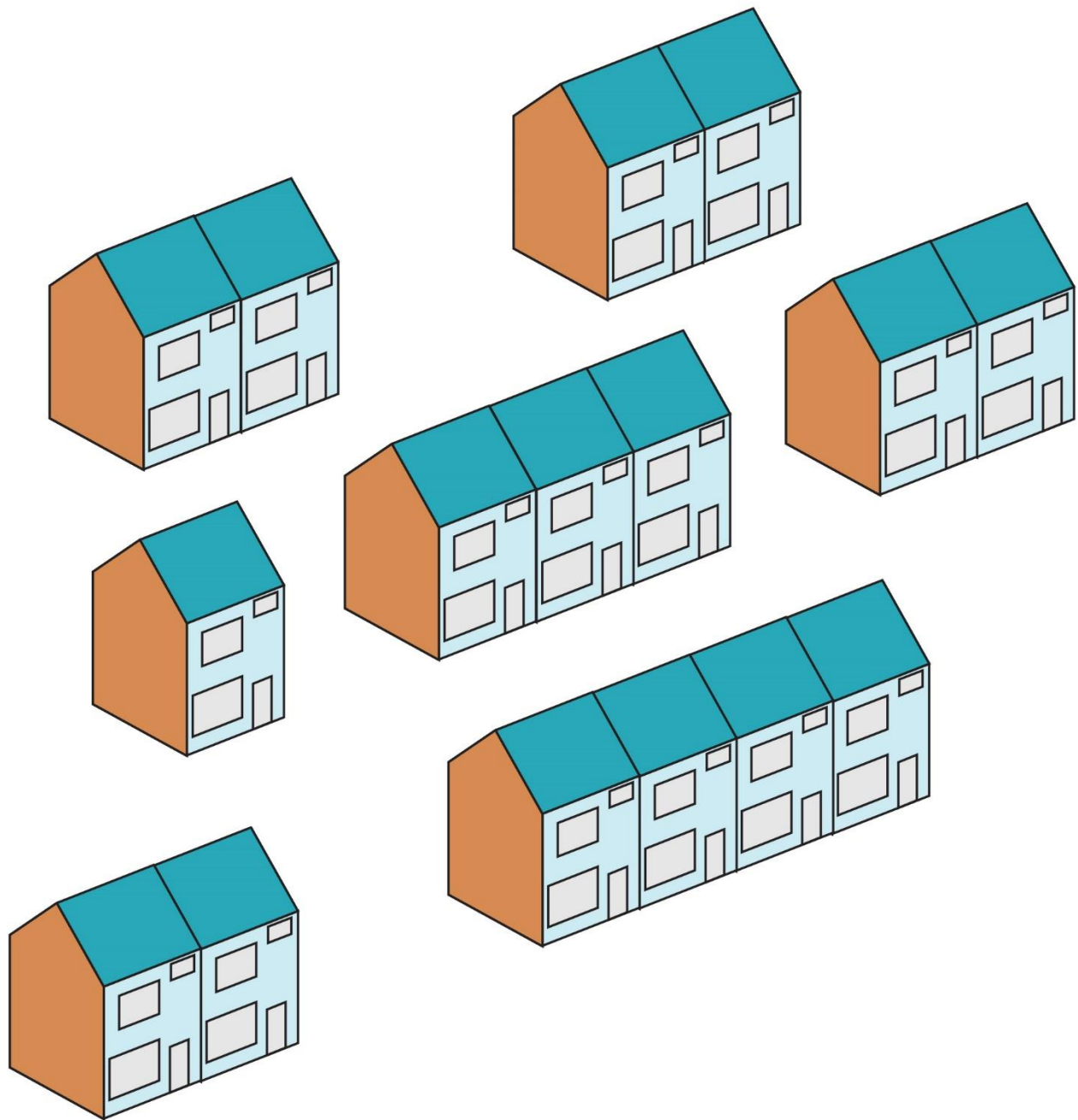


WIJKSCENARIO'S AARDGASVRIJ PADDEPOEL



Onderzoeksverslag Buurtwarmte

Colofon

Groningen, oktober 2019

Kathelijne Bouw MSc

Lectoraat Energietransitie

Entrance – Centre of Expertise Energy

Hanzehogeschool Groningen

Alles uit dit rapport mag worden gebruikt zonder toestemming van de auteur, onder de voorwaarde dat u de bron correct aangeeft:

Bouw, K. (2019). Onderzoeksverslag Buurtwarmte: 'Wijkscenario's Aardgasvrij Paddepoel'.

Hanzehogeschool Groningen, Entrance – Centre of Expertise Energy. Andere voorwaarden zijn dat u dit rapport niet voor commerciële doeleinden gebruikt en dat u uw werk op basis van dit rapport onder dezelfde licentie (CC BY-NC-SA 4.0) verspreidt.

Onderzoeksverslag Buurtwarmte
'Wijkscenario's Aardgasvrij Paddepoel'

Kathelijne Bouw MSc
Lectoraat Energietransitie
Entrance – Centre of Expertise Energy
Hanzehogeschool Groningen
Oktober 2019

Samenvatting

In deze studie zijn vier scenario's voor een aardgasvrije warmtevoorziening in de wijk Paddepoel doorgerekend: 'all-electric', 'hybride', 'warmtenet' en 'waterstof'. In Paddepoel is een lokaal initiatief gestart dat zich bezighoudt met het ontwikkelen van een buurtwarmtenet. Er is gekozen voor een participatieve aanpak waarbij bewoners vanaf het begin van de planvorming bij het initiatief betrokken zijn. In het kader van deze aanpak is ook aandacht besteed aan alternatieve technieken voor een warmtenet om bewoners, die uiteindelijk zelf een keuze moeten maken of ze wel of niet willen aansluiten op het warmtenet, zo te laten zien hoe het warmtenet zich verhoudt tot andere opties. Deze studie heeft beoogd input te leveren voor deze dialoog.

Om de dialoog met bewoners te ondersteunen is behoefte aan gegevens over de kosten en baten van verschillende aardgasvrije opties op woningniveau. Veel informatie is echter algemeen van aard en/of alleen beschikbaar op wijkniveau. In deze studie is een van de meest veelvoorkomende woningtypen, een rijtjeswoning uit de jaren '60 of '70, als uitgangspunt genomen. Vervolgens zijn de investeringskosten, kostenbesparing, haalbaarheid, CO₂-emissiereducties en kosteneffectiviteit (indicatoren) per scenario in kaart gebracht. Hierbij zijn varianten gemaakt die isolatie, zonnepanelen en subsidies wel of niet meerekenen. Om de verschillen aan te geven met andere woningtypen zijn dezelfde berekeningen herhaald voor drie andere woningtypen (twee-onder-een-kapwoning, portiekwoning, flatwoning) die ook voorkomen in de wijk Paddepoel.

Bij het rekenen met verschillende indicatoren (niet alleen kosten), is het selecteren van 'de beste' oplossing niet eenduidig. Per indicator komt steeds een ander scenario als beste uit de bus. Ook het wel of niet meetellen van isolatie en zonnepanelen kan een groot verschil maken tussen een goede en minder goede uitkomst. Het scenario 'warmtenet' zonder isolatie geeft de laagste investeringskosten voor de woningeigenaar en een relatief hoge CO₂-emissiereductie. 'All-electric' met isolatie heeft de hoogste investeringskosten, maar ook de hoogste jaarlijkse besparing en de hoogste CO₂-emissiereductie (samen met 'warmtenet'). 'Hybride' is vooral een effectieve maatregel, met relatief lage investeringskosten kan er relatief veel CO₂ bespaard worden. In absolute zin blijft de kostenbesparing en CO₂-emissiereductie echter beperkt in vergelijking met de andere scenario's. 'Waterstof' komt op alle indicatoren het minst goed uit de bus. Waterstof is vooralsnog erg duur (ca. 4 keer zoveel energiekosten als aardgas) terwijl er – uitgaande van grijze elektriciteit - geen CO₂-emissiereducties tegenover staan. Waterstof lijkt dan ook vooral een toekomstscenario. In slechts één scenario kunnen de investeringskosten binnen 15 jaar worden terugverdiend: hybride in combinatie met zonnepanelen en isolatie.

Bij het maken van de berekeningen blijkt ook dat er nog erg veel onduidelijkheden zijn over diverse kengetallen. Om al in een vroeg stadium van het project inzicht te geven in te verwachten kosten en baten van verschillende wijkscenario's, zal er meer duidelijkheid moeten komen over wat betrouwbare kengetallen zijn. Enkele van zulke onzekerheden die een grote invloed hebben op de uitkomst van de scenarioberekeningen zijn de kosten voor een warmtenet per aansluiting, de efficiëntie van elektrische warmtepompen bij verschillende type woningen en de kosten van (met name verregaande) isolatie.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
Inhoudsopgave.....	5
Voorwoord	6
1 Inleiding	7
1.1 Scenario's.....	7
1.2 Woningtypen.....	7
1.3 Indicatoren	9
1.4 Data en methode.....	9
2 Wijkscenario's.....	13
2.1 All-electric.....	13
2.2 Hybride	14
2.3 Warmtenet	16
2.4 Waterstof	18
3 Scenario's per woningtype	20
3.1 All-electric.....	20
3.2 Hybride	21
3.3 Warmtenet	21
3.4 Waterstof	22
4 Vergelijking van de scenario's en conclusies	23
5 Betrouwbaarheid van de gebruikte data	27
5.1 COP van warmtepompen	27
5.2 Kosten isolatie.....	28
5.3 Kosten warmtenet	28
5.4 Verdeling kosten warmtenet.....	29
5.5 Warmteverliezen in een warmtenet	29
5.6 Kosten all-electric woning.....	30
5.7 Prijs en duurzaamheid waterstof.....	30
5.8 Kosten netverzwaring	30
5.9 Onderhoudskosten (hybride) warmtepomp	31
5.10 Conclusie.....	31
6 Bijlage: Aannames en data	32

Voorwoord

Het project Buurtwarmte richt zich op kleinschalige warmtenetten die in coöperatief verband worden opgezet en/of beheerd. Warmtenetten zijn één van de meest veelbelovende technieken om de warmtetransitie in Nederland vorm te geven. In toenemende mate zijn bewonerscollectieven betrokken bij de realisatie ervan. Het doel van het project Buurtwarmte is om bij te dragen aan de totstandkoming van buurtwarmtenetten door meer inzicht te creëren in de processen die ontwerp en uitvoering van een buurtwarmtenet bepalen. Eén van de onderdelen van dat proces is het in kaart brengen van verschillende alternatieven voor duurzame warmte, en het maken van een keuze tussen deze alternatieven. Deze analyse maakt inzichtelijk of en voor wie een warmtenet een goede optie is in vergelijking met andere alternatieven voor de warmtevoorziening. De intentie is om daarmee input te leveren aan de dialoog met bewoners.

In het kader van dit project is deze studie uitgevoerd naar de verschillende alternatieven voor duurzame warmte aan de hand van een concrete case: de wijk Paddepoel in Groningen. In deze wijk zijn bewoners namelijk bezig zijn met een dergelijk buurtwarmte-initiatief. Bewoners hebben zich verenigd in de energiecoöperatie 'Paddepoel Energiek'. Voor de ontwikkeling van het buurtwarmtenet is een stichting opgericht, 'Buurtwarmte 050', waarin Paddepoel Energiek, Grunneger Power en Shell verenigd zijn. Er is gekozen voor een participatieve aanpak waarin bewoners door de lokale coöperatie betrokken worden bij de planvorming. Hoewel de plannen voor een warmtenet inmiddels behoorlijk gevorderd zijn, bleek het in de discussie met bewoners belangrijk te zijn om aandacht te besteden aan alternatieven, en zodoende ook te laten zien welke technieken het beste passen bij de wijk. De resultaten van deze studie worden gepresenteerd in dit rapport. Tevens zijn de resultaten gepresenteerd op een bewonersbijeenkomst van Buurtwarmte op 13 mei 2019 en tijdens een door de Hanzehogeschool georganiseerde workshop over wijkscenario's op 9 juli 2019.

Dit project is tot stand gekomen dankzij subsidie uit het programma MVI-Energie van de Topsector Energie. De subsidie is verleend aan een consortium bestaande uit Rijksuniversiteit Groningen (penvoerder), Hanzehogeschool Groningen, TNO, Grunneger Power, Gemeente Groningen en Enpuls.

We willen de bewoners uit de wijk Paddepoel graag bedanken voor hun betrokkenheid en hun geïnteresseerde reacties bij het bespreken van de wijkscenario's. We wensen hen veel succes bij het verduurzamen van hun wijk!

1 Inleiding

1.1 Scenario's

De gemeente Groningen heeft 2 verschillende adviesbureaus in kaart laten brengen welke aardgasvrije alternatieven per wijk de voorkeur hebben¹. De resultaten van deze studies zijn niet eenduidig. Voor de wijk Paddepoel berekent CE Delft berekent all-electric als voorkeursscenario terwijl een studie van Quintel uitkomt op een warmtenet. Bij het bepalen van het beste alternatief, is gekeken naar de wijk als geheel. Zo is bijvoorbeeld in de studie van CE Delft gerekend met een gemiddeld energielabel voor de hele wijk. Dit biedt een eerste indicatie voor welk alternatief het beste past bij de karakteristiek van de wijk. Echter is het voor het keuzeprocess van bewoners belangrijk om inzichtelijk te maken wat de consequenties van verschillende alternatieven zijn op woningniveau. In deze studie hebben we daarom per woningtype in kaart gebracht wat de kosten en baten zijn van vier wijkscenario's:

- All-electric (lucht-water warmtepomp)
- Hybride warmtepomp
- Warmtenet
- Waterstof

De eerste drie scenario's zijn de belangrijkste alternatieven voor aardgas. Ook de meeste adviesbureaus rekenen met deze drie scenario's. Wij hebben voor deze studie nog een vierde scenario toegevoegd: waterstof. Uit de gesprekken met bewoners is gebleken dat waterstof door verschillende bewoners als een goed alternatief wordt gezien.

De vier scenario's zijn gebaseerd op de techniek waarmee warmte wordt geproduceerd. Sommige van deze technieken vereisen een bepaalde mate van isolatie, zoals elektrische warmtepompen. Om de scenario's waarin wel en geen na-isolatie vereist is eerlijk met elkaar te kunnen vergelijken berekenen we een variant met en één zonder isolatiepakket. Daarnaast nemen we ook de mogelijkheid van zonnepanelen mee als variant. Bij scenario's die in grote mate afhankelijk zijn van elektriciteit, speelt ook de duurzaamheid van de productie ervan een rol. Een scenario levert dan meer CO₂-emissiereductie op wanneer de elektriciteit zelf wordt opgewekt met zonnepanelen. Ook de mogelijkheden voor subsidie zijn van invloed op het beoordelen van de scenario's op kosten. Daarom zijn voor elk scenario vier varianten berekend:

- Zonder subsidies
- Met subsidie en zonder isolatie
- Met isolatie en subsidies
- Met isolatie en subsidies en zonnepanelen

Voor elk scenario is in kaart gebracht wat de investeringskosten, jaarlijkse kosten en CO₂-emissiereducties zijn. Bij de berekening van kosten is een onderscheid gemaakt tussen:

- Kosten en baten voor de eindgebruiker (de business case voor de eindgebruiker)
- Kosten en baten voor andere partijen dan de eindgebruiker (externe kosten)
- Maatschappelijke kosten en baten (de totale kosten en baten)

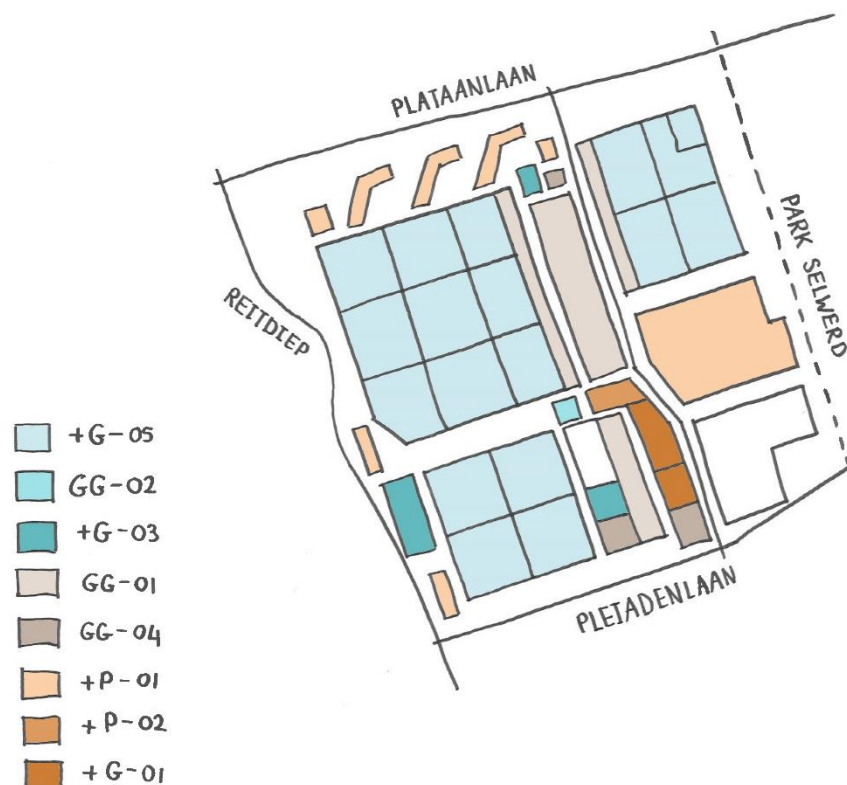
1.2 Woningtypen

Om de consequenties van de vier wijkscenario's op woningniveau in kaart te brengen, zijn de berekeningen uitgevoerd voor enkele veelvoorkomende woningtypen. Figuur 1 laat de meest

¹ CE Delft & Quintel, 2019. Openingsbod Groningen, aanpak en bevindingen. CE Delft: februari 2019.

voorkomende woningtypen in de wijk Paddepoel Noord zien. Een groot gedeelte van de wijk bestaat uit blokken (stempels) van grondgebonden woningen van eind jaren '60 en begin jaren '70. Er staan enkele flats en een deel portiekwoningen uit dezelfde periode. In de periode tussen 2000 en 2010 zijn er enkele grondgebonden woningen en enkele appartementengebouwen bij gekomen. De jaren '70 flats aan de Planetenlaan worden in de loop van 2019 aangesloten op het warmtenet van Warmtestad dat vanaf de Zernikecampus zuidwaarts wordt uitgebreid. De overige woningen in Paddepoel-Noord behoren niet tot het uitbreidingstracé.

Het buurtwarmte-initiatief in de wijk Paddepoel richt zich op zo'n 300-400 woningen in de Noordoostelijke hoek van de wijk, de zogenaamde 'negen stempels'. Deze nagenoeg identieke blokken (de stempels) bestaan uit rijtjeswoningen en 2-onder-1-kap woningen uit de periode 1964-1975. Een groot deel van deze woningen zijn particuliere koopwoningen. Enkele woningen zijn in bezit van woningcorporaties en particuliere verhuurders. Omdat het buurtwarmtenet zich in eerste instantie richt op de 'negen stempels' ligt de focus van deze studie op rijtjeswoningen uit de periode 1965-1974. Ter vergelijking laten we ook de resultaten zien van twee-onder-een-kap woningen en portiekwoningen uit dezelfde periode en van appartementen van na 2000.



Figuur 1. Meest voorkomende woningtypes in Paddepoel. GG = grondgebonden, +P = portiekwoningen en +G is galerijwoningen; 01 = periode 1965-1974, 02 = periode 1975-1985, 03 = periode 1986-1991, 04 = periode 1992-2005, 05 = periode 2005-2019.

Voor deze berekeningen is gebruik gemaakt van de Voorbeeldwoningen van Agentschap NL². We hebben de data van het type 'rijtjeswoning 1965-1974' zoveel mogelijk aangehouden voor de berekening van de typisch Paddepoelse rijtjeswoning. Het energiegebruik hebben we bijgesteld op basis van energieverbruikdata van de wijk op postcode 6 niveau. Omdat de postcodegebieden uit zowel rijtjeswoningen als twee-onder-een-kap woningen bestaan, hebben we het gemiddelde

² Agentschap NL, 2011. Voorbeeldwoningen 2011, bestaande Bouw. Agentschap NL: januari 2011.

genomen van de relevante postcodegebieden voor beide type woningen. In plaats van de gemiddelde 2030 m³ gas bij energielabel E, rekenen wij met 1957 m³ gas³. Voor elektriciteit rekenen we met 2954 kWh in plaats van het gemiddelde 2990 kWh (prijspeil 2017)⁴. In de realiteit zal het energieverbruik van twee-onder-een-kapwoningen hoger zijn dan van rijtjeswoningen, doordat die een groter geveleppervlak hebben en een stukje groter zijn dan rijtjeswoningen. In de voorbeeldwoningen wordt gerekend met een gasverbruik van 3000 m³, wat erg veel lijkt in vergelijking met de werkelijke energieverbruiksgegevens op postcode 6 niveau.

1.3 Indicatoren

Naast directe (investerings)kosten, worden de scenario's ook vergeleken op haalbaarheid en CO₂-emissiereductie door middel van de volgende indicatoren:

- Rate of return (ROI): welk percentage van de meerinvestering na 15 jaar is terugverdiend (meerkosten ten opzichte van een cv-ketel)
- CO₂-emissiereductie (kg CO₂): hoeveel kg CO₂ er jaarlijks wordt bespaard met de maatregel(en)
- Kosteneffectiviteit (€/MgCO₂): hoeveel het kost om 1 ton CO₂ te besparen met de maatregel(en)

Bij de ROI-berekening gaan we ervan uit dat de woning in particulier bezit is, waarbij de eigenaar-bewoner de investering (gedeeltelijk) terug kan verdienen door de besparing op de energierekening. Er wordt hier alleen gekeken naar de meerinvestering ten opzichte van een gasgestookte cv-ketel bij een natuurlijk vervangingsmoment (er is dan geen restwaarde van de ketel). In de huidige situatie is het namelijk zo dat de cv-ketel geen investering is die zich terugverdient, maar een noodzakelijke voorziening. Voor een realistische inschatting van de 'haalbaarheid' van een warmtepomp of andere techniek, kijken we dus alleen naar de meerkosten. Wanneer de cv-ketel nog niet aan het eind van zijn levensduur is, is er wel sprake van restwaarde. Hierdoor kan het beeld in individuele gevallen anders zijn. Daarnaast nemen we aan dat de inflatie en rente beiden 0 zijn.

Bij de kosteneffectiviteitsberekening kijken we naar de totale kosten en baten in relatie tot de CO₂-emissiereductie. Dit geeft een maat voor hoeveel het kost om eenzelfde hoeveelheid CO₂ te besparen ('abatement costs'). Dit is zinvol omdat de verschillende scenario's heel verschillende investeringen kunnen vragen, en het onduidelijk kan zijn is of een duurdere maatregel ook echt beter is wat betreft CO₂-emissies. Om de kosteneffectiviteit te berekenen worden de totale kosten en baten gedeeld door de jaarlijkse CO₂-emissiereductie. De investeringen worden daartoe teruggerekend tot jaarlijkse kosten door die te delen door de afschrijvingsperiode. De afschrijving varieert per maatregel. Isolatie heeft bijvoorbeeld een langere levensduur dan een warmtepomp.

1.4 Data en methode

Om de verschillende scenario's door te rekenen is een Excel model gemaakt. De data die als input dienen voor het model zijn weergegeven in de bijlage (Tabel 16-Tabel 28). In het model wordt eerst een woningtype geselecteerd. De bijbehorende gegevens worden automatisch uit de database geselecteerd (zie Tabel 28). Er is ook een mogelijkheid om het energielabel en energiegebruik van de 'standaard' data uit de database (afkomstig uit de Voorbeeldwoningen van Agentschap NL) handmatig aan te passen (zie Figuur 2). Relevante parameters zijn het huidige gas- en elektriciteitsverbruik van de

³ CBS, 2017. Statline. Energieverbruik buurten en wijken (Paddepoel, Groningen).

⁴ CBS, 2017. Gemiddeld elektriciteitsgebruik per woningtype (tussenwoning).

<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81528NED/table?fromstatweb>

woning, de oppervlakte (waarmee de isolatiekosten worden bepaald), de dakoppervlakte (waarmee de zonneproductie wordt bepaald) en het huidige energielabel (zie Figuur 3). Vervolgens kunnen verschillende opties worden geselecteerd: isolatie, zonnepanelen en subsidies (zie Figuur 4). Per techniek kunnen ook nog een aantal variabelen worden ingesteld, waaronder de efficiëntie, de levensduur, de investeringskosten en het subsidiebedrag.

Keuze woningtype	
woningtype	1c. Rijwoning: 1965-1974
type	grondgebonden
energieverbruik gas (handmatig)	1.957,0
energieverbruik elektriciteit (handmatig)	2.954,0
energielabel (handmatig)	D (huidig)

Figuur 2. Model invoer voor woningtype

Gegevens woning (voorbeeldwoning Agenstschap NL)	
bruto vloeroppervlakte	106 m ²
dakoppervlakte	65,5 m ²
beschikbaar dakoppervlak	30% %
beschikbaar dakoppervlak	19,65 m ²
energieverbruik elektriciteit	2954 kWh
energieverbruik gas	1957 m ³
energielabel	D (huidig)

Figuur 3. Gegevens voor het geselecteerde woningtype

Overige instellingen	
isoleren tot label A bij elektrische warmtepomp	ja
isoleren tot label B bij alle overige maatregelen	nee
zonnepanelen	nee
subsidies	ja

Figuur 4. Selectie van isolatie, zonnepanelen en subsidies

Inputwaarden	
COP warmtepomp	3,5
efficiency hr-ketel	107% %
levensduur warmtepomp	15 jaar
belasting warmtepomp	35% %
aanschafkosten warmtepomp incl installatie (excl. cv-ketel)	5000 euro
subsidies warmtepomp	1500 euro
subsidies	1500 euro
aanschafkosten cv-ketel	1400 euro
natuurlijk vervangsmoment/restwaarde cv-ketel	0 euro

Figuur 5. Inputwaarden techniek (hybride warmtepomp)

Aan de hand van de efficiëntie van de nieuwe techniek en de energie-inhoud van de nieuwe brandstof wordt de nieuwe energievraag voor zowel warmte als elektriciteit berekend. Ruimteverwarming en warm tapwater worden als één warmtevraag meegenomen waarbij de nieuwe techniek in beiden voorziet. In de vraag voor warm tapwater zou ook met een andere techniek kunnen worden voorzien (splitsen van de warmtevraag voor ruimteverwarming en warm tapwater), maar deze optie wordt in dit model niet meegenomen. Vervolgens kan de energievraag worden verlaagd door het toepassen van

isolatie en zonnepanelen. Er worden twee isolatieniveaus onderscheiden: label A in het all-electric scenario en label B in alle andere scenario's. Meer varianten worden in dit model niet berekend.

Voor ieder scenario worden 5 indicatoren berekend. Het resultaat voor een bepaald scenario wordt per indicator weergegeven (zie Figuur 6).

Resultaat	
Investeringskosten eindgebruiker	2771,05 €
Maatschappelijke kosten	18732 €
ROI binnen 15 jaar	19,50% %
emissiereductie (kgCO ₂ /jaar)	22,85% kg/jaar
effectiviteit (€/MgCO ₂ /jaar)	50,71 Mg/jaar

Figuur 6. Resultaat indicatoren

Voor ieder scenario worden de jaarlijkse energiekosten (OPEX) en investeringskosten (CAPEX) in kaart gebracht, opgedeeld in kosten voor de eigenaar-bewoner en externe investeringskosten. Beide kosten samen bepalen de maatschappelijke kosten (totale kosten).

De ROI wordt berekend door de jaarlijkse energiekosten over 15 jaar te delen door de investeringskosten:

$$ROI = \frac{(K_{huidig} - K_{nieuw}) * L}{I}$$

Waarin:

K_{huidig} = de huidige energiekosten per jaar

K_{nieuw} = de nieuwe energiekosten per jaar

I = de initiële investeringskosten

L = de levensduur of afschrijvingstermijn in jaren

De emissiereductie wordt bepaald aan de hand van het jaarlijkse energieverbruik en de emissiefactor (zie Tabel 16) volgens de volgende formule:

$$\Delta M_{CO_2} = (E_{huidig} - E_{nieuw}) * \alpha$$

Waarin:

ΔM_{CO_2} = CO₂-emissiereductie (kg/jaar)

E_{huidig} = het huidige jaarlijkse energieverbruik (kWh/jr)

E_{nieuw} = het nieuwe jaarlijkse energieverbruik (kWh/jr)

α = emissiefactor (kg/kWh)

De kosteneffectiviteit wordt berekend door de som van de investeringskosten per maatregel terug te rekenen naar de jaarlijkse kosten over de afschrijvingstermijn en deze te delen door CO₂-emissie over de levensduur (zie Tabel 23).

$$C_{CO_2} = \frac{\sum \frac{I}{L} + K - B}{\Delta M_{CO_2}}$$

Waarin:

C_{CO_2} = Emissiereductiekosten

I = de initiële investeringskosten

L = de levensduur of afschrijvingstermijn in jaren

K = jaarlijkse kosten

B = jaarlijkse kostenbesparing (baten)

ΔM_{CO_2} = CO₂-emissiereductie (kg/jaar)

2 Wijkscenario's

2.1 All-electric

In het scenario 'all-electric' worden woningen verwarmd met een individuele warmtepomp. We gaan uit van een warmtepomp die gevoed wordt met buitenlucht (lucht-water-warmtepomp) en die voorziet in zowel ruimteverwarming als warm tapwater. Een warmtepomp die gevoed wordt met bodemwarmte is ook een mogelijkheid voor woningen, maar deze (duurdere optie) is in deze studie niet meegenomen. Voor de efficiëntie van de warmtepomp rekenen we een COP (Coefficient of Performance) van 3,5 (zie 5.1).

De warmtepomp zelf kost, afhankelijk van merk en type, ca. € 8.000 (incl. btw en installatiekosten). Daarnaast is er via de ISDE-regeling een subsidie mogelijk van ca. € 2.000. Om de woningen geschikt te maken voor een warmtepomp zijn aanvullende maatregelen nodig. We gaan uit van isolatie tot label A en aanpassing aan het warmteafgiftesysteem met lage temperatuurradiatoren. Het is ook mogelijk om in plaats van lage temperatuurradiatoren voor vloerverwarming te kiezen. Omdat dit een duurder en ingrijpender alternatief is, gaan we in deze studie uit van radiatoren. Het gasfornuis wordt vervangen door een inductiekookplaat. De woningen worden daarmee volledig aardgasvrij. Als veel woningen in de wijk overschakelen op een individuele warmtepomp, moet het elektriciteitsnet worden verzwared. Kosten hiervoor schatten we op zo'n € 5.000 per woning. Ook binnen de woning kunnen aanpassingen aan de elektrische installatie (meterkast) nodig zijn. Voor elektrische aanpassingen rekenen we € 2.500 per woning. In totaal kost het een woningeigenaar ca. € 27.000 om een rijtjeswoning all-electric te maken (zie Tabel 1).

Tabel 1. Overzicht van kosten 'all-electric' voor een rijtjeswoning uit de periode 1964-1975 met label D, inclusief isolatie en subsidies

Maatregelen	Investeringskosten	Externe investeringskosten	Maatschappelijke kosten
Elektrische warmtepomp, incl. installatiekosten	€ 8.000		
Isolatie label D naar A	€ 12.932		
Lage temperatuur radiatoren	€ 1.500		
Zonnepanelen	(€ 3105)		
Inductiekookplaat	€ 1.000		
Afsluitkosten gasnet (Enexis)	€ 732		
Elektrische aanpassingen	€ 2.500		
Regelsystemen en monitoring	€ 2.250		
Verzwarend elektriciteitsnet		€ 5.000	
<i>Subtotaal</i>	<i>€ 28.914</i>	<i>€ 5.000</i>	<i>€ 33.914</i>
Subsidies	-€ 2.000	€ 2.000	-
<i>Totaal</i>	<i>€ 26.914</i>	<i>€ 7.000</i>	<i>€ 33.914</i>

Tabel 2 toont de kosten en baten van het all-electric maken van een Paddepoelse rijtjeswoning voor verschillende combinaties van isolatie, subsidies en zonnepanelen. Jaarlijks levert het all-electric scenario ca. € 900 op aan besparing op de energierekening. Doordat er ook stevig wordt geïsoleerd, levert dit scenario ook een grote CO₂-besparing op. De kosten per uitgespaarde kg CO₂ zijn relatief hoog. Dit komt onder andere doordat de labelstap van B naar A relatief duur is. Ook dragen randvoorwaardelijke investeringen zoals lage temperatuurradiatoren, elektrisch koken, aanpassingen in

de meterkast, etc. bij aan de hoge kosten per uitgespaarde kg CO₂ (deze leiden namelijk niet direct tot energiebesparing).

Tegenover de investeringen in de warmtepomp, warmteafgifte (radiatoren), isolatie en koken, staan de uitgespaarde kosten op de energierekening en netbeheerkosten door het loskoppelen van het gasnet. De afgelopen jaren is de gasprijs, mede door het verhogen van de energiebelasting op gas, gestegen terwijl de kosten voor elektriciteit zijn gedaald. Dat komt de business case van de warmtepomp ten goede, doordat het alternatief gunstiger wordt ten opzichte van de huidige warmtevoorziening. Op jaarbasis bespaart de warmtepomp bij een COP van 3,5 ca. € 250. Het loskoppelen van het gasnet bespaart jaarlijks ca. € 170. De grootste winst wordt behaald met isolatie, een besparing van ca. € 500. Met deze besparing van ca. € 900 moeten de investeringen op de warmtepomp worden terugverdiend. Dit lukt niet: na 15 jaar is slechts 55% van de totale investering terugverdiend (we gaan hier uit van isolatie en subsidies). Zowel de warmtepomp zelf als het isolatiepakket zijn hieraan debet. Wordt het maatregelenpakket uitgebreid met zonnepanelen wordt de investering als geheel aantrekkelijker: de ROI stijgt aanzienlijk, evenals de emissiereductie. Doordat een deel van de benodigde elektriciteit nu zelf duurzaam wordt opgewekt, wordt met een investering van slechts € 3000 meer, twee keer zoveel CO₂ bespaart in vergelijking met het scenario waarin alleen wordt gekozen voor een warmtepomp en isolatie.

Tabel 2. Overzicht indicatoren 'all-electric' voor een rijtjeswoning uit de periode 1964-1975 met label D

	Investeringskosten woningeigenaar	Jaarlijkse besparing	ROI	Emissiereductie (kg CO ₂)	Effectiviteit (€/CO ₂)
Zonder isolatie en subsidies	€ 28.914	€ 553	57%	15%	709
Met subsidie en zonder isolatie	€ 13.982	€ 553	66%	15%	553
Met isolatie en subsidies	€ 26.914	€ 929	55%	33%	321
Met isolatie, subsidies en zonnepanelen	€ 30.019	€ 1.513	79%	62%	52

De variant met zonnepanelen laat een hogere ROI en emissiereductie zien. Zonnepanelen verdienen zich goed terug wat zich ook laat zien in een hogere ROI. Door een beperkte dakoppervlakte van de woning kan niet alle elektriciteit duurzaam opgewekt worden. Om alle elektriciteit op te wekken zijn 26 panelen nodig. We gaan ervan uit dat 30% van het oppervlakte effectief benut kan worden voor het plaatsen van zonnepanelen. Op een dak met een oppervlakte van ca. 65 m² kunnen 12 panelen a 1,65 m² geplaatst worden. Ca. 45% van de benodigde elektriciteit van de woning kan zelf duurzaam opgewekt worden.

2.2 Hybride

In het hybride scenario worden de woningen voorzien van een kleine warmtepomp, in combinatie met een cv-ketel (samen de hybride warmtepomp). In een deel van de warmtevraag wordt dus nog steeds voorzien met gas. In tegenstelling tot de volledig elektrische warmtepomp is het hier niet nodig om te isoleren tot label A. Wanneer de warmtepomp niet genoeg warmte kan leveren, springt de cv-ketel namelijk bij. Hoe beter de woning geïsoleerd is, hoe minder de cv-ketel nodig is en hoe groter het gedeelte van de warmtevraag is dat met de warmtepomp kan worden ingevuld. Zonder isolatie gaan

we ervan uit dat de warmtepomp in 35% van de warmtevraag voorziet, en met isolatie tot label B gaan we uit van 50%.

De hybride warmtepomp is goedkoper dan de elektrische warmtepomp, zo'n € 5.000 t.o.v. € 8.000 voor de elektrische warmtepomp. Daarnaast moet ook een cv-ketel worden aangeschaft (ca. € 1.400), waardoor de totale kosten niet heel erg ver uit elkaar liggen (zie Tabel 3). De warmtepomp kan ook worden gekoppeld aan de bestaande cv-ketel, waardoor deze kosten niet (direct) gemaakt hoeven te worden. In deze studie rekenen we de kosten voor de cv-ketel mee om een eerlijke vergelijking te kunnen maken tussen de alternatieven. Daar staat tegenover dat er minder energie kan worden bespaard met de hybride warmtepomp dan met de volledig elektrische warmtepomp, doordat deze maar in zo'n 35-50% van de warmtevraag voorziet (afhankelijk van het energielabel). Omdat er nog steeds een gasaansluiting is, kan niet worden bespaard op netbeheerkosten, zoals het geval in het all-electric scenario. We gaan ervan uit dat er voor een hybride warmtepomp geen netverzwaring nodig is, omdat de warmtepomp kleiner is dan in het all-electric scenario.

Tabel 3. *Overzicht van kosten 'hybride' voor een rijtjeswoning uit de periode 1964-1975 met label D*

Maatregelen	Investeringskosten	Externe investeringskosten	Maatschappelijke kosten
Hybride warmtepomp	€ 5.000		
Cv-ketel	€ 1.400		
Zonnepanelen	(€ 3.105)		
Isolatie	€ 8.056		
<i>Subtotaal</i>	<i>€ 14.456</i>	-	
Subsidies	-€ 1500	€ 1.500,00	
<i>Totaal</i>	<i>€ 12.956</i>	<i>€ 1.500,00</i>	<i>€ 14.456</i>

Tabel 4 geeft een overzicht van de kosten en baten van het hybride scenario. De investeringskosten voor een hybride warmtepomp zijn lager dan voor een volledig elektrische warmtepomp, ook de besparingen zijn een stuk lager. De hybride warmtepomp an sich is hierdoor per uitgespaarde kg CO₂ duurder dan de volledig elektrische warmtepomp en ook worden de investeringskosten minder goed terugverdiend (ROI is lager). Wanneer er ook geïsoleerd wordt, wordt de totale besparing op de energierekening hoger, maar blijft het deel van de besparing dat kan worden toegeschreven aan de warmtepomp ongeveer gelijk. Twee effecten heffen elkaar op: een groter deel van de warmtevraag kan worden ingevuld met de warmtepomp, maar de warmtevraag als geheel neemt af. De warmtepomp zelf kan zich daardoor moeilijker terugverdienen. De combinatie van isoleren en een hybride warmtepomp levert wel een betere ROI en emissiereductie op dan wanneer er niet geïsoleerd wordt.

Tabel 4. *Overzicht indicatoren 'hybride' voor een rijtjeswoning uit de periode 1964-1975 met label D*

	Investeringskosten woningeigenaar	Jaarlijkse besparing	ROI	Emissiereductie (CO ₂)	Effectiviteit (€/CO ₂)
Zonder isolatie en subsidies	€ 6.400	€ 134	40%	5%	979
Met subsidie en zonder isolatie	€ 4.900	€ 134	57%	5%	979
Met isolatie en subsidies	€ 12.956	€ 451	58%	20%	263
Met isolatie, subsidies en zonnepanelen	€ 16.061	€ 1.035	106%	49%	-83

Wanneer er ook nog zonnepanelen worden toegepast, wordt de ROI positief. Alle investeringen worden binnen 15 jaar terugverdiend, en er wordt een netto besparing gerealiseerd van € 880 (6% van de meerinvestering). De kosteneffectiviteit wordt in dit scenario negatief. Dit betekent dat het geen geld kost om de CO₂-besparende maatregelen toe te passen, maar juist oplevert.

2.3 Warmtenet

In het scenario 'warmtenet' gaan we uit van een buurtwarmtenet voor ca. 300 woningen dat gevoed wordt met een warmtepomp. De warmtepomp is gekoppeld aan een warmte-koudeopslag (WKO). Bij deze techniek wordt warmte uit de bodem wordt gehaald, wat ervoor zorgt dat er een kleiner temperatuurverschil is tussen de aanvoertemperatuur en de leveringstemperatuur. De warmtepomp wordt hierdoor efficiënter. In de plannen van Buurtwarmte050 wordt voor Paddepoel uitgegaan van een industriële warmtepomp met een COP van 5,5. In deze studie doen we een voorzichtigere aanname en rekenen met een COP van 4,5.

Bij een warmtenet moet rekening worden gehouden met temperatuurverliezen over de leidingen. De grootste verliezen treden op over de transportleidingen (van de bron tot aan de wijk). In Paddepoel zijn er geen transportleidingen, omdat uitgegaan wordt van een kleinschalige bron in de wijk. Hierdoor zijn de verliezen in een wijknet beperkt in vergelijking met een typisch warmtenet. Voor een wijknet als in Paddepoel schatten we de warmteverliezen op 10%. De verliezen kunnen de business case van het warmtenet aanzienlijk beïnvloeden. In deze analyse heeft de aangenomen waarde voor warmteverliezen alleen invloed op de CO₂-emissie (er worden geen operationele kosten berekend).

De kosten van een warmtenet hangen sterk af van specifieke lokale omstandigheden en zijn gebaseerd op een technisch ontwerp. Om in een voorstadium al een benadering te kunnen geven van de kosten, rekenen we met een vast bedrag per aansluiting. De kosten in het warmtenet kunnen worden opgesplitst in drie componenten: investeringskosten in het transportnet, investeringskosten in het distributienet (wijknet) en aansluitkosten in de woning. We rekenen voor het wijknet € 8.000 en voor de aansluitkosten in de woning € 4.000 (zie 5.3). Daarnaast rekenen we € 5.000 per woning voor de kosten van de bron (warmtepomp en WKO). De totale kosten zijn dus per aansluiting € 17.000, inclusief bron (zie Tabel 5). Deze investeringen worden in principe gemaakt door een warmtebedrijf, of een andere investeerder.

Tabel 5. Overzicht van kosten 'warmtenet' voor een rijtjeswoning uit de periode 1964-1975 met label D

Maatregelen	Kosten in de woning	Kosten buiten de woning	Totale kosten
Inductiekookplaat	€ 1.000		
Afsluitkosten gasnet (Enexis)	€ 732		
Isolatie	€ 8.056		
Zonnepanelen	(€ 3.105)		
Kosten distributienet + uitkoppeling bron		€ 17.000	
<i>Subtotaal</i>	<i>€ 9788</i>	<i>€ 17.000</i>	
Bijdrage aansluitingskosten (maximaal)	€ 1.039	-€ 1.039	
<i>Totaal</i>	<i>€ 10.827</i>	<i>€ 15.961</i>	<i>€ 26.788</i>

De maximale tarieven die een warmteleverancier aan een consument mag doorberekenen worden gereguleerd middels de Warmtewet, volgens het niet-meer-dan-anders (nmda) principe. Dit betekent dat de kosten voor warmte via een warmtenet niet hoger mogen zijn dan wat een consument zou

betalen met een gasgestookte warmtevoorziening. De investeringskosten voor de woningeigenaar bestaan uit een eventuele 'Bijdrage Aansluitingskosten' (BAK). Voor aansluiting op een (uitbreiding van) een bestaand warmtenet mag het warmtebedrijf hiervoor volgens de Warmtewet maximaal € 1.039 in rekening. Voor nieuwe warmtenetten, zoals de situatie in Paddepoel, kan er geen BAK verplicht worden gesteld. Omdat de BAK vaak van belang is bij het rond krijgen van de business case, gaan we in deze berekening uit van een BAK ter hoogte van het tarief voor bestaande warmtenetten.

Tabel 6. Overzicht vaste kosten warmtenet ten opzichte van gas

Jaarlijkse kosten	Kosten warmte	Kosten gas
Vastrecht warmtenet (nmda)	318,95	
Meettarief warmtenet (nmda)	25,89	
Huur afleverset (ref warmteleverancier)	180	
Netbeheerkosten gas (Enexis)		170,61
Leveringskosten gas (energieleverancier)		54
Onderhoud cv-ketel		165
Afschrijving cv-ketel		93,33
<i>Totaal</i>	<i>524,84</i>	<i>482,94</i>

De kostenstructuur van warmtelevering via een warmtenet is dusdanig anders dan bij levering van gas, dat alle kosten gerelateerd aan de levering van warmte en gas met elkaar moeten worden vergeleken om te bepalen welk alternatief goedkoper is. Naast de energieprijzen worden ook netbeheerkosten, onderhoud, afschrijving e.d. in de vergelijking meegenomen. De kosten voor warmtelevering via een warmtenet is in Nederland gereguleerd via de Warmtewet, die bepaalt wat de maximumtarieven zijn die de warmteleverancier in rekening mag brengen. Deze tarieven bestaan uit het vastrecht, een meettarief en huur voor de afleverset. Daarnaast is er een maximumtarief voor de geleverde warmte (GJ-tarief). Deze tarieven worden jaarlijks door de ACM vastgesteld op basis van het nmda (niet meer dan anders) principe, waarbij de totale kosten van warmtelevering niet meer mogen zijn dan een warmtevoorziening op gas. Tabel 6 geeft een overzicht van deze kosten, in vergelijking met de kosten voor gas. Het overzicht laat zien dat, mits je de kosten voor onderhoud en afschrijving van de cv-ketel meerekent, de vaste kosten voor een warmtenet iets hoger zijn dan met gas. De variabele kosten (de geleverde energie) zijn voor een warmtenet weer iets lager dan voor gas, waardoor het totaal iets gunstiger uitkomt voor een warmtenet. Dit is echter afhankelijk van de tarieven die uiteindelijk in rekening worden gebracht, welke tussen aanbieders kunnen variëren. De uitkomst kan ook variëren door een verschil in de omrekenfactor van aardgas naar warmte die aanbieders hanteren, waardoor het scenario al dan niet gunstiger uit de bus komt (hier: volgens nmda 36,31 m³/GJ).

Tabel 7 laat het resultaat zien voor het warmtenet scenario. Het warmtenet komt gunstiger uit de analyse ten opzichte van een individuele warmtepomp. Hier zijn een aantal redenen voor. Ten eerste is het bij een individuele warmtepomp nodig om te isoleren tot minimaal label A, terwijl dat bij een warmtenet niet nodig is doordat er een hogere leveringstemperatuur mogelijk is (70-80 graden met een industriële warmtepomp t.o.v. 55 graden met een individuele warmtepomp). Om wel een gunstige milieuwinst te behalen gaan we bij een warmtenet uit van isolatie tot label B, wat relatief goedkoper is dan isolatie tot label A. Ten tweede is een grote warmtepomp efficiënter dan een individuele warmtepomp. We rekenen met een COP van 5,5 ten opzichte van een COP van 3,4 bij individuele warmtepompen. Dit komt deels door de schaal van de warmtepomp (industriële warmtepompen zijn efficiënter dan kleine warmtepompen), en deels door de koppeling met een WKO-systeem (warmtepompen die gebruik maken van bodemenergie zijn efficiënter dan warmtepompen die gebruik maken van buitenlucht). Overigens kunnen individuele warmtepompen ook gebruik maken van

bodemwarmte, maar dit is relatief duurder dan op wijkniveau. De winst in efficiëntie wordt voor een deel weer gecompenseerd met de warmteverliezen over de leidingen (ca. 10%), die er niet zijn bij een individueel systeem.

Tabel 7. Overzicht indicatoren ‘warmtenet’ voor een rijtjeswoning uit de periode 1964-1975 met label D

	Investeringskosten woningeigenaar	Jaarlijkse besparing	ROI	Emissiereductie (CO ₂)	Effectiviteit (€/CO ₂)
Zonder isolatie	€ 2.771	€ 36	19%	23%	733
Met isolatie	€ 10.827	€ 318	44%	32%	543
Met isolatie, subsidies en zonnepanelen	€ 13.932	€ 902	97%	61%	163

2.4 Waterstof

In het scenario ‘waterstof’ wordt aardgas vervangen door waterstof, waarbij de huidige gasinfrastructuur in stand wordt gehouden en slechts minimale aanpassingen nodig zijn in de woning. De cv-ketel wordt vervangen door één die werkt op waterstof en de gasleidingen in de wijk worden geschikt gemaakt om waterstof te transporteren.

Omdat waterstof nog nauwelijks is toegepast voor het verwarmen van woningen en gebouwen, zijn er nog veel onzekerheden over de kosten. De onzekerheden hebben voornamelijk betrekking tot de productie van waterstof (hoe duur en hoe efficiënt worden grootschalige waterstofcentrales?). Naar verwachting zal waterstof geproduceerd kunnen worden voor een prijs van 7 euro/kg. Inclusief energiebelasting, btw en opslag duurzame energie zou een consumentenprijs 1,27 euro/m³ kunnen zijn (zie Tabel 19). Het verschil met de (stijgende) aardgasprijs van 0,76 euro/m³ is aanzienlijk. Waterstof heeft echter een veel lagere energie-inhoud dan aardgas, waardoor er ongeveer 3 keer zoveel van nodig is om dezelfde hoeveelheid energie te leveren. De brandstofkosten zijn dus ongeveer 5 keer zo hoog als voor aardgas.

Voor de omzetting van waterstof naar warm water is een waterstof cv-ketel ontwikkeld. Deze is nog niet op markt, maar is ver genoeg ontwikkeld om toegepast te kunnen worden in de woningbouw. Het apparaat zal rond de 2500 euro kosten, iets duurder dan de huidige cv-ketel op gas. Daarnaast zal er voor het koken omgeschakeld moeten worden op inductie, omdat de huidige gastoestellen naar verwachting niet op waterstof werken. De huidige kosten voor gasinfrastructuur blijven gelijk. Tabel 8 geeft een overzicht van de investeringskosten in het waterstofscenario.

Tabel 8. Overzicht van kosten ‘waterstof’ voor een rijtjeswoning uit de periode 1964-1975 met label D

Maatregelen	Investeringskosten	Externe investeringskosten	Maatschappelijke kosten
Cv-ketel vervangen	€ 2.500		
Isolatie	€ 8.056		
Inductiekookplaat	€ 1.000		
Zonnepanelen	(€ 3.105)		
Waterstofcentrale		€ 12.500	
Netwerkkosten (meerkosten)		€ 500	
<i>Totaal</i>	<i>€ 11.556</i>	<i>€ 13.000</i>	<i>€ 24.556</i>

Tabel 9 geeft het resultaat weer voor het waterstofscenario. De totale kosten voor een systeem op waterstof liggen vele malen hoger dan een systeem op aardgas. Daar tegenover staan geen besparingen in kosten (de jaarlijkse kosten zijn negatief). De investering kan niet worden terugverdiend, waardoor het verlies elk jaar toeneemt. Hierdoor is de ROI negatief. Ook de CO₂-emissie is negatief in het waterstofscenario. Dit betekent dat er meer CO₂ uitgestoten wordt dan met een systeem op aardgas. Dit komt doordat er in het omzettingsproces van elektriciteit naar waterstof veel energie verloren gaat. Elektriciteit moet namelijk eerst worden opgewekt uit fossiele of duurzame bronnen. Op dit moment gebeurt dat vooral via gasgestookte energiecentrale, die elektriciteit opwekken met een rendement van ca. 40%. In plaats van deze direct te gebruiken, zoals bij een warmtepomp het geval is, wordt via elektrolyse waterstof geproduceerd. Tijdens dit proces gaat zo'n 25% van de energie verloren. Vervolgens wordt het waterstof verbrand in de cv-ketel, een proces dat een rendement van zo'n 100% heeft (ten opzichte van een warmtepomp die zo'n 300 a 400% rendement heeft). Ten opzichte van het direct gebruiken van aardgas, of het direct gebruiken van elektriciteit, levert dit proces meer efficiëntieverliezen op, wat gepaard gaat met een grotere CO₂-emissie. Wanneer gebruik wordt gemaakt van duurzame bronnen, heeft het proces geen invloed op de CO₂-emissie, maar blijft er wel een grote hoeveelheid energie nodig om waterstof te produceren.

Tabel 9. Overzicht indicatoren 'waterstof' voor een rijtjeswoning uit de periode 1964-1975 met label D

	Investeringskosten woningeigenaar	Jaarlijkse besparing	ROI	Emissiereductie (CO ₂)	Effectiviteit (€/CO ₂)
Zonder isolatie	€ 3.500	-€ 6.295	-4496%	-52%	-2496
Met isolatie	€ 11.556	-€ 4.739	-744%	-28%	-3903
Met isolatie + zonnepanelen + subsidies	€ 14.661	-€ 4.154	-570%	1%	89693

3 Scenario's per woningtype

In het voorgaande hebben we de resultaten laten zien voor één kenmerkend type voor de wijk. In dit hoofdstuk laten we ook enkele andere kenmerkende woningtypen zien:

- Twee-onder-een-kap woning uit de periode 1965-1974 (o.a. 9 stempels)
- Portiekwoningen uit de periode 1965-1974 (o.a. Plutolaan)
- Flatwoningen uit 2006-huidig (Antarestraat)

Van het laatste type zijn geen data opgenomen in de publicatie 'Voorbeeldwoningen 2011, bestaande bouw' van Agentschap NL (publicatie dateert uit 2012). Door het automatische energielabel dat hoort bij de periode 1992-2005 (label B) handmatig aan te passen aan label A, rekenen wat betreft isolatie met waarden die beter passen bij nieuwere, energiezuinigere woningen. Het gasgebruik hebben we handmatig bijgesteld voor woningen met energielabel A (600 m³/jaar).

De investeringskosten zijn voor deze woningtypes grotendeels gelijk met die van rijtjeswoningen zoals hiervoor beschreven. Kleine verschillen zoals het toepassen van een iets grotere of kleinere warmtepomp afhankelijk van de grootte van de woning zijn hierin niet meegenomen. Wel meegenomen zijn de aansluitkosten voor een warmtenet, die lager zijn voor hoogbouw. Er is gerekend met twee varianten: grondgebonden en gestapeld. Ook wordt er voor isolatie onderscheid gemaakt tussen grondgebonden woningen en gestapelde woningen, evenals voor de kosten voor het afsluiten van het gasnet. Verder zorgen specifieke energieverbruiksgegevens voor deze woningtypes voor andere uitkomsten dan de hiervoor gepresenteerde rijtjeswoningen.

Voor alle woningtypes zijn twee varianten berekend: één met subsidies en zonder isolatie en één met subsidies en isolatie. Voor de flatwoningen uit de periode 2011-2015 is slechts één variant berekend, omdat het al goed geïsoleerde woningen betreft.

3.1 All-electric

Een warmtepomp lijkt voor een twee-onder-een-kapwoning een gunstiger alternatief dan voor de portiek- of flatwoning. Dit is te verklaren door het hogere gasgebruik van een twee-onder-een-kapwoning (3046 m³/jaar) ten opzichte van een portiekwoning (981 m³/jaar) of flatwoning (600 m³/jaar). Bij een hoger verbruik is ook de verwachte besparing hoger, terwijl de investeringen gelijk blijven. In werkelijkheid zou er voor een portiek- of flatwoning een kleinere warmtepomp mogelijk zijn dan in een twee-onder-een-kapwoning. Deze verschillen zijn echter in deze studie niet meegenomen. Overigens gaan we hier uit van een typische woning volgens de Voorbeeldwoningen van Agentschap NL. In Paddepoel is de verwachting dat het gebruik voor een twee-onder-een-kapwoning lager is, omdat het gemiddelde gebruik in de 9 stempels (rijwoning en twee-onder-een-kapwoning samen) 1957 m³/jaar is⁵. Tabel 10 geeft een overzicht van de resultaten voor 'all-electric' per woningtype.

⁵ Dit gebruik is berekend door het gemiddelde te nemen van de CBS gebruiksgegevens van de relevante postcodes op PC6-niveau.

Tabel 10. Overzicht van kosten en baten 'all-electric' per woningtype – variant A (incl. subsidie, excl. isolatie) en variant B (incl. isolatie en subsidies)

	Variant	Investeringskosten woningeigenaar	Jaarlijkse besparing	ROI	Emissiereductie (CO ₂)	Effectiviteit (€/CO ₂)
2-onder-1 kap '65-'74	A	€ 13.982	€ 766	91%	16%	195
2-onder-1 kap '65-'74	B	€ 32.063	€ 1.437	70%	39%	97
Portiek '65-'74	A	€ 13.452	€ 362	45%	13%	1466
Portiek '65-'74	B	€ 24.812	€ 551	35%	30%	934
Flat 2006-2015	A	€ 13.452	€ 288	36%	11%	2681

3.2 Hybride

De resultaten van de hybride warmtepomp zijn vergelijkbaar met die van de volledig elektrische warmtepomp: in een twee-onder-een-kapwoning is door het hogere verbruik met een hybride warmtepomp meer te besparen dan in een portiek- of flatwoning. Het hybride scenario vereist lagere investeringskosten per woning dan het all-electric scenario, maar ook de jaarlijkse besparing is aanzienlijk lager. Wat betreft de ROI zijn de grootste verschillen te zien bij de flatwoning. Dit verschil is mogelijk nog groter wanneer er niet geïnvesteerd hoeft te worden in vloerverwarming of elektrisch koken. Dit is in veel moderne woningen wel het geval, maar in deze berekening hebben we deze kostenposten voor alle woningtypen meegenomen. Wanneer er niet geïsoleerd hoeft te worden (bij label A) en de aanpassingen aan de woning beperkt zijn, is een all-electric oplossing in principe meer voor de hand liggend dan een hybride oplossing. Het bijstoken van de cv-ketel bij lagere temperaturen is namelijk niet nodig bij hogere isolatieniveaus.

Tabel 11. Overzicht van kosten en baten 'hybride' per woningtype – variant A (incl. subsidie, excl. isolatie) en variant B (incl. isolatie en subsidies)

	Variant	Investeringskosten woningeigenaar	Jaarlijkse besparing	ROI	Emissiereductie (CO ₂)	Effectiviteit (€/CO ₂)
2-onder-1 kap '65-'74	A	€ 4.900	€ 209	89%	6%	469
2-onder-1 kap '65-'74	B	€ 18.061	€ 842	76%	26%	51
Portiek '65-'74	A	€ 4.900	€ 67	29%	5%	2399
Portiek '65-'74	B	€ 10.580	€ 226	37%	18%	753
Flat 2011-2015	A	€ 4.900	€ 59	25%	5%	2810

3.3 Warmtenet

Een warmtenet is in de regel minder gunstig voor woningen met een laag energieverbruik. Dit komt doordat het warmtetarief uit een grotere vaste component en een kleinere variabele component bestaat. Gestapelde woningen (o.a. portiek- en flatwoningen) en nieuwere woningen kennen gemiddeld een lager verbruik. Dit is in het overzicht ook goed te zien: zonder isolatie betalen bewoners van portiek- en flatwoningen jaarlijks iets meer voor een warmtenet dan voor hun huidige warmtevoorziening terwijl bewoners van een twee-onder-een-kap woning er iets op vooruit gaan. In vergelijking met het all-electric scenario en het hybride scenario, scoort de kosteneffectiviteit van een warmtenet zonder isolatie beter voor de portiek- en flatwoning.

Tabel 12. Overzicht van kosten en baten 'warmtenet' per woningtype – variant A (incl. subsidie, excl. isolatie) en variant B (incl. isolatie en subsidies)

	Variant	Investeringskosten woningeigenaar	Jaarlijkse besparing	ROI	Emissiereductie (CO ₂)	Effectiviteit (€/CO ₂)
2-onder-1 kap '65-'74	A	€ 2.771	€ 79	43%	25%	450
2-onder-1 kap '65-'74	B	€ 15.932	€ 672	63%	38%	269
Portiek '65-'74	A	€ 2.241	-€ 3	-2%	20%	1244
Portiek '65-'74	B	€ 7.921	€ 138	26%	29%	977
Flat 2011-2015	A	€ 2.241	€-18	-12%	16%	2072

3.4 Waterstof

Waterstof geeft voor alle type woningen een negatieve uitkomst voor zowel de jaarlijkse besparing, ROI, emissiereductie en kosteneffectiviteit. Doordat er in het waterstofscenario geen kostenbesparingen tegenover de investeringen staan, is gaat de energierekening omhoog. De besparing wordt daardoor negatief. Ook de emissiereductie en kosteneffectiviteit zijn negatief doordat er met grijze waterstof over de hele keten meer CO₂ wordt uitgestoten dan met gas. Hoe lager het energieverbruik van een woning is, hoe kleiner de meerkosten (jaarlijkse besparing). Hierdoor komt de flatwoning iets beter uit de analyse dan de andere twee type woningen.

Tabel 13. Overzicht van kosten en baten 'waterstof' per woningtype – variant A (incl. subsidie, excl. isolatie) en variant B (incl. isolatie en subsidies)

	Variant	Investeringskosten woningeigenaar	Jaarlijkse besparing	ROI	Emissiereductie (CO ₂)	Effectiviteit (€/CO ₂)
2-onder-1 kap '65-'74	A	€ 3.500	-€ 9.798	-6999%	-56%	-2363
2-onder-1 kap '65-'74	B	€ 16.661	-€ 6.527	-703%	-21%	-4788
Portiek '65-'74	A	€ 3500	-€ 3.156	-2254%	-47%	-2866
Portiek '65-'74	B	€ 9.180	-€ 2.375	-487%	-25%	-4679
Flat 2011-2015	A	€ 3.500	-€ 1.930	-1379%	-37%	-3336

4 Vergelijking van de scenario's en conclusies

In deze studie zijn 4 verschillende scenario's voor een alternatieve warmtevoorziening doorgerekend met als doel om daarmee input te leveren aan het gesprek met bewoners. In Paddepoel is gekozen voor een participatieve aanpak waarbij bewoners al in een vroeg stadium worden betrokken bij de planvorming, dat zich richt op een wijkwarmtenet. Om bewoners, die uiteindelijk zelf een keuze moeten maken of ze wel of niet willen aansluiten op het warmtenet, te laten zien hoe het warmtenet zich verhoudt tot andere opties, zijn de investeringskosten, haalbaarheid (ROI), CO₂-emissies en kosteneffectiviteit in kaart gebracht. De analyse heeft het de volgende inzichten opgeleverd (met de rijtjeswoning uit '65-'74 als uitgangspunt):

- **Kosten:** Het hybride scenario (hybride warmtepomp) heeft de laagste maatschappelijke kosten. Met andere woorden: het kost het minste om een woning te voorzien van een hybride warmtepomp. De investeringskosten voor de eindgebruiker zijn hoger dan voor een warmtenet, maar aanzienlijk lager dan in het all-electric scenario. Het warmtenet heeft – afhankelijk van de in rekening gebrachte bijdrage aansluitingskosten – de laagste investeringskosten voor de eindgebruiker. Dit komt doordat de grootste investeringen – namelijk in de infrastructuur – buiten de woning gedaan worden. In het all-electric scenario wordt de grootste jaarlijkse besparing op de energierekening behaald, maar hier worden ook de hoogste investeringskosten gemaakt, voornamelijk door de eindgebruiker. De verdeling van de investeringskosten tussen de stakeholders ligt dus sterk uiteen: hoge investeringskosten voor de eindgebruiker in de warmtepompscenario's (individuele oplossingen) en lage investeringskosten voor de eindgebruiker in het warmtenetscenario (collectieve oplossingen);
- **Haalbaarheid (ROI):** Beide scenario's met warmtepompen en isolatie ('all-electric' en 'hybride') verdienen zich ongeveer even goed terug: resp. 55% en 58% van de investeringen wordt binnen 15 jaar terugverdiend. Dit betekent dat resp. 45% en 42% van de investering voor de eigen rekening van de eindgebruiker komt. Omgerekend gaat dit om een extra maandelijks bedrag van € 64 bij all-electric en € 27 bij hybride. Bij het warmtenet hangt dit af van de verhouding tussen de BAK en het warmtetarief. In dit scenario (kleine BAK, nmda-tarief), verdienen de BAK en de investering in het gasloos maken van de woning zich matig terug: zo'n 45% wordt binnen 15 jaar terugverdiend (warmtenet is jaarlijks iets goedkoper), zonder isolatie is dit ca. 20%. Met een extra maandelijks bedrag van € 34 hoeft er minder 'bijbetaald' te worden dan in het all-electric scenario, maar meer dan in het hybride scenario. Wel of geen isolatie maakt een groot verschil tussen hybride en warmtenet: zonder isolatie scoort hybride een stuk beter (ca. 57%) dan warmtenet (ca. 20%). Met isolatie scoren beide scenario's meer gelijkwaardig (58% voor hybride vs 44% voor het warmtenet). Hierbij moet opgemerkt worden dat in het hybride scenario de kosten van de cv-ketel zijn verrekend in de investeringskosten en in het warmtenet scenario wordt dit verrekend in de jaarlijkse kosten (afschrijving), waardoor de scenario's niet 1-op-1 te vergelijken zijn. In slechts één berekend scenario met isolatie wordt de investering binnen 15 jaar terugverdiend: hybride in combinatie met zonnepanelen. Wanneer er niet wordt geïsoleerd, maar wel zonnepanelen worden toegepast krijgen zowel het warmtenet als de beide warmtepomp scenario's een positieve ROI;
- **CO₂-emissies:** Wat betreft CO₂-emissies scoren het all-electric scenario en het warmtenet scenario ongeveer gelijk wanneer er bij een warmtenet tot label B wordt geïsoleerd en bij een all-electric oplossing tot label A. Wordt er niet geïsoleerd bij het warmtenet, gaat de emissiereductie in absolute zin met ca. 10% omlaag en ontstaat er een verschil tussen de twee scenario's. Ook als er groene stroom wordt gebruikt blijft het verschil tussen beide scenario's

klein, omdat in beide scenario's een warmtepomp wordt ingezet. In scenario's waarin het warmtenet een andere bron kent, kunnen deze verschillen groter zijn. Het verschil met een hybride warmtepomp, waar een deel van de warmtevraag nog steeds met gas wordt voorzien, wordt dan ook aanzienlijk (ca. 20% verschil in emissiereductie) terwijl dit verschil bij grijze stroom kleiner is (ca. 10% verschil in emissiereductie). Het hybride scenario aan sich heeft van de drie de laagste emissiereductie: zonder isolatie wordt ca. 5% CO₂ bespaard, terwijl dat bij een warmtenet (zonder isolatie) ca. 23% is.

- **Kosteneffectiviteit:** Als we kijken naar de kosteneffectiviteit van de maatregelen, namelijk hoeveel het de maatschappij kost om een ton CO₂ te besparen, komt het hybride scenario als beste uit de bus, gevolgd door resp. het all-electric scenario, het warmtenet scenario, en het waterstof scenario. Bij waterstof is iets opmerkelijks aan de hand: de waarde wordt negatief, wat betekent dat er geld betaald moet worden om vervolgens meer CO₂ uit te stoten. Ook in het hybride scenario met zonnepanelen en isolatie wordt de waarde negatief. Hier betekent dat dat het netto geld oplevert om de CO₂ besparende maatregelen toe te passen;
- **Zonnepanelen:** In alle scenario's wordt warmte (direct of indirect) uit elektriciteit verkregen. Elektriciteit wordt nu nog maar beperkt duurzaam opgewekt. Significante CO₂-besparing is alleen mogelijk door een groter aandeel duurzame elektriciteit. In de scenario's waarin de maatregelen worden gecombineerd met zonnepanelen, is een aanzienlijk betere CO₂-emissiereductie te behalen met relatief lage meerkosten. Omdat zonnepanelen zich onder de huidige regelgeving (salderingsregeling) goed terugverdienen, hebben zonnepanelen ook een gunstig effect op de ROI. De daken van de Paddepoelse rijtjeswoningen zijn echter niet groot genoeg om voldoende zonnepanelen te plaatsen om het elektriciteitsverbruik van een (hybride) warmtepomp en het huidige elektriciteitsverbruik voor verlichting en apparaten te dekken. Bij benutting van 30% van het oppervlak kan ongeveer de helft van het benodigde aantal zonnepanelen worden geplaatst;
- **Isolatie:** Het wel of niet toepassen van isolatie heeft een belangrijk effect op de haalbaarheid en op duurzaamheid van de maatregel. Met name voor een warmtenet leidt het toepassen van isolatie tot een verlaging van de energierekening, terwijl die zonder isolatie ongeveer gelijk blijft. Dit resulteert onder andere in een hogere ROI in dit scenario. Het wel of niet isoleren kan een belangrijk argument zijn in de discussie met bewoners omdat alleen in het geval van isolatie een (significant) een kostenvoordeel behaald wordt. In het hybride scenario geeft wel of niet isoleren een relatief klein verschil in ROI. Met andere woorden: de investering verdient zich ongeveer even goed terug. Dit terwijl de emissiereductie wel groter wordt (van 5% naar 20%). Ook in het hybride scenario lijkt het dus zinvol om ook te isoleren. In het all-electric scenario gaan we uit van label A. De labelstap van B naar A is relatief duur, waardoor ook de ROI en kosteneffectiviteit in het all-electric scenario lager worden. Bij de keuze tussen wel of niet isoleren neemt ook de relatie tussen het isolatieniveau en de COP een rol. Hoe beter er wordt geïsoleerd, hoe beter de warmtepomp presteert. Isolatie weegt echter niet per se op tegen de kostenverlaging van warmtepomp COP. In deze studie is dit verband echter niet meegenomen. Wel is in het hybride scenario de belasting van de warmtepomp gekoppeld aan het isolatieniveau;
- **Waterstof:** In het waterstof scenario hebben we te maken met veel onbekenden. Belangrijke aannamen betreffen de consumentenprijs van waterstof, de efficiëntie van het productieproces en de productiekosten van waterstof uit elektrolyse. Met de aannames die we in deze studie hebben gedaan, komen de kosten vele malen hoger uit dan voor gas. De jaarlijkse energiekosten komen een factor 4 hoger uit. Door het inefficiënte productieproces van waterstof uit grijze elektriciteit is ook de CO₂-emissie hoger dan warmtevoorziening met gas. Hiermee lijkt waterstof voorlopig een toekomstscenario dat door een grotere beschikbaarheid

van groene elektriciteit en het leereffect van technische innovaties in de loop der jaren wellicht wel een goed alternatief kan bieden voor aardgas;

- **Warmtenet:** Het warmtenet lijkt gunstig uit te komen ten opzichte van all-electric (vergelijkbare CO₂-emissie, maar lagere kosten), mits er in beide scenario's geïsoleerd wordt. Dit is voor een groot deel te wijten aan de hoge COP waar we voor grote warmtepompen mee rekenen. Wanneer we dezelfde COP gebruiken voor de warmtepomp dat het warmtenet voedt als voor de individuele warmtepompen, is wel een verschil te zien in CO₂-emissie (een verschil van ca. 10% in emissiereductie tussen beide scenario's). Ook de kosten per opgewekte eenheid warmte lopen dan verder uiteen (want: met dezelfde investeringen maken we minder energie), maar dit is niet zichtbaar in de uitkomsten van deze studie omdat we rekenen met de tarieven volgens de Warmtewet, en niet met tarieven gebaseerd op kostprijs. Dit heeft echter wel effect op de totale business case. De kosteneffectiviteit van het warmtenet is echter lager dan voor all-electric en hybride, en ook de ROI is lager. Met dezelfde investering kan in principe met een warmtenet minder CO₂ worden bespaard (met een COP van 4,5 en grijze elektriciteit als uitgangspunten). Ten opzichte van het hybride scenario, is het warmtenet een duurdere oplossing. Er kan echter ook een grotere emissiereductie worden bereikt;
- **Woningtypen:** Wanneer de berekening uitgevoerd wordt voor een ander woningtype dan de jaren '60/'70 rijtjeswoning verandert de energievraag, de te isoleren oppervlakte en de benodigde labelstap (van huidig label tot A/B). Dit vertaalt zich voor grotere woningen (o.a. twee-onder-een-kapwoning) in hogere kosten voor isolatie en een hoger energieverbruik. Bij grotere woningen van een vergelijkbaar label als de Paddepoelse rijtjeswoning, komt dat uit op een hogere besparing en daardoor een betere haalbaarheid (ROI) en kosteneffectiviteit van de maatregelen. Voor nieuwere en kleinere woningen geldt het omgekeerde: er zijn minder grote besparingen te realiseren terwijl de investeringskosten (behalve voor isolatie) grotendeels gelijk blijven. Bij de flatwoning van na 2006 is dit verschil het grootste: er moeten veel investeringen gedaan worden, terwijl er maar kleine besparingen tegenover staan. Dit resulteert in de hoogste kosten per uitgespaarde ton CO₂ van alle berekende scenario's (2810 €/Mg CO₂ in het hybride scenario). Overigens hangen de investeringskosten – met name in het all-electric scenario – ook sterk af van de voorzieningen, zoals het afgiftesysteem (wel/geen vloerverwarming), kookvoorziening (gas of elektrisch) en elektrisch systeem (voldoende capaciteit op de meterkast), die bij de bouw van de woning aanwezig zijn.

Tabel 14. Beste scenario per indicator

Indicator	Scenario	Scenariovariant	Resultaat
Laagste investeringskosten woningeigenaar	Warmtenet	Niet isoleren, geen zonnepanelen	€ 1039
Laagste maatschappelijke kosten	Hybride	Niet isoleren, geen zonnepanelen	€ 6400
Hoogste jaarlijkse kostenbesparing	All-electric	Isoleren, zonnepanelen	€ 1392
Hoogste haalbaarheid (ROI)	Hybride/Warmtenet	Niet isoleren, zonnepanelen	163%/158%
Hoogste CO ₂ -emissiereductie	All-electric/Warmtenet	Isoleren, zonnepanelen	62%/61%
Hoogste kosteneffectiviteit	Hybride	Hybride: niet isoleren, zonnepanelen	-122 €/t

De hierboven gegeven beschouwing laat vooral zien dat er niet één beste oplossing te geven is. De beste oplossing hangt af van verschillende variabelen: investeringskosten, kostenbesparing,

haalbaarheid (hier gemeten in ROI), CO₂-emissiereductie en kosteneffectiviteit (hier gemeten in €/Mg CO₂). Tabel 14 laat zien welk scenario per indicator het beste scoort. De evaluatie van de verschillende woningtypes laat zien dat de gunstigheid van een bepaald scenario verschilt per woningtype: wat voor de ene woning het gunstigst is, is dat voor een ander niet zonder meer.

Ondanks het feit dat het 'beste' scenario afhangt van veel verschillende variabelen zijn op basis van deze studie een aantal algemene inzichten te geven:

1. In geen enkel scenario gaat de CO₂-emissie naar 0. Het hoogst haalbare is een emissiereductie van 62% in het all-electric scenario met zonnepanelen én isolatie.
2. Geen enkel scenario is kostenneutraal te realiseren, tenzij er zonnepanelen worden toegepast. Ook een warmtenet is bij het hanteren van nmda-tarieven volgens onze aannames niet kostenneutraal te realiseren.
3. Het is altijd zinvol om voor zonnepanelen te kiezen onder de huidige salderingsregeling. Alle indicatoren (behalve totale investeringskosten) scoren in ieder scenario beter met zonnepanelen.
4. Met het oog op CO₂-emissies is het in altijd zinvol om voor isolatie te kiezen. Ook de haalbaarheid (ROI) en de kosteneffectiviteit worden in alle scenario's beter met isolatie. Dit is alleen niet zo in het all-electric scenario, waar het hogere niveau van isolatie (tot label A) tot een lagere ROI leidt dan geen isolatie. Dit is echter geen realistisch scenario. Tegelijkertijd kan met scenario's zonder isolatie maar met zonnepanelen een hogere ROI en kosteneffectiviteit worden gerealiseerd.

Omdat de keuze voor een bepaald wijkscenario afhangt van welke indicator het belangrijkst wordt gevonden, zou de voorkeur voor een bepaald scenario het resultaat moeten zijn van de dialoog met bewoners en andere stakeholders, die samen bepalen op basis waarvan een scenario als 'beste' wordt bestempeld. Een ander belangrijk punt in de dialoog is de verdeling van de investeringen tussen de stakeholders, die per scenario sterk varieert. Om de dialoog met stakeholders goed te kunnen ondersteunen zijn meer wijkspecifieke data nodig. Deze studie heeft een eerste aanzet gedaan door de kosten en baten van 4 scenario's per woningtype op een vergelijkbare manier weer te geven voor de wijk Paddepoel. Daarbij hebben we veel data aan moeten passen op de specifieke situatie. Zo weken de woningtypen zoals gedefinieerd door Agentschap NL af van de werkelijke situatie. Deze moeten getoetst worden aan werkelijke afmetingen, energieverbruiksdata en isolatieniveaus, om betrouwbare informatie te kunnen geven. Mede door het grote aantal onbekenden in de beschikbare gegevens, kunnen we op basis van dergelijke analyses slechts een indicatie afgeven van wat een bepaalde techniek kost en oplevert. Ook dit is in de communicatie met bewoners een belangrijk aandachtspunt. In het volgende hoofdstuk gaan we in op de onzekerheden in de gebruikte data.

5 Betrouwbaarheid van de gebruikte data

De betrouwbaarheid van berekeningen zoals gepresenteerd in dit rapport, zijn afhankelijk van de aannames die gedaan worden over de diverse parameters. Sommige parameters zijn nog niet goed bekend (zoals bijvoorbeeld de kosten van waterstof) en andere kunnen van situatie tot situatie sterk variëren of kunnen in individuele gevallen gefinetuned worden met specifieke kengetallen. In dit hoofdstuk worden enkele onzekere parameters besproken, evenals enkele verschillen tussen kengetallen waar in dit model mee gerekend wordt en waarden waarmee door Buurtwarmte 050 wordt gerekend voor het Buurtwarmtenet Paddepoel.

5.1 COP van warmtepompen

De efficiëntie van warmtepompen (uitgedrukt in de COP) blijkt een grote invloed te hebben op de jaarlijkse kosten en daarmee op de financiële haalbaarheid van de scenario's. Ook heeft de COP een grote invloed op de CO₂-emissie, omdat die eveneens afhangt van het elektriciteitsverbruik. Tabel 15 laat de uitkomsten zien voor de jaarlijkse besparing en jaarlijkse elektriciteitskosten voor een rijtjeswoning voor het scenario 'warmtenet' en 'all-electric' bij verschillende COP's. De waarden waar in deze studie mee is gerekend bevinden zich tussen de meest conservatieve en meest optimistische waarden. Ter vergelijking: de huidige gasrekening bedraagt voor gemiddelde woning van dit type € 1.487,32 euro (bij 1957 m³/jaar). Het verschil in één punt COP levert een verschil op van ca. € 200-300 in de jaarlijkse besparing. Het nauwkeuriger vaststellen van de COP is dus van belang bij het genereren van realistische verwachtingen over de kosten en baten van warmtepompscenario's.

Er is veel onduidelijkheid over wat realistische praktijkwaarden zijn. De in de praktijk gehaalde efficiëntie ligt een stuk lager dan de maximale COP die fabrikanten vermelden. Dit komt doordat een warmtepomp onder niet-ideale omstandigheden (o.a. lage buitentemperatuur, hoge leveringstemperatuur) veel minder efficiënt werkt. Veelal wordt gerekend met een COP van 4 voor warmtepompen op gebouwschaal. Het Vesta MAIS model, dat het uitgangspunt vormt voor de leidraad voor gemeenten in de Transitievisie Warmte, rekent bijvoorbeeld met 400%. Een ander bekend model, Cegoia (CE Delft) neemt voor een lucht warmtepomp 3,7 en voor bodem warmtepomp 4,4. Testen met warmtepompen op Entrance hebben laten zien dat de werkelijke COP naar verwachting niet veel hoger ligt dan 3. De SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) is een betere maat om mee te meten, omdat hierin de prestatie van de warmtepomp bij verschillende temperatuurniveaus is meegenomen. Om realistischere inschattingen te maken van de te verwachten energiebesparing, energiekosten en CO₂-emissie van een warmtepomp, is meer inzicht nodig in de daadwerkelijk behaalde SCOP in de praktijk, voor verschillende typen woningen met verschillend isolatieniveau.

Tabel 15. Jaarlijkse elektriciteitskosten per scenario bij verschillende COP's voor een rijtjeswoning '65 – '74

		Conservatief <i>COP = 3/COP = 3,5</i>	Voorzichtig <i>COP = 3,5/COP = 4,5</i>	Optimistisch <i>COP = 4/COP = 5,5</i>
All-electric	Jaarlijkse besparing	199	383	521
	Elektriciteitskosten warmtepomp	1289	1105	967
Warmtenet	Jaarlijkse besparing	137	437	628
	Elektriciteitskosten warmtepomp	1350	1050	859

Opmerking: De COP beïnvloedt de (investerings)kosten in het scenario 'warmtenet' niet omdat in de maatschappelijke kosten geen operationele kosten worden meegenomen en de energiekosten voor de eindgebruiker niet berekend worden aan de hand van werkelijke kosten, maar aan de hand van de nmda-tarieven. Verschillen tussen 'all-electric' en 'warmtenet' bestaan uit de warmteverliezen over de leiding bij een warmtenet, het verschil in temperatuurniveau (70 graden bij een warmtenet, 55 graden bij all-electric) en het feit dat een bodemwarmtepomp (warmtenet) een hogere COP heeft dan een luchtwarmtepomp (woning).

5.2 Kosten isolatie

De kosten voor na-isolatie van een woning vormen een aanzienlijk deel van de investeringskosten bij scenario's waarbij isolatie vereist (all-electric) of wenselijk (isolatie tot B) is. De kosten voor verschillende isolatieniveaus, en dan met name naar de hogere labels, zijn echter een grote onbekende. Voor een rijtjeswoning uit de periode 1965-1974 rekenen we op basis van de dataset van CE Delft (zie bijlage), € 12.932 voor isolatie van label D naar label A en € 8.056 voor isolatie van label D naar label B. In het Vesta MAIS model wordt voor een rijtjeswoning uit dezelfde periode gerekend met een bandbreedte van € 8.714 - € 8.976 euro voor isoleren tot label B (huidig naar label B) en een bandbreedte van € 14.508 - € 16.211 voor isoleren tot label A+ (huidig naar label A+). Beide kengetallen komen bij elkaar in de buurt, maar in Vesta wordt met iets hogere bedragen gerekend. Isolatie tot label A+ is in met de kengetallen van CE Delft een stuk duurder: € 20.988. In een recent rapport van de Provincie Zuid-Holland wordt eveneens de conclusie getrokken dat er tussen de kosten voor isoleren tot hogere labels veel verschil is in kengetallen⁶: "Voor verregaand isoleren "verder dan energielabel A bestaan geen standaarden en ontstaan grote bandbreedtes in kosten op gebouwniveau". Voor een grondgebonden woning kan dit een factor 2 schelen.

5.3 Kosten warmtenet

Het berekenen van de kosten van een warmtenet is lokaal maatwerk. Kosten tussen sterk verschillen per situatie, afhankelijk van o.a. de afstand tussen de bron en de wijk, de bebouwingsdichtheid en de ratio hoogbouw/laagbouw. Toch is het zinvol om in een beginstadium van het project een indicatie te kunnen geven van de kosten per aansluiting zodat men deze kan vergelijken met alternatieven. De meest simpele benadering is om één kengetal te nemen per aansluiting. Door CE Delft wordt gerekend met € 8.000 voor gestapelde bouw en € 12.000 voor grondgebonden woningen. In deze studie hebben we deze (grote) kengetallen aangehouden.

In een iets gedetailleerdere benadering kan een onderscheid gemaakt worden tussen het distributienet (van de bron tot aan de wijk), het wijknet en de aansluiting in de woning. In het Vesta MAIS model (versie 3.2) wordt op die manier gerekend. Daarin wordt voor gestapelde bouw gerekend met € 2.700 voor het wijknet en € 5.300 + € 500 voor de fysieke aansluiting in de woning. Samen komt dat neer op € 8.500 voor gestapelde bouw tegenover € 8.000 in het model van CE Delft. Voor grondgebonden woningen wordt gerekend met € 5.000 voor het wijknet, waarbij het totaal neerkomt op € 10.800 neerkomt.

Voor kleinschalige buurtwarmtenetten zijn geen specifieke kengetallen beschikbaar. Een aantal belangrijke verschillen tussen een 'gemiddeld' warmtenet en het buurtwarmtenet Paddepoel zijn het ontbreken van een transportleiding (bron wordt in de wijk gerealiseerd) een lagere bebouwingsdichtheid en relatief veel bestaande grondgebonden woningen. IJking van generieke

⁶ Brouwer, M., 2019. Het ene model is het andere niet, zes rekenmodellen voor de energietransitie in de gebouwde omgeving onderzocht. Provincie Zuid-Holland, mei 2019.

kengetallen voor (kleinschalige) warmtenetten is nodig om een meer realistische benadering te kunnen geven van de investeringskosten. Voor een vergelijkbare wijk in Groningen is voor een kostenraming gemaakt voor de aansluiting van 261 rijtjeswoningen op het bestaande warmtenet van Warmtestad. Dit komt neer op ca. € 20.000 per woningequivalent, exclusief woningaanpassing van € 5.000. Dit is aanzienlijk hoger dan de kostenkengetallen waarmee hier gerekend is. Wanneer we dan de vergelijking maken met het all-electric scenario en het warmtenet scenario mét isolatie, scoren beide scenario's nagenoeg gelijk, met maatschappelijke kosten rond de € 34.000 en een CO₂-emissiereductie rond de 32%.

5.4 Verdeling kosten warmtenet

Waar all-electric, hybride en waterstof allemaal individuele oplossingen zijn, waarbij alle investeringskosten voor de eigenaar-bewoner zijn, is dat met een warmtenet anders. Hier doet een warmtebedrijf de investeringen. Wel kan er een bijdrage worden gevraagd van eigenaar-bewoners om aan te kunnen sluiten op het net. Het voordeel van een warmtenet hangt o.a. af van de hoogte van de bijdrage aansluitkosten (BAK). Hierover zijn vroeg in het proces nog geen uitspraken over te doen, wat het lastig maakt om de kosten voor eindgebruikers – wat essentiële informatie is in de discussie met bewoners - in kaart te brengen. Toch zal het in de regel zo zijn dat de eigenaar-bewoner relatief kleine investeringen doet, en dat daar tegenover staat dat er ook weinig tot geen besparingen op de energierekening tegenover staan wanneer men nmda-tarieven hanteert.

In deze scenario's is gerekend met het een bijdrage aansluitingskosten (BAK) van € 1.039, de max bijdrage voor woningen die op een bestaand net worden aangesloten. Deze mag voor woningen in Paddepoel (geen bestaand net) hoger zijn. Omdat de nmda-tarieven erop ingericht zijn dat de energiekosten niet hoger – maar zeker ook niet (veel) lager zijn dan een voorziening op gas, verdient met deze investering – in tegenstelling tot de scenario's 'all-electric' en 'hybride' niet (gedeeltelijk) terug. Bij een warmtenet scenario gaat de energierekening in principe niet omlaag. Wordt het warmtenet gecombineerd met isolatie, zit er voor de bewoner wél een kostenvoordeel in (maar wordt de business case voor de exploitant van het warmtenet moeilijker). Wanneer men helemaal van het gas af wil, komen er kosten bij voor het omschakelen naar elektrisch koken. Voor de BAK en elektrisch koken rekenen we ruim € 2.000. Deze worden in principe niet terugverdiend doordat er in principe geen (significante) verlaging van de energiekosten is. Dit kan alleen gecompenseerd worden als voor een lager warmtetarief wordt gekozen dan het nmda-tarief wanneer minder huur op de afleverzet wordt gerekend.

5.5 Warmteverliezen in een warmtenet

Een typisch warmtenet in Noord- en West-Europa heeft verliezen tussen 8 en 15%⁷. In een recente studie van Saxion is de duurzaamheid van 7 Nederlandse warmtenetten in kaart gebracht⁸. Deconclusie is dat de warmteverliezen tussen de 25-35% liggen. Voor Thermo Bello, het warmtenet dat meest vergelijkbaar is met Paddepoel wat betreft bron (riothermie + warmtepomp) en schaal, zijn de warmteverliezen 10%. Dit betreft echter wel een lage temperatuur warmtenet op 50 graden, waarin warmteverliezen typisch lager zijn dan in warmtenetten op hogere temperaturen. Voor Paddepoel zijn de verliezen berekend op 3%. Dit lijkt een zeer lage waarde.

⁷ Frederiksen, S. en Werner, S., 2013. District heating and cooling. Studentlitteratur AB, Lund.

⁸ Papa, T.J.G., Wijnant-Timmerman, S.I., Van Leeuwen, R.P. 2019. Warmtenetten, technische karakterisering. Saxion Hogeschool, mei 2019.

5.6 Kosten all-electric woning

Wanneer er ingrijpende maatregelen nodig zijn om bestaande woningen aan te passen all-electric, kunnen er naast de voor de hand liggende kostenposten, zoals isolatie en radiatoren, ook aanzienlijke kosten zijn voor aanpassingen aan de elektrische installatie. Daarnaast kunnen er meet- en regelsystemen gewenst zijn, waar ook significante kosten mee gemoeid zijn. Urgenda en Thuisbaas hebben een reeks brochures uitgegeven over energieneutrale woningen, waarbij de kosten voor de maatregelen zijn gedocumenteerd⁹. Zij rekenen gemiddeld tussen de € 2.000-3.000 voor meet- en regelsystemen en eenzelfde bedrag voor elektrische aanpassingen en voor advies en begeleiding. In deze studie hebben we voor meet- en regelsystemen € 2.250 en voor elektrische aanpassingen € 2.500 aangehouden. Kosten voor advies en begeleiding hebben we buiten beschouwing gelaten.

5.7 Prijs en duurzaamheid waterstof

Voor de prijs van waterstof hebben we een aanname gedaan van 7 €/kg. Deze hebben we omgerekend naar een consumentenprijs, door daar energiebelasting bij op te tellen. In werkelijkheid is er nog veel onduidelijk over de prijs waarvoor waterstof op de markt kan worden gebracht. In het huidige stadium van techniekontwikkeling, waarin het gebruik van waterstof slechts op experimentele schaal wordt toegepast, is een veel lagere prijs niet erg aannemelijk. In de toekomst kan waterstof door technologische ontwikkeling wellicht wel goedkoper en efficiënter worden geproduceerd, waardoor ook de verkoopprijs zal dalen. Dat maakt waterstof wellicht wel een mogelijkheid voor de toekomst.

De mate waarin waterstof een goed alternatief biedt voor aardgas hangt ook af van de duurzaamheid van de productie ervan. In het huidige energiesysteem wordt elektriciteit nog maar beperkt duurzaam opgewekt en is er nog geen sprake van grote overschotten duurzaam geproduceerde elektriciteit. De CO₂-emissie van warmtevoorziening met waterstof is dan ook groter dan met aardgas. Waterstof kan wanneer het wel duurzaam wordt geproduceerd, bijvoorbeeld met overschotten windenergie, wel een alternatief bieden met een lagere CO₂-emissie dan aardgas. Dit zal echter afhangen van de beschikbaarheid van duurzaam opgewekte elektriciteit in de toekomst.

5.8 Kosten netverzwaring

Wanneer de woningen in een bestaande wijk grootschalig worden voorzien van een warmtepomp, gaat het elektriciteitsverbruik - en daarmee belasting op het elektriciteitsnet - aanzienlijk omhoog. Bestaande netten zijn niet gebouwd op dit gebruik en zullen naar verwachting moeten worden verzwared. Omdat warmtepompen nog niet grootschalig worden toegepast in bestaande wijken, zijn er weinig kengetallen beschikbaar voor de kosten van deze netverzwaring. In deze studie hebben we de aanname gedaan van € 5.000 euro per woning in het all-electric scenario. In het hybride scenario rekenen we geen netverzwaringkosten. Onduidelijk is of er inderdaad geen netverzwaring nodig is voor het grootschalig toepassen van hybride warmtepompen. CE Delft rekent met 961 €/kW, wat bij een lucht-water warmtepomp bij energielabel A neerkomt op 4,1 kW * € 961 = € 3950¹⁰. Deze bedragen komen redelijk met elkaar overeen.

⁹ Thuisbaas, 2014. Ons huis energieneutraal, praktijkvoorbeelden van bestaande woningen. 1^e editie: december 2014.

¹⁰ CE Delft, 2018. CEGOIA Limburg Analyse van een aardgasvrije gebouwde omgeving. CE Delft: april 2018

5.9 Onderhoudskosten (hybride) warmtepomp

In de vergelijking tussen een gasgestookte cv-ketel en een warmtepomp hebben we in deze studie aangenomen dat de onderhoudskosten in beide gevallen gelijk zijn. Er zijn echter nog weinig gegevens bekend over de onderhoudskosten van elektrische warmtepompen. Het is daarmee ook niet uitgesloten dat in een dergelijke vergelijking ook rekening gehouden moet worden met hogere onderhoudskosten. Onderhoudskosten zullen op het totaal van maatschappelijke kosten en baten maar een kleine invloed hebben, maar voor de evaluatie door bewoners (impact op de energierekening) is het wel belangrijk om dit in de afweging mee te nemen.

5.10 Conclusie

Er bestaat veel onduidelijkheid over een aantal belangrijke variabelen in het model. Het ontbreekt met name aan realistische (praktijk)gegevens over de SCOP van warmtepompen, de kosten van een warmtenet per aansluiting en de kosten van (vergaande) isolatie. De uitkomsten van de scenario's 'all-electric', 'hybride' en 'warmtenet' komen dusdanig dicht bij elkaar in de buurt dat er wanneer deze onzekerheden in acht worden genomen, maar met weinig betrouwbaarheid een voorkeursscenario aan te wijzen is. Het is daarom voor dergelijke studies waarin de alternatieven voor aardgasvrije wijken met elkaar worden vergeleken van belang om meer inzicht te krijgen in deze variabelen.

6 Bijlage: Aannames en data

Tabel 16. Emissiefactoren

Brandstof	Emissie	Eenheid
Aardgas	0,21	kg/kwh
Elektriciteit (grijs)	0,59	kg/kwh
Grijze waterstof	12,53	kg/kg

Bron: CBS (elektriciteit), CO2emissiefactoren.nl (aardgas), Milieubarometer (waterstof)

Tabel 17. Elektriciteitsverbruik huishouden

Verbruikstype	Verbruik (kWh)
Gemiddeld persoon	1355
Gemiddeld huishouden	2860
Appartement	2050
Tussenwoning	2990
Hoekwoning	3100
Twee onder een kap	3430
Vrijstaand	4040

Bron: CBS, 2017

Tabel 18. Gasverbruik huishouden per woningtype

Woningtype	Verbruik (m3)
Rijtjeswoning '65-'74	2030
Twee-onder-een-kapwoning '65-'74	3046
Portiekwoning '65-'74	981
Flatwoning '06-heden	600

Bron: Agenstschap NL, 2017

Tabel 19. Energieprijzen

Energieprijzen		
Gasprijs	0,76	€/m3
Elektriciteitsprijs kleinverbruik	0,21	€/kWh
Elektriciteitsprijs grootverbruik	0,21	€/kWh
Warmteprijs	26,15	€/GJ
Waterstofprijs (productie)	7	€/kg
	0,63	€/m3
Opslag duurzame energie per m3 gas	0,0634	€/m3
Energiebelasting m3 gas	0,35469	€/m3
Btw	21%	%
Consumentenprijs waterstof (waterstofprijs + opslag DE + energiebelasting + btw)	1,268	€/m3

Tabel 20. Afsluitkosten gas

Afsluitkosten gas		
Kosten Enexis laagbouw (incl. btw)	732,05	euro
Kosten Enexis hoogbouw (incl. btw)	202,05	euro

Tabel 21. SCOP warmtepompen

SCOP van warmtepompen	
Lucht-water warmtepomp woning	3,5
Bodemwarmtepomp woning	4,0
Bodemwarmtepomp warmtenet	4,5

Tabel 22. Kosten warmtetechnieken

Warmtetechniek	Investeringskosten
Warmtepomp	€ 8000
Hybride warmtepomp (warmtepomp + cv-ketel)	€ 5000 + € 1400
Warmtenet grondgebonden woning (wijknet + woningaansluiting)	€ 8000 + € 4000
Warmtenet gestapelde woning	€ 4000 + € 4000
Waterstof cv-ketel	€ 2500

Tabel 23. Levensduur/afschrijvingstermijn technieken

Maatregel	Termijn
Installaties	15
Warmtenet	25
Gebouwmaatregelen	25
Zonnepanelen	20

Tabel 24. Input zonnepanelen

Onderdeel	Hoeveelheid	Eenheid
Opbrengst per Wp	0,85	KWh/Wp
Aantal Wp per paneel	275	Wp
Investeringskosten per Wp	1,2	€/Wp

Tabel 25. Investeringskosten isolatie voor grondgebonden woningen

Schil	A+	A	B	C	D	E	F	G
A+ (huidig)	0	0	0	0	0	0	0	0
A (huidig)	31	0	0	0	0	0	0	0
B (huidig)	82	70	0	0	0	0	0	0
C (huidig)	218	185	69	0	0	0	0	0
D (huidig)	198	122	76	49	0	0	0	0
E (huidig)	232	147	107	85	49	0	0	0
F (huidig)	277	166	128	106	72	35	0	0
G (huidig)	303	170	140	123	96	66	33	0

Bron: CE Delft

Tabel 26. Investeringskosten isolatie voor gestapelde woningen

Schil	A+	A	B	C	D	E	F	G
A+ (huidig)	0	0	0	0	0	0	0	0
A (huidig)	64	0	0	0	0	0	0	0
B (huidig)	119	84	0	0	0	0	0	0
C (huidig)	267	157	72	0	0	0	0	0
D (huidig)	253	160	80	34	0	0	0	0
E (huidig)	337	132	96	75	43	0	0	0
F (huidig)	337	138	107	89	61	30	0	0
G (huidig)	441	141	116	102	80	57	30	0

Bron: CE Delft

Tabel 27. Besparing per schilstap

Schil	A+	A	B	C	D	E	F	G
A+ (huidig)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
A (huidig)	23%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
B (huidig)	33%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
C (huidig)	43%	24%	8%	0%	0%	0%	0%	0%
D (huidig)	54%	34%	20%	13%	0%	0%	0%	0%
E (huidig)	62%	39%	27%	20%	8%	0%	0%	0%
F (huidig)	69%	43%	32%	26%	15%	7%	0%	0%
G (huidig)	73%	45%	35%	28%	18%	10%	3%	0%

Bron: CE Delft

Tabel 28. Woningtypes

	Bruto vloeroppervlakte	Aantal bewoners	Dakoppervlakte	Energieverbruik gas	Energieverbruik elektriciteit	Energielabel
1a. Rijwoning: tot en met 1945	102	3	55,9	3.337	2.990	G (huidig)
1b. Rijwoning: 1946-1964	87	2,8	57,3	2.246	2.990	F (huidig)
1c. Rijwoning: 1965-1974	106	3	65,5	2.030	2.990	E (huidig)
1d. Rijwoning: 1975-1991	106	3	68,6	1.542	2.990	D (huidig)
1e. Rijwoning: 1992-2005	114	3	56,1	1.135	2.990	C (huidig)
2a. Galerijwoning: tot en met 1964	72	2,2	75	875	2.050	D (huidig)
2b. Galerijwoning: 1965-1974	82	2,8	89,2	1.339	2.050	E (huidig)
2c. Galerijwoning: 1975-1991	68	2,2	68	747	2.050	C (huidig)
2d. Galerijwoning: 1992-2005	79	2,8	87,3	606	2.050	B (huidig)
3a. Portiekwoning: tot en met 1945	59	2,2	63,1	1.489	2.050	F (huidig)
3b. Portiekwoning: 1946-1964	66	2,2	71,7	1.162	2.050	E (huidig)
3c. Portiekwoning: 1965-1974	71	2,2	75,1	981	2.050	D (huidig)
3d. Portiekwoning: 1975-1991	70	2,2	81,9	849	2.050	C (huidig)
3e. Portiekwoning: 1992-2005	74	2,2	82	774	2.050	B (huidig)
4a. Vrijstaand: tot en met 1964	130	3	128,1	4.731	4.040	G (huidig)
4b. Vrijstaand: 1965-1974	144	3	120,7	4110	4040	F (huidig)
4c. Vrijstaand: 1975-1991	154	3,2	125,6	2.616	4.040	D (huidig)
4d. Vrijstaand: 1992-2005	172	3,2	120,8	1.882	4.040	C (huidig)
5a. Twee onder een kap: tot en met 1964	110	3	63,7	3.453	3.430	F (huidig)
5b. Twee onder een kap: 1965-1974	123	3	65,2	3.046	3.430	E (huidig)
5c. Twee onder een kap: 1975-1991	123	3	73,4	1.915	3.430	C (huidig)
5d. Twee onder een kap: 1992-2005	132	3	74,2	1.497	3.430	B (huidig)

Bron: Agenstschap NL, CBS (elektriciteitsverbruik)

