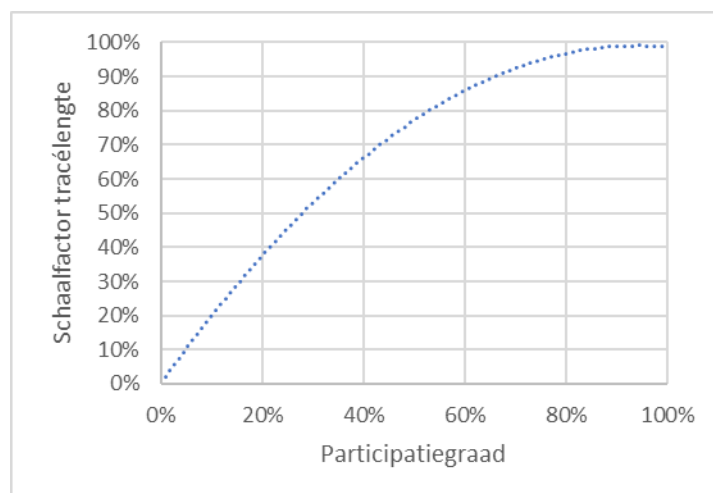
Figuur 5: Illustratie van de werking van het dynamisch gewogen kortstepad algoritmeBronleiding

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 uiteraard bepaald a.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 (zie default waarden).

3.2.2 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.



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 er bij opgeteld.

3.2.2.1 Default waarden

Parameter	Eenheid	Waarde
Drempelwaarde primair	MW	2,5
Lengte bronleiding netten zonder primair tracé	m	240
Lengte bronleiding netten met primair tracé	m	480

3.2.3 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.

3.2.3.1 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 en een dT tussen aanvoer- en retourleiding groter dan 15 °C is 800 €/m. Bij een dT kleiner dan 15 °C is dit 900 €/m (deze situatie komt enkel voor bij zeer lage temperatuur bronnetten).

Bij een **verharding** van 0% asfalt wordt de meterprijs met 30% verlaagd en bij 100% asfalt 30% verhoogd.

Tot slot wordt deze **meterprijs** nog vermenigvuldigd met de **complexiteitsfactor**, die default gelijk is aan 1.

3.2.3.2 Secundair (aansluitleidingen en in pandige 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 3.000 €/afnemer. Voor gvb aansluitingen wordt gerekend met een totaalprijs van 10.000 €/afnemer.

3.2.3.3 Secundair (in pandige 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 in pandige verdeelleidingen zijn om de warmte van een centrale afleverset te verdelen naar de aparte verblijfsobjecten.

Bij individuele aansluitingen, wordt in pandig leidingwerk begroot. Dit wordt gedaan op basis van één vast kengetal per afnemer: € 2.000, inclusief stijgleidingen en aansluitleidingen.

3.2.3.4 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. de volgende tabel:

Tabel 1: Diameters, flows en integrale meterprijzen van warmteleidingen.

Nominale diameter [mm]	Max flow [kg/s]	Meterprijs [€/m]
DN1000	2269,69	€ 8.299
DN900	1828,62	€ 6.971
DN800	1452,60	€ 5.767
DN700	1105,78	€ 4.688
DN600	811,08	€ 3.735
DN500	507,68	€ 2.906
DN450	381,31	€ 2.539
DN400	276,86	€ 2.202
DN350	209,79	€ 1.897
DN300	149,22	€ 1.624
DN250	94,64	€ 1.381
DN200	52,11	€ 1.170
DN150	25,93	€ 990
DN125	15,74	€ 912
DN100	9,11	€ 841

Van het deel van het primair net tussen het einde van de bronleiding en de warmte-overdrachtstations (WOSsen) weten we dat de diameter aan het begin gelijk is aan die van de bronleiding, maar dat deze vertakt en over het algemeen verlaagt richting WOSsen. Hoeveel de gemiddelde diameter verlaagt hangt

af van het aantal vertakkingen. We berekenen de gemiddeld gewogen flow door de bronflow te vermenigvuldigen met een correctiefactor die wordt afgelezen uit de volgende tabel.

<i>Aantal WOSsen</i>	<i>Factor</i>
1	100%
2	60%
5	50%
10	40%
25	30%

Na het bepalen van de gewogen gemiddelde flow wordt de diameter en bijhorende integrale meterprijs uit tabel x gehaald.

3.2.4 Onderhoudsbegroting

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

3.3 Aflevercomponenten en hulpsystemen

3.3.1 Aflevercomponenten zonder opwaardering bij afnemers

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 (€ 1.050 totaalcost incl. warmtemeter) Voor grootverbruikers wordt de kost berekend met een vast en variabel deel:

$$kost = €15.800 + 3,7 \frac{€}{kW} \cdot P$$

Met P het aansluitvermogen van de afnemer.

3.3.2 Aflevercomponenten met opwaardering bij afnemers

Wanneer de aanvoertemperatuur uit het warmtenet onvoldoende hoog is voor de behoefte van de afnemer, is opwaardering (i.e. verhoging van de aanvoertemperatuur) nodig. Tapwater heeft altijd 60°C nodig, het CV-systeem heeft een temperatuurbehoefte die afhangt van het gekozen scenario in de Warmtetoel.

Er zijn zes situaties te onderscheiden, deze worden in onderstaande tabel weergegeven. $T_{a,vd}$ staat voor de aanvoertemperatuur van warmtenet achter de voordeur, T_{CV} staat voor de gekozen afgiftetemperatuur.

		<i>Optimaal type opwaardering (geïmplementeerd in de Warmtetoel)</i>	
$T_{a,vd}$	$T_{a,vd}$		
$> T_{CV}$	$> 60^{\circ}C$	→	Geen (kosten zie 3.3.1)
$> T_{CV}$	Tussen 50°C en 60°C	→	ITW (indirect tapwaterset = elektrische naverwarmer)
$> T_{CV}$	$< 50^{\circ}C$	→	Booster warmtepomp met buffervat voor tapwater
$< T_{CV}$	$> 60^{\circ}C$	→	Water-water ruimtewarmtepomp
$< T_{CV}$	Tussen 50°C en 60°C	→	ITW <u>en</u> water-water ruimtewarmtepomp
$< T_{CV}$	$< 50^{\circ}C$	→	Combi-warmtepomp

Voor elk type van opwaardering bij de afnemer zijn aparte kostenkengetallen opgenomen in de Warmtetoel, met ook onderscheid naar kleinverbruikers en grootverbruikers: De rendementen van deze

componenten worden per scenario berekend, zie **Error! Reference source not found. Error! Reference source not found.**

3.3.3 Hulpsystemen en overdrachtstations

Zoals beschreven in Primair en secundair tracé, dicteert het bronvermogen 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 ≤ 2.500 kW $\rightarrow$ geen WOS
- Bronvermogen > 2.500 kW $\rightarrow$ aantal WOSsen = ROUNDUP(bronvermogen / 2.500 kW)

De Warmtetoel hanteert voor een WOS een vaste, integrale kost van € 130.000 per WOS.

Naast de WOS heeft een warmtenet nog een aantal kleinere hulpsystemen nodig zoals filters, waterbehandeling etc. Deze hulpsystemen worden begroot op 1% van de kosten van het leidingwerk (primair + secundair + aansluitleidingen).

3.4 Warmtebronnen: investeringen, onderhoud en energie

3.4.1 Investeringskosten en onderhoud warmtebronnen

De investeringskosten van de verschillende warmtebronnen in het warmtenet hangen grotendeels af van de ontwerpcapaciteit van de bronnen. Hoe deze bepaald wordt is toegelicht in 3.1.3 Op te stellen vermogen of capaciteit. 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 Warmtetoel.

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.

3.4.2 Energiekosten en -belastingen warmtebronnen

Elk type warmtebron (basisbron, piekbron of warmtepomp) heeft ook een jaarlijkse variabele kostencomponent, bestaande uit de energiekosten en energiebelastingen (voor elektriciteit en gas). Energiekosten bestaat uit (1) bronspecifieke inkoop van bvb. brandstof of warmte en (2) elektrische energie. Enkele voorbeelden van bronspecifieke inkoop:

Type warmtebron	Bronspecifieke inkoop
Biomassa-centrale	Geschikte & gecertificeerde biomassa
Restwarmte	Warmte aan gecontracteerde warmteprijs met producent.
Aquathermie	Geen (warmte zelf meestal gratis)
Geothermie	Geen (warmte zelf gratis)
Pieketel op aardgas	Levering aardgas
Warmtepomp voor opwaardering temperatuur	Levering elektriciteit

De benodigde elektrische energie voor onttrekking van warmte uit een bron wordt uitgedrukt met een bronspecifieke COP (coefficient of performance) voor onttrekking. Deze is relatief laag voor lage temperatuur warmtebronnen zoals aquathermie (COP van 20) en relatief hoog voor hoge temperatuurbronnen zoals HT restwarmte en geothermie (COP van 80-100). Een lagere COP resulteert in

hogere elektrakosten. Dit is in de meeste gevallen een relatief kleine kostenpost op de totale kosten van het warmtenet.

Op de inkoop van aardgas en elektriciteit worden energiebelasting en opslag duurzame energie geheven. De berekening hiervan volgt de officiële staffelmethodiek en de tarieven worden elk jaar bijgewerkt.

3.4.3 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:

<i>Post</i>	<i>Kengetal</i>
Elektriciteitsaansluiting: eenmalige aansluitkosten	70 €/kWe
Elektriciteitsaansluiting: vaste jaarlijkse kosten	30 €/jaar/kWe
Aardgasaansluiting: eenmalige aansluitkosten	25 €/(m ³ /hr)
Aardgasaansluiting: vaste jaarlijkse kosten	20 €/jaar/(m ³ /hr)

3.5 Overheadkosten en post onvoorzien

3.5.1 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 ontworpen 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 ingecalculeerd. De praktijk leert dat er altijd onvoorziene 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 **150 € per afnemer**.

3.5.2 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 **45 € 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 € 200.000 winst en 21,7% 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.

3.6 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.

3.6.1 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 afleverset. De aansluitbijdrage is de verzamelnaam voor de Bijdrage aansluitkosten (BAK) en de kostendeckingsbijdrage (KDB).

Voor alle afnemers geldt dat warmtevraag en het aansluitvermogen worden bepaald uit de GIS dataset zoals beschreven in Huidige warmtevraag en vermogen en 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.

<i>Tarief</i>	<i>Waarde (ex. btw)</i>	<i>Bron</i>
Warmtetarief kleinverbruik	21,51 €/GJ	ACM 2020 maximum
Warmtetarief grootverbruik	19,39 €/GJ	10% korting t.o.v. kleinverbruik
Netbeheerkosten kleinverbruik	400 €/aansluiting/jaar	ACM 2020 maximum
Netbeheerkosten grootverbruik	10 €/kW/jaar	Ervaringsgetallen Greenvis
Aansluitbijdrage kleinverbruik	3.728 €/aansluiting	ACM 2020 maximum voor de BAK
Aansluitbijdrage grootverbruik	50 €/kW	Ervaringsgetallen Greenvis

3.6.2 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 2.3 Schilverbeteringen woningen – vraagreductie en investeringskosten.

Vanaf label B wordt aangenomen dat er ook een verbeterd ventilatiesysteem nodig is om het binnenklimaat gezond te houden. Ook dit wordt beschreven in 2.3 Schilverbeteringen woningen – vraagreductie en investeringskosten.

3.6.3 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 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 € 2.232 per woning (natuurlijk moment³: € 680 en zelfstandig moment: € 2.680).

3.6.4 Inpassen afleverset: 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 afleverset komt te hangen.
- Aansluiten van de afleverset op de bestaande installatie. Vaak moeten hiervoor in een pand nog extra leidingen worden aangelegd. Deze leidingen moeten ook netjes worden afgewerkt.

Voor deze kosten wordt een vast bedrag aangerekend van

- € 3.000 voor kleinverbruik, grondgebonden aansluitingen,
- € 1.500 voor kleinverbruik aansluitingen in gestapelde bouw, en
- € 11.500 + 50 €/kW voor grootverbruik aansluitingen

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

3.6.5 Andere kosten voor aardgasvrij maken van woning: (voorlopig) buiten scope Warmtetoel

Om gebouwen volledig aardgasvrij te maken, zijn er nog een aantal andere maatregelen nodig die (voorlopig) niet in de scope van de Warmtetoel zitten. Het gaat om:

- Aardgas afsluiten
- CV-ketel afvoeren
- Dak repareren waar rookgasafvoer doorheen ging
- Asbestsanering (indien van toepassing)
- Gasloze kookvoorziening

³ Een natuurlijk moment voor een gebouwmaatregel betekent dat de maatregel kan worden gecombineerd met andere gebouwaanpassingen zoals grootschalig(e) onderhoud of renovatie.

Deze kosten zijn niet onderscheidend tussen verschillende aardgasvrije opties, en zijn daarom niet meegenomen in de Warmtetool. Mogelijk wordt de scope van de Warmtetool in de toekomst aangepast met als doel om meer complete inschatting te kunnen maken van het totale kostenplaatje.

4 Individuele warmtepompen

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) [bèta concept in huidige versie Warmtetoel]

4.1 All-electric warmtepompen (lucht en bodem)

4.1.1 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. Het outputvermogen wordt per gebouw bepaald in Gebouwanalyse – warmtevraag en verbeteringen. Onderstaande tabel geeft aan welke kostenkengetallen de Warmtetoel hanteert in functie van het type en de afgiftetemperatuur.

Type warmtepomp	Afgiftetemperatuur	Kost
Lucht-water warmtepomp	40 °C of 50 °C	7.000 € + 300 €/kW
Lucht-water warmtepomp	70 °C	9.000 € + 450 €/kW
Lucht-water warmtepomp	90 °C	11.000 € + 600 €/kW
Bodem-water warmtepomp	40 °C of 50 °C	10.000 € + 540 €/kW
Bodem-water warmtepomp	70 °C	12.000 € + 690 €/kW
Bodem-water warmtepomp	90 °C	14.000 € + 740 €/kW

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.

4.1.2 Jaarlijkse energie- & netbeheerkosten en energiebelasting

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 2: Rekenwaarden voor de jaargemiddelde COP (sCOP) voor ruimteverwarming.

Afgiftetemperatuur	Lucht-water WP	Bodem-water WP
40 °C	4,3	5,6
50 °C	3,6	4,4
70 °C	2,8	3,2
90 °C	2,3	2,6

Voor tapwaterbereiding wordt gerekend met een gemiddelde COP van 2,2 voor lucht-water warmtepompen en 2,5 voor bodem-waterwarmtepompen.

De leveringskosten voor het elektraverbruik van de warmtepomp kan nu worden berekend a.h.v. de warmtevraag voor ruimteverwarming en tapwater, het rendement en het leveringstarief. Voor het tarief wordt gerekend met 6,6 ct/kWh.

Afnemers van elektriciteit betalen ook Energiebelasting (EB en Opslag Duurzame Energie (ODE). Wegens beperkingen in de achterliggende opbouw van de data is het in de huidige versie van de warmtepomp niet mogelijk om onderscheid te maken naar verschillende staffels. Daarom wordt gerekend met de tarieven voor EB en ODE uit de eerste staffel: respectievelijk 9,77 en 2,73 ct/kWh.

Netbeheerkosten blijven vaak gelijk bij de overstap op warmtepompen. In sommige gevallen moet echter de elektra-aansluiting van het gebouw worden verzwaaard naar bvb. 3x35A. Of dit moet gebeuren hangt af van meerdere factoren, zoals:

- Benodigd e-vermogen van de nieuwe warmtepomp.
- Hoeveel marge er is om met 3x25A uit de voeten te kunnen.
- Of er nog andere apparaten met hoog vraagvermogen zijn in de woning, zoals een elektrische auto, sauna of jacuzzi.

Bij verzwaring naar 3x35A verhogen de vaste lasten (met name capaciteitstarief) aanzienlijk, van ca. 230 €/jaar naar ca. 890 €/jaar (incl. BTW) (Bron: Stedin tarieven 2020).

De Warmtetoel rekent standaard niet met een verhoging van de netbeheerkosten, maar de gebruiker kan deze verhoging wel eenvoudig aanzetten. In dat geval wordt gerekend met een verhoging van de kosten van 540 €/jaar.

4.1.3 Isolatie en aanpassing ventilatie

Zie 3.6.2

4.1.4 Aanpassing naar een lage-temperatuur afgiftesysteem

Zie 3.6.3

4.1.5 Inpassen warmtepomp: bouwkundige en installatietechnische aanpassingen

In bestaande bouw zijn meestal nog 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

- € 3.000 voor kleinverbruik, grondgebonden aansluitingen.
- € 1.500 voor kleinverbruik aansluitingen in gestapelde bouw.
- € 11.500 + 50 €/kW voor grootverbruik aansluitingen.

4.1.6 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:

$$K = L * 110 \frac{\text{€}}{\text{m}}$$

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.

4.2 Hybride warmtepompen [bèta]

Belangrijke opmerking: *In de huidige versie van de Warmtetoel worden hybride warmtepompen enkel goed doorgerekend voor kleinverbruik aansluitingen. Dit heeft te maken met het feit dat de huidige structuur van de berekening niet eenvoudig toelaat om een goed onderscheid te maken tussen klein- en grootverbruik aansluitingen.*

4.2.1 Aanschaf en onderhoud

De hybride warmtepomp is een alternatief waarbij een deel van de warmte door individuele warmtepompen wordt opgewekt en een deel door een aardgasketel. Doordat de ketel op de koudste momenten flexibel kan bijspringen, kan de warmtepomp klein en goedkoop worden gehouden, terwijl er toch een flinke reductie in het aardgasverbruik wordt behaald.

De Warmtetoel gaat uit van het behoud van de bestaande gasketel en het toevoegen van een losse, kleine luchtwarmtepomp. Om te bepalen wat de capaciteit van deze warmtepomp moet zijn gaan we uit van de volgende waarden

Tabel 3: Inzet en kosten voor hybride warmtepompen in de Warmtetoel. Bij zowel vermogen als jaarproductie gaat het om ruimteverwarming. Tapwater wordt voor 100% door de gasketel verwarmd.

Afgiftetemperatuur	Aandeel WP in totaal vermogen (bèta-factor) [kW/kW]	Aandeel WP in jaarproductie [GJ/GJ]	Kost
90 °C	20%	40%	3.000 €+ 300 €/kW
70 °C	25%	60%	3.000 €+ 300 €/kW
50 °C	30%	25%	3.000 €+ 300 €/kW
40 °C	40%	80%	3.000 €+ 300 €/kW

De vermelde kosten zijn integrale kosten inclusief binnen-unit, buiten-unit en installatiekosten.

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

4.2.2 Jaarlijkse energie- & netbeheerkosten en energiebelasting

De jaarlijkse energierekening voor warmte bestaat uit een component aardgas en een component elektriciteit. De verdeling van de inzet van de ketel en de warmtepomp wordt bepaald a.h.v. Tabel 3. Voor aardgas wordt gerekend met een gasprijs van 32 ct/m³. Om het elektraverbruik te bepalen gaat de Warmtetoel voor de hybride warmtepomp uit van dezelfde rendementen als voor de lucht-water warmtepomp, omdat het in essentie dezelfde technologie is. Zie hiervoor 4.1.2. Ook wordt hetzelfde elektratarief gehanteerd.

In alle andere alternatieven in de Warmtetoel vallen de netbeheerkosten voor aardgas weg na transitie, maar voor hybride warmtepompen moet deze worden behouden. Daarom rekenen we met 213 €/jaar/adres aan vaste netbeheerkosten, zonder onderscheid naar groot- en kleinverbruikers.

Bij hybride warmtepompen is verzware van de elektra-aansluiting bijna nooit nodig, dus hiervoor wordt niets aangerekend.

Energiebelasting wordt berekend zoals bij all-electric warmtepompen: alles in de eerste staffel met tarieven van 2020. Verschil hierbij is dat ook op aardgas energiebelasting en ODE wordt betaald.

4.2.3 Instandhouding gasnet

De netbeheerder moet kosten maken voor het in stand houden van het gasnet. De Warmtetoel gaat hiervoor uit van een jaarlijkse kapitaallast van 12 €/m/jaar en onderhoudskosten van 3,8 €/m/jaar. De lengte voor het te behouden lage-druk gasnet 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.

4.2.4 Isolatie en aanpassing ventilatie

Zie 3.6.2

4.2.5 Aanpassing naar een lage-temperatuur afgiftesysteem

Zie 3.6.3

4.2.6 Inpassen warmtepomp: bouwkundige en installatietechnische aanpassingen

In bestaande bouw zijn meestal nog 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.

Voor deze kosten wordt een vast bedrag aangerekend van

- € 3.000 voor kleinverbruik, grondgebonden aansluitingen.
- € 1.500 voor kleinverbruik aansluitingen in gestapelde bouw.
- € 11.500 + 50 €/kW voor grootverbruik aansluitingen.

5 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.

5.1 Exploitatiesubsidie: SDE++

Sommige collectieve warmtebronnen maken aanspraak op SDE++ subsidie. De volgende eigenschappen hiervoor zijn overgenomen uit het SDE++ eindadvies 2020:

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

De volgende warmtebronnen in de Warmtetoel worden doorgerekend met SDE++ subsidie:

- LT restwarmte uit datacenters of supermarkten
- Biomassa
- Warmte uit RWZI effluent (TEA) of oppervlaktewater (TEO)
- Geothermie: ondiep, diep en ultradiepe
- Zonthermie: op veld en op dak

5.2 Investeringsubsidies (ISDE)

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
Lucht-water	1.020 € +100 €/kW
Bodem-water	2.320 € +80 €/kW
Hybride	1.000 € +100 €/kW
Water-water (bijv. bij bronnetten)	2.800 € +125 €/kW

Sinds 1 januari 2021 vallen isolatiemaatregelen (voorheen onder SEEH-subsidie) onder ISDE. Dit is nog niet verwerkt in de huidige versie van de Warmtetoel, waarin isolatiemaatregelen niet gesubsidieerd worden.

5.3 Projectsubsidie (bijv. PAW)

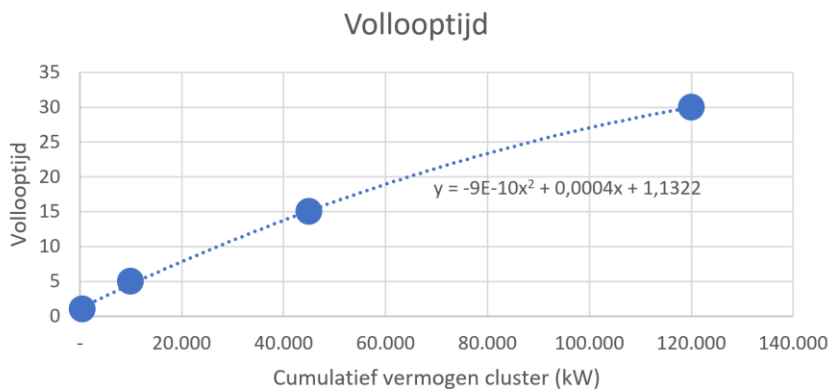
De gebruiker van de Warmtetoel kan eenvoudig een eenmalige projectsubsidie meenemen op het Dashboard. De waarde hiervan is manueel in te vullen en is dus niet gekoppeld aan de kosten van het warmteconcept.

6 Financiële analyse: tijd en kernresultaten

6.1 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 *vollooptijd* bepaalt hoe snel 100% van het cluster is overgestapt op het nieuwe warmteconcept. De vollooptijd kan worden bepaald op twee manieren: automatisch of handmatig. Indien automatisch, dan berekent de Warmtetoel de vollooptijd 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)
- **Extra indexatie gas, elektra en warmte:** Additionele inflatie van energieprijzen bovenop de inflatie. De standaard rekenwaarden zijn 2% voor aardgas en 1% voor elektra en warmte.
- **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: 0.5% per jaar bij 90 °C, 0.25% per jaar bij 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.

De gebruiker van de Warmtetoel kan met een schuifje op het Dashboard eenvoudig schakelen tussen deze default leercurve, een pessimistische leercurve (geen leereffect) of een optimistische leercurve (dubbel leereffect).

6.2 Minimale investeringsstap warmtebronnen

De Warmtetoel hanteert voor warmtebronnen een minimale volloopstap. Dat wil zeggen dat als 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.

6.3 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.

6.4 Actoren en kernresultaten

De Warmtetoel onderscheidt twee soorten kosten:

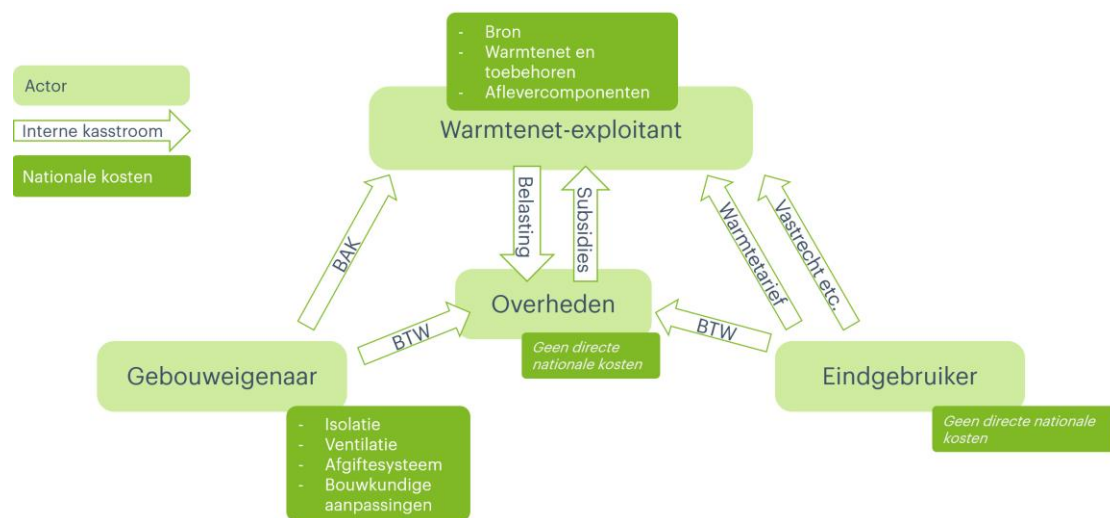
- **Nationale kosten**, ofwel totale systeemkosten.
- **Interne kasstromen**, ofwel kosten tussen stakeholders in het model.

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 jaar⁴. 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.

⁴ Gecorrigeerd voor financieel rendement door toepassing van verdiscontering.



Figuur 6: Voorbeeldsituatie warmtenet - Samenhang tussen stakeholders (actoren), nationale kosten en interne kasstromen.



Figuur 7: Voorbeeldsituatie individuele warmtepompen - Samenhang tussen stakeholders (actoren), nationale kosten en interne kasstromen.

7 Aardgasreferentie

Bij elk doorgerekend scenario wordt ook het referentie-scenario op aardgas berekend. De uitgangspunten van dit scenario zijn:

- Gebouwen behouden hun huidige warmtevoorziening.
- Het gasnet wordt in stand gehouden.
- Er vindt autonome isolatie plaats met een warmtevraagreductie van 0.5% per jaar tot gevolg.

7.1 Gasketel en gasaansluiting

De meegerekende kosten voor gasketels zijn:

- Kleinverbruik: € 1.500 per ketel (uitgangspunt CW4-klasse HR107 ketel)
- Grootverbruik: 140 €/kW
- Onderhoudskosten: 3% van investeringskost per jaar (voor huishoudens komt dit neer op € 45 per jaar).

Gasketels hebben een gemiddelde levensduur van 15 jaar. De Warmtetoel gaat er (bij gebrek aan specifieke informatie) vanuit dat de huidige gasketels gemiddeld midden levensduur zijn en dus over 7 jaar vervangen moeten worden.

Voor de gasaansluiting wordt gerekend met:

- Geen eenmalige aansluitkosten, want woningen zijn al aangesloten
- Netbeheerkosten kleinverbruik: € 213 per jaar per aansluiting
- Netbeheerkosten grootverbruik: 20 €/kW per jaar

7.2 Leveringskosten en energiebelasting aardgas

Het leveringstarief voor aardgas waarmee wordt gerekend bedraagt:

- Kleinverbruik: 32 ct/m³
- Grootverbruik: 21 ct/m³

Over levering van aardgas worden energiebelasting en Opslag Duurzame Energie geheven. De berekening hiervan volgt de officiële staffelmethodiek en de tarieven worden elk jaar bijgewerkt.

7.3 Instandhouding gasnet

De netbeheerder moet kosten maken voor het in stand houden van het gasnet. De Warmtetoel gaat hiervoor uit van een jaarlijkse kapitaallast van 12 €/m/jaar en onderhoudskosten van 3,8 €/m/jaar. De lengte voor het te behouden lage-druk gasnet 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.

7.4 Financiële analyse

Voor de financiële analyse van de aardgasreferentie wordt dezelfde methodiek gebruikt als voor duurzame warmteconcepten, zoals beschreven in Hoofdstuk 6 Financiële analyse: tijd en kernresultaten.