



Overzicht elektrische verwarmingsopties

Kengetallen voor woningen



Committed to the Environment

Overzicht elektrische verwarmingsopties

Kengetallen voor woningen

Dit rapport is geschreven door:
Katja Kruit, Florian Hesselink en Laurens Vergroesen

Delft, CE Delft, december 2024

Publicatienummer: 24.240365.174

Opdrachtgever: Natuur & Milieu
Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Katja Kruit (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Samenvatting

Steeds meer mensen verduurzamen hun huis. Naast isolatie en zonnepanelen is ook de overstap op elektrisch verwarmen een manier om de klimaatimpact te verminderen. In dit rapport bieden we een overzicht van de beschikbare opties voor elektrisch verwarmen en de belangrijkste verschillen tussen de technieken.

Er zijn elektrische verwarmingstechnieken die zowel ruimteverwarming als warm tapwater voorzien: de lucht-waterwarmtepomp en de hybride warmtepomp (die ook nog een deel gas gebruikt). De lucht-luchtwarmtepomp, elektrische cv-ketel, infraroodverwarming en elektrische verwarming (radiator/vloerverwarming) voorzien alleen in ruimteverwarming. Een elektrische boiler maakt warm tapwater.

Een overzicht van de verschillende warmteoplossingen en hun belangrijkste eigenschappen is gegeven in Tabel 1. We hebben gekeken naar welke toepassing de oplossing geschikt voor is, of de oplossing ruimteverwarming en/of tapwater levert, het type warmte, de kosten, impact op het elektriciteitsnet en CO₂-reductie.

Tabel 1 - Algemeen overzicht van de warmteoplossingen

Naam oplossing	Geschikt voor	Ruimte- verwarming/ tapwater	Type warmte	Totale jaarlijkse kosten	Impact op elektriciteits- net	CO ₂ -reductie
Lucht- waterwarmtepomp	Goed geïsoleerde woning, hoofd- verwarming	Beide	Lage temperatuur	Laag	Middel	Hoog
Lucht- luchtwarmtepomp	Goed geïsoleerde woning, hoofd- verwarming	Ruimte- verwarming	Lage temperatuur warme lucht die wordt geblazen	Laag	Middel	Hoog
Hybride warmtepomp	Hoofdverwarming	Beide	Middelhoge temperatuur	Laag	Middel	Hoog
Elektrische cv-ketel	Bijverwarming	Ruimte- verwarming (soms ook tapwater)	Hoge temperatuur	Middel	Hoog	Middel
Infrarood- verwarming	Bijverwarming	Ruimte- verwarming	Straling	Middel	Hoog	Middel
Elektrische radiator	Bijverwarming	Ruimte- verwarming	Lage temperatuur	Middel	Hoog	Middel
Elektrische vloerverwarming	Bijverwarming	Ruimte- verwarming	Lage tot hoge temperatuur	Hoog	Hoog	Middel
Elektrische boiler	Tapwater	Tapwater	(Tapwater)	Laag	Middel	Laag
Waterstof-cv-ketel*	Hoofdverwarming	Beide	Hoge temperatuur	Zeer hoog	Laag, maar wel aanpassing gasnet nodig	Hoog

* Waterstof-cv-ketels zijn nog niet te koop en er ligt nog geen infrastructuur voor de distributie van waterstof. Het is niet bekend of, en wanneer, dit een reële optie wordt voor woningen.

Om een hele woning te verwarmen zijn de lucht-waterwarmtepomp, de hybride warmtepomp en de lucht-luchtwarmtepomp het meest geschikt omdat zij een hoge efficiëntie hebben. Deze technieken werken het beste bij een goede isolatie. De elektrische cv-ketel, infraroodverwarming en elektrische verwarming (radiator/vloerverwarming) verbruiken veel energie. Daarom zijn ze het meest geschikt als bijverwarming, bijvoorbeeld van een ruimte die niet vaak wordt gebruikt.

Voor de totale jaarlijkse kosten zijn alle verschillende kostenposten (investeringskosten, energiekosten, onderhoudskosten, aansluiting) omgerekend naar een jaarlijks bedrag. Voor een eerlijke vergelijking zijn we uitgegaan van een volledige invulling van de warmtevraag, ook als de warmtetechniek vooral geschikt is als bijverwarming. De lucht-waterwarmtepomp, de hybride warmtepomp en de lucht-luchtwarmtepomp hebben de laagste jaarlijkse kosten, ook weer omdat zij een hoge efficiëntie hebben.

Waterstof voorlopig niet beschikbaar, naar verwachting hoge kosten

Waterstof is ook een energiedrager die warmte kan leveren. Echter, waterstof is nog niet verkrijgbaar voor consumenten, waterstof-cv-ketels zijn nog niet te koop en er ligt geen infrastructuur voor de distributie van waterstof naar woningen. Naar verwachting wordt de energieprijs voor waterstof circa vier keer zo hoog als voor aardgas.



Inhoud

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
	1.1 Aanleiding	5
	1.2 Doel	5
	1.3 Leeswijzer	5
2	Uitleg eigenschappen	6
	2.1 Voor welke situatie is de oplossing geschikt?	6
	2.2 Gebruiksvriendelijkheid	6
	2.3 Comfort	6
	2.4 Kosten	6
	2.5 CO ₂ -uitstoot	7
	2.6 Impact op het elektriciteitsnet	8
3	Vergelijking verwarmingsopties	9
	3.1 Lucht-waterwarmtepomp	9
	3.2 Lucht-luchtwarmtepomp	10
	3.3 Hybride lucht-waterwarmtepomp	11
	3.4 Elektrische cv-ketel	12
	3.5 Infraroodverwarming	13
	3.6 Elektrische verwarming	14
	3.7 Elektrische boiler	15
	3.8 Waterstof-cv-ketel	16
	3.9 Overzicht verwarmingsopties	18
	Referenties	20
A	Parameters	22
	A.1 Energietarieven	22
	A.2 Emissiefactoren	22
	A.3 Kosten	23
	A.4 Rendement	24



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Steeds meer mensen verduurzamen hun huis. Naast isolatie en zonnepanelen is ook de overstap op elektrisch verwarmen een manier om de klimaatimpact te verminderen. Naast verwarmen met een warmtepomp kan elektrisch verwarmen ook met bijvoorbeeld weersstandsverwarming of infraroodverwarming. Deze technieken zijn minder bekend en hebben verschillende voor- en nadelen, bijvoorbeeld op het gebied van operationele kosten, gebruiksgemak, comfort en CO₂-uitstoot.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is om consumenten en andere partijen snel een overzicht te kunnen bieden van keuzes voor elektrisch verwarmen en de belangrijkste verschillen tussen de verschillende technieken.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 geven we een uitleg over de verschillende eigenschappen van elektrische verwarmingsopties. Vervolgens bespreken we in Hoofdstuk 3 de warmtetechnieken. In Bijlage A geven we de gebruikte parameters voor de berekeningen.

2 Uitleg eigenschappen

Verschillende warmteoplossingen hebben verschillende eigenschappen. In dit hoofdstuk leggen we uit wat we bedoelen met elke eigenschap.

2.1 Voor welke situatie is de oplossing geschikt?

Is de warmteoplossing geschikt voor gebruik in een bepaald type woning? Zijn er specifieke voorwaarden aan verbonden voor het in gebruik nemen van de warmteoplossing? Hoe goed moet het huis geïsoleerd zijn om het op te kunnen warmen?

2.2 Gebruiksvriendelijkheid

Onder gebruiksvriendelijkheid verstaan we hier hoe de aansturing is: Hoe wordt het aan-/uitzetten van de temperatuur geregeld en hoe lang duurt het voor de ruimte op temperatuur is? Het gemak van de installatie, onderhoud en plaatsing houden we hier buiten beschouwing.

2.3 Comfort

De volgende thema's vallen onder comfort:

- Warmtebeleving: Hoe de warmte wordt beleefd is afhankelijk van het type warmte (straling of convectie), de temperatuur van afgifte en de tijd die nodig is om het huis op te warmen. Dit is deels subjectief: sommige mensen vinden het prettig als een radiator erg warm is en snel opwarmt, terwijl anderen een constante temperatuur comfortabeler vinden. Daarom beschrijven we de temperatuur van afgifte en het afgifte medium.
- Koelen: Is de warmteoplossing ook geschikt om te koelen?
- Geluid: Hoeveel geluid wordt door de warmteoplossing geproduceerd?

2.4 Kosten

De kosten die gemaakt worden voor het plaatsen en gebruiken van de warmteoplossingen zijn opgesplitst in investeringskosten, onderhoudskosten, energiekosten en kosten voor de aansluiting.

- Met **investeringskosten** bedoelen we de aanschaf van de benodigde producten behorende bij de warmteoplossing, evenals installatie ervan. Deze kosten zijn exclusief subsidies en het verwijderen van bestaande installaties.
- De **onderhoudskosten** zijn de kosten over de levensduur van de warmteoplossing die gemaakt zijn om zowel reparaties uit te voeren als onderdelen te vervangen voor het verlengen van de totale levensduur. Deze worden uitgerekend als een jaarlijks bedrag dat verdeeld is aan de hand van de verwachte levensduur van de oplossing.
- **Energiekosten** zijn de gemaakte kosten voor het energiegebruik voor één jaar. Hiervoor gaan we uit van het verbruik van drie voorbeeldwoningen met verschillende isolatieniveaus (zie Tabel 2). De energieprijzen zijn gebaseerd op de gemiddelde prijzen voor gas en elektriciteit in de komende tien jaar (tussen 2025 en 2035) uit het rapport van Berenschot (Berenschot, 2024).



- **Kosten aansluiting:** Bij aardgasvrije technieken valt het vastrecht voor gas weg en is een aanpassing in de meterkast nodig. Mogelijk wordt het vastrecht voor elektriciteit verhoogd, maar dat hangt af van de situatie dus daar kunnen we geen algemene uitspraak voor doen.

Om een vergelijking tussen technieken mogelijk te maken, berekenen we ook de **totale jaarlijkse kosten**. Daarin zijn de investeringskosten en kosten voor eventuele aanpassing in de meterkast omgerekend naar jaarlijkse kosten met een rentepercentage van 4% (Warmtefonds, Lopend).

Omdat de kosten erg kunnen verschillen op basis van het energiegebruik van de woning, geven we de kosten voor drie woningen met hetzelfde oppervlak maar een verschillende mate van isolatie: goed, gemiddeld en slecht. Het gasgebruik is gebaseerd op representatieve woningtypen (PBL, 2023).

Tabel 2 - Type woningen en gasgebruik die we in dit onderzoek hanteren

Type woning	Energielabel	Gasgebruik ruimteverwarming (m ³)	Oppervlak (m ²)
Goed geïsoleerd	A	700	100
Gemiddeld geïsoleerd	C	1.000	100
Slecht geïsoleerd	F/G	1.500	100

Schalen van kosten naar eigen situatie

De kosten verschillen per situatie. Om deze voorbeeldberekeningen om te rekenen naar een specifieke situatie, kunnen de volgende richtlijnen worden gehanteerd:

- Gasgebruik: Bij een hoger of lager gasgebruik schalen de energiekosten mee.
- Oppervlakte: Bij een kleine of grote woning kan het dat er kleinere installaties (kleiner vermogen) of minder apparaten hoeven worden geïnstalleerd. De investeringskosten en de impact op het elektriciteitsnet vallen dan ook lager uit.

2.5 CO₂-uitstoot

We berekenen de CO₂-reductie ten opzichte van het gebruik van een cv-ketel op aardgas voor de drie woningtypes uit Tabel 2. De CO₂-uitstoot is het energiegebruik vermenigvuldigd met een CO₂-emissiefactor. Deze factor is een gemiddelde van de emissiefactor van de komende tien jaar (2025 tot en met 2035) en staat in Bijlage A.

Bij de berekening van het energiegebruik gaan we ervan uit dat met de warmteoplossing aan de volledige warmtevraag wordt voldaan, dus ook met technieken die eigenlijk beter geschikt zijn als bijverwarming. Dit doen we om te laten zien wat het effect is op energiekosten en CO₂-emissies. Voor infraroodpanelen nemen we een reductie in de warmtevraag van 20% aan vanwege de lagere temperatuur en lagere comfortniveau in het huis dat algemeen bereikt wordt.

Bij het berekenen van de CO₂-reductie houden we er rekening mee of de techniek voorziet in ruimteverwarming, tapwater of allebei. Bij een gemiddelde woning gaan we uit dat 76% van de gasvraag wordt gebruikt voor ruimteverwarming.

2.6 Impact op het elektriciteitsnet

Als laatste kijken we naar de invloed die een warmteoplossing gaat hebben op het elektriciteitsnet. Een elektrische warmteoplossing kan veel stroom verbruiken. Als genoeg van zulke apparaten aanstaan, veroorzaakt dat problemen op het elektriciteitsnet. Het maximale (piek)vermogen van iedere oplossing wordt uitgedrukt in kW (kilowatt).



3 Vergelijking verwarmingsopties

3.1 Lucht-waterwarmtepomp

Een lucht-waterwarmtepomp gebruikt de warmte uit de buitenlucht om water op te warmen voor zowel centrale verwarming als tapwater. Het bestaat uit een buitendeel, binnendeel en een voorraadvat voor opgewarmd tapwater. In het voorraadvat zit een elektrisch warmte-element om het voorraadvat sneller te kunnen vullen met warm water. De kosten en CO₂-reductie hieronder zijn inclusief tapwater.

Tabel 3 - Eigenschappen lucht-waterwarmtepomp

Eigenschap	Lucht-waterwarmtepomp
Geschikt voor	Hoofdverwarming in goed geïsoleerde woningen. Vloerverwarming is het meest geschikt; zonder vloerverwarming kan het huis nog wel worden verwarmd, maar duurt het langer tot het huis warm is.
Afgiftesysteem	Warm water op relatief lage temperatuur (< 55°C) dat verspreid wordt via radiatoren, convectoren of vloerverwarming.
Gebruiksvriendelijkheid (aansturing)	Centraal via de thermostaat. Door de lagere temperatuur duurt het langer tot de woning is opgewarmd, daarom moet de thermostaat anders worden ingesteld dan bij een cv-ketel.
Comfort	<ul style="list-style-type: none"> – Warmtebeleving: Door de lagere afleveringstemperatuur is een goede isolatie vereist (label B of beter) om een aangename temperatuur te bereiken in huis. Bij slechte(re) isolatie kan het dat het huis op koude dagen niet goed warm te krijgen is. Door de lagere afgiftetemperatuur is de temperatuur in huis in het algemeen constanter. Volgens de Installatiemonitor is 82% van de eigenaren tevreden over het comfort (BDH, 2023). – Koelen: Soms, dit is afhankelijk van het type warmtepomp en het afgiftesysteem in huis. – Geluid: Binnen in huis is de geluidsproductie vergelijkbaar met dat van een aardgas-cv-ketel. Er is buiten een apparaat aanwezig dat geluid produceert. Hiervoor gelden regels voor de maximale geluidsproductie voor de burens. Volgens de Installatiemonitor ervaart 2,6% van de eigenaren van een warmtepomp overlast van het buitendeel en 3% van het binnendeel.
Impact elektriciteitsnet	– 2 tot 4 kW elektrisch piekvermogen.
Kosten (incl. voorraadvat)	<ul style="list-style-type: none"> – Investering: € 8.900 (goed geïsoleerd); € 11.200 (gemiddeld); € 13.400 (slecht geïsoleerd). – Onderhoud: € 200 per jaar. – Energie: € 920 (goed geïsoleerd); € 1.250 (gemiddeld); € 1.890 (slecht geïsoleerd) per jaar.
CO ₂ -reductie (incl. tapwater)	1.460 (goed geïsoleerd); 1.864 (gemiddeld); 2.509 (slecht geïsoleerd) kg CO ₂ per jaar.

Bronnen: (BDH, 2023); (CE Delft, lopend); (Milieu Centraal, lopend-b).

3.2 Lucht-luchtwarmtepomp

Een lucht-luchtwarmtepomp gebruikt de warmte uit de buitenlucht om direct lucht in het huis op te warmen. De warmte die wordt gehaald uit de buitenlucht wordt binnen in het huis verspreid via een of meerdere apparaten die warme (en sommige ook koude) lucht blazen, verdeeld over de ruimtes waar verwarming nodig is. Een lucht-luchtwarmtepomp is een airco die ook kan verwarmen. Voor de kostenberekening gaan we uit van meerdere blazers, namelijk drie tot vijf afhankelijk van het type woning.

Tabel 4 - Eigenschappen lucht-luchtwarmtepomp

Eigenschap	Lucht-luchtwarmtepomp (airco)
Geschikt voor	Bijverwarming van een specifieke kamer of hoofdverwarming (multisplitairco). Bij een goed geïsoleerde woning is de aanschaf goedkoper en het verbruik lager.
Afgiftesysteem	Lucht wordt direct opgewarmd en verspreid door de ruimte.
Gebruiksvriendelijkheid (Aansturing)	Centraal via de thermostaat of per apparaat. Omdat de airco de warme lucht door de ruimte blaast, is de ruimte snel opgewarmd.
Comfort	<ul style="list-style-type: none"> – Warmtebeleving: De warmte wordt verspreid via een stroom van warme lucht. Sommige mensen vinden dit comfortabel, anderen vinden dit minder comfortabel (gevoel van tocht, geen warme straling van radiatoren). – Koelen: Ja. – Geluid: Er is buiten een apparaat aanwezig dat geluid produceert waarvoor regels gelden voor maximale geluidsproductie voor de burens. Binnen wordt door een blazer geluid geproduceerd, vergelijkbaar met een airco.
Impact elektriciteitsnet	– 2 kW elektrisch piekvermogen.
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> – Investering: € 5.500 (goed geïsoleerd); € 6.900 (gemiddeld); € 8.300 (slecht geïsoleerd). – Onderhoud: € 100 per jaar. – Energie: € 520 (goed geïsoleerd); € 850 (gemiddeld); € 1.490 (slecht geïsoleerd) per jaar.
CO ₂ -reductie	1.020 (goed geïsoleerd); 1.424 (gemiddeld); 2.069 (slecht geïsoleerd) kg CO ₂ per jaar.

Bronnen: (CE Delft, lopend); (Milieu Centraal, lopend-b); (Warmtepompenadvies.be, lopend).

3.3 Hybride lucht-waterwarmtepomp

Een hybride warmtepomp bestaat uit een lucht-waterwarmtepomp die gebruikt wordt voor ruimteverwarming en een cv-ketel op gas voor het voorzien van tapwater en pieken in ruimteverwarming. De warmtepomp heeft een binnendeel en een buitendeel, dat bijvoorbeeld op het dak, aan de gevel of in de tuin staat.

Tabel 5 - Eigenschappen hybride lucht-waterwarmtepomp

Eigenschap	Hybride lucht-waterwarmtepomp
Geschikt voor	Redelijk tot goed geïsoleerde woningen.
Afgiftesysteem	Warm water (< 55°C) dat verspreid wordt via radiatoren, convectoren en/of vloerverwarming.
Gebruiksvriendelijkheid (aansturing)	Centraal via de thermostaat. Door de lagere afgiftetemperatuur duurt het langer tot de woning is opgewarmd, daarom moet de thermostaat anders worden ingesteld dan bij een cv-ketel.
Comfort	<ul style="list-style-type: none"> – Warmtebeleving: Doordat de afgiftetemperatuur hoger is dan bij een volledig elektrische warmtepomp, is een minder goede isolatie vereist (circa label C of beter) om een aangename temperatuur te bereiken in huis. Bij slechte(re) isolatie duurt het langer om het huis op te warmen en gaat er ook te veel warmte verloren om de vereiste temperatuur aan te houden. – Koelen: Niet gebruikelijk. – Geluid: Binnen in huis is de geluidsproductie vergelijkbaar met die van een aardgas-cv-ketel. Er is buiten een apparaat aanwezig dat geluid produceert. Volgens de Installatiemonitor ervaart 6,3% van de eigenaren van een hybride warmtepomp zelf overlast van het buitendeel en 8,3% van het binnendeel.
Impact elektriciteitsnet	– 2 tot 4 kW piek elektrisch vermogen.
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> – Investering: € 5.900 (goed geïsoleerd); € 7.400 (gemiddeld); € 8.900 (slecht geïsoleerd). – Onderhoud: € 200 per jaar. – Energie: € 560 (goed geïsoleerd); € 820 (gemiddeld); € 1.320 (slecht geïsoleerd) per jaar.
CO ₂ -reductie	1.558 (goed geïsoleerd); 1.978 (gemiddeld); 2.663 (slecht geïsoleerd) kg CO ₂ per jaar.

Bronnen: (CE Delft, 2019); (Milieu Centraal, lopend-a).

3.4 Elektrische cv-ketel

Een elektrische cv-ketel gebruikt stroom in plaats van gas om direct water op te warmen met elektrische weerstanden. Een elektrische cv-ketel is verkrijgbaar voor alleen de verwarming, of ook voor bereiding van warm tapwater. De elektrische cv-ketel mag niet als hoofdverwarming gebruikt worden omdat het de vereiste hoeveelheid elektrische energie hoger is dan wat uit aardgas (of met efficiëntere warmteoplossingen) gehaald zou kunnen worden (artikel 6.55 van het Bouwbesluit). De elektrische cv zou wel gebruikt mogen worden voor het verwarmen van een kleinere losse ruimte of een bijgebouw.

Om de kosten en CO₂-reductie goed te kunnen vergelijken, rekenen we uit wat deze zijn bij gebruik als hoofdverwarming, zonder tapwater.

Tabel 6 - Eigenschappen elektrische cv-ketel

Eigenschap	Elektrische cv-ketel
Geschikt voor	Verwarming van een aparte ruimte of bijgebouw, of als aanvulling op een andere warmtebron.
Afgiftesysteem	Water wordt met elektriciteit opgewarmd voor verwarming.
Gebruiksvriendelijkheid (aansturing)	Centraal via de thermostaat.
Comfort	<ul style="list-style-type: none">– Warmtebeleving: De geproduceerde warmte is vergelijkbaar als met een gas-cv-ketel. Isolatie is geen specifieke eis, alleen het energieverbruik zal nog hoger zijn met slechtere isolatie.– Koelen: Nee.– Geluid: De ketel is stiller dan een cv-ketel op aardgas omdat er geen ventilator aanwezig is.
Impact elektriciteitsnet	<ul style="list-style-type: none">– 4 tot 24 kW piek elektrisch vermogen (afhankelijk van de grootte van de ketel).
Kosten	<ul style="list-style-type: none">– Investering: € 1.000 (goed geïsoleerd); € 1.300 (gemiddeld); € 1.500 (slecht geïsoleerd).– Onderhoud: onbekend.– Energiekosten: € 2.090 (goed geïsoleerd); € 2.980 (gemiddeld); € 4.470 (slecht geïsoleerd) per jaar.
CO ₂ -reductie	528 (goed geïsoleerd); 754 (gemiddeld); 1.130 (slecht geïsoleerd) kg CO ₂ per jaar.

Bronnen: (NEFIT Bosch, 2024); (Warmteservice, 2024b).

3.5 Infraroodverwarming

Infraroodverwarming wordt gedaan door panelen die straling gebruiken om warmte direct aan de mensen en objecten binnen het bereik af te geven. Elektriciteit wordt gebruikt om de hiervoor benodigde energie te leveren.

Meestal worden de panelen in bepaalde ruimtes opgehangen zoals de badkamer of boven het bureau. In sommige gevallen, bij heel goed geïsoleerde woningen, kiezen mensen ervoor om de hele woning hiermee te verwarmen. Maar infrarood is niet geschikt als hoofdverwarming voor slecht/matig geïsoleerde woningen en volgens het Bouwbesluit niet toegestaan als hoofdverwarming, vanwege het hoge energiegebruik.

Om de kosten en CO₂-reductie goed te kunnen vergelijken, rekenen we wel uit wat deze zijn bij gebruik als hoofdverwarming. Daarbij gaan we ervan uit dat de woning tot een lagere temperatuur wordt verwarmd (17-18°C) en daarom 20% minder energie nodig is.

Tabel 7 - Eigenschappen infraroodverwarming

Eigenschap	Infraroodverwarming
Geschikt voor	Bijverwarming in specifieke kamers, waar het niet nodig is om alle ruimtes in het geheel op te warmen.
Afgiftesysteem	Straling.
Gebruiksvriendelijkheid (aansturing)	Per apparaat aan/uit te zetten.
Comfort	<ul style="list-style-type: none">– Warmtebeleving: De uitgezonden straling is directioneel en wordt alleen opgenomen/ervaren door mensen en object in het gezichtsveld van het apparaat. Objecten die worden opgewarmd geven op hun beurt wel weer warmte af aan de ruimte. Maar de ruimte zelf wordt niet opgewarmd. Een infraroodpaneel staat snel aan waardoor de warmte in korte tijd te voelen is.– Koelen: Nee.– Geluid: Stil, de panelen maken geen geluid.
Impact elektriciteitsnet	<ul style="list-style-type: none">– 0,6 tot 1,2 kW piek elektrisch vermogen per paneel (kleine woning 4, gemiddeld 8 en grote woning 12).
Kosten	<ul style="list-style-type: none">– Investering: € 4.500 (goed geïsoleerd); € 5.600 (gemiddeld); € 6.800 (slecht geïsoleerd).– Onderhoud: onbekend.– Energie: € 1.670 (goed geïsoleerd); € 2.380 (gemiddeld); € 3.580 (slecht geïsoleerd) per jaar.
CO ₂ -reductie	659 (goed geïsoleerd); 941 (gemiddeld); 1.412 (slecht geïsoleerd) kg CO ₂ per jaar.

Bronnen: (Milieu Centraal, 2024); (Warmteservice, 2024e).



3.6 Elektrische verwarming

Elektrische verwarming gebruikt elektriciteit om een element op te warmen die de geproduceerde warmte kan afgeven. Dit kan met verschillende soorten apparaten:

- een elektrische radiator waarin een vloeistof wordt opgewarmd;
- een straalkachel die met een lamp warmte uitstraalt;
- een convectorradiator die lucht opwarmt;
- elektrische vloerverwarming die bestaat uit matten, folies of kabels die warmte afgeven aan de vloer.

Elektrische verwarming is geschikt als bijverwarming in een specifieke ruimte die maar kort gebruikt wordt. Heel goed geïsoleerde (kleine) woningen die bijna geen warmtevraag meer hebben, kunnen in theorie 100% met elektrische radiatoren en/of vloerverwarming verwarmd worden, maar dit is niet toegestaan volgens het Bouwbesluit net zoals een elektrische cv-ketel.

In de aanschafkosten van deze technieken is veel variatie. De aanschaf van een straalkachel als bijverwarming is erg goedkoop. Om de kosten en CO₂-reductie goed te kunnen vergelijken, rekenen we wel uit wat deze zijn bij gebruik als hoofdverwarming, waarbij de elektrische verwarming wordt ingebouwd. Daarbij horen ook de kosten van installatie en permanent inpassen in de ruimte.

Tabel 8 - Eigenschappen elektrische radiator en vloerverwarming

Eigenschap	Elektrische radiator of convectie	Elektrische vloerverwarming
Geschikt voor	Bijverwarming van specifieke ruimtes.	
Afgiftesysteem	Lucht.	
Gebruiksvriendelijkheid (aansturing)	Per apparaat aan/uit te zetten of te bedienen met aparte thermostaat. De radiator of vloer wordt snel warm.	
Comfort	<ul style="list-style-type: none"> – Warmtebeleving: Het apparaat wordt snel (erg) warm. Door de hoge temperatuur kan er een groot verschil zijn tussen de warmte dichtbij het apparaat en er verder vanaf. – Koelen: Nee. – Geluid: Stil, weerstandsverwarming maakt geen geluid tenzij een ventilator wordt gebruikt om de warmte de ruimte in te blazen. 	
Impact elektriciteitsnet	<ul style="list-style-type: none"> – 0,2 tot 2 kW piek elektrisch vermogen per radiator (kleine woning 4, gemiddeld 8 en grote woning 12 radiatoren). 	<ul style="list-style-type: none"> – 0,15 kW piek elektrisch vermogen per m². – Tot 15 kW piek elektrisch vermogen.
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> – Investering: € 2.400 (goed geïsoleerd); € 3.000 (gemiddeld); € 3.600 (slecht geïsoleerd). – Onderhoud: € 0. – Energie: € 2.090 (goed geïsoleerd); € 2.980 (gemiddeld); € 4.470 (slecht geïsoleerd) per jaar. 	<ul style="list-style-type: none"> – Investering: € 10.000. – Onderhoud: € 0. – Energie: € 2.090 (goed geïsoleerd); € 2.980 (gemiddeld); € 4.470 (slecht geïsoleerd) per jaar.
CO ₂ -reductie	528 (goed geïsoleerd); 754 (gemiddeld); 1.130 (slecht geïsoleerd) kg CO ₂ per jaar.	

Bronnen: (CE Delft, 2021b); (Warmteservice, 2024f).



3.7 Elektrische boiler

Een elektrische boiler gebruikt elektriciteit om water op te warmen naar de ingestelde temperatuur en in beperkte volumes op te slaan om later te gebruiken als tapwater. De inhoud van de boiler bepaalt hoeveel warm water beschikbaar is voor warm water uit de kraan of voor douchen/bad. Als de boiler leeg is, moet deze eerst gevuld worden voordat er weer warm water beschikbaar is.

Een elektrische boiler kan overal geplaatst worden waar een stroomaansluiting en wateraanvoer is. Om de verliezen en dus de energiekosten zo laag mogelijk te houden, is het van belang om de boiler zo dicht mogelijk bij het afgiftepunt te plaatsen. Kleine boilers worden regelmatig gebruikt als toevoeging in de keuken of in de badkamer om sneller warm water te hebben.

De energiekosten en CO₂-reductie is ten opzichte van een cv-ketel op aardgas. Het gaat alleen om de kosten en CO₂-reductie van het verwarmen van tapwater.

Tabel 9 - Eigenschappen elektrische boiler voor tapwater

Eigenschap	Infraroodverwarming
Geschikt voor	Iedere woning waar tapwater nodig is en een geschikte ruimte beschikbaar is voor het plaatsen van de boiler.
Afgiftesysteem	Water wordt met elektriciteit opgewarmd voor tapwater.
Gebbruiksvriendelijkheid (aansturing)	Op de boiler zelf moet ingesteld worden wanneer en hoeveel warm water wordt opgewarmd. Er zijn ook smart boilers die bediend kunnen worden via een app.
Comfort	<ul style="list-style-type: none">– Warmtebeleving: Het water uit de boiler kan even warm worden ingesteld als een cv-ketel. Het water wordt niet instantaan opgewarmd zoals met een cv-ketel, maar langzaam opgewarmd en in een voorraadvat opgeslagen. Als het voorraadvat leeg is, moet men wachten voor er weer warm water gebruikt kan worden.– Koelen: Nee.– Geluid: Een elektrische boiler maakt geen geluid.
Impact elektriciteitsnet	– 2 tot 3,5 kW piek elektrisch vermogen.
Kosten (enkel tapwater)	<ul style="list-style-type: none">– Investering: € 950.– Onderhoud: € 0.– Energie: € 1.050 per jaar.
CO ₂ -reductie (enkel tapwater)	235 (goed geïsoleerd); 235 (gemiddeld); 235 (slecht geïsoleerd) kg CO ₂ per jaar.

Bronnen: (CE Delft, 2021c); (Electraboiler, 2024).

3.8 Waterstof-cv-ketel

In plaats van aardgas is het ook mogelijk om waterstof te verbranden in een waterstof-cv-ketel. Als de waterstof duurzaam is opgewekt (groene waterstof), komen er geen CO₂-emissies vrij. Om met waterstof te verwarmen is een speciale cv-ketel nodig. Er zijn enkele proefprojecten voor waterstof in woningen en er zijn cv-ketels verkrijgbaar die geschikt zijn voor bijmenging van waterstof bij aardgas.

Echter, huiseigenaren kunnen nu nog niet kiezen om te verwarmen op waterstof. Waterstof-cv-ketels zijn nog niet te koop, waterstof is niet verkrijgbaar bij de energieleverancier en er ligt ook geen infrastructuur voor de distributie van waterstof naar woningen. We nemen deze manier van verwarming alleen mee omdat waterstof vaak genoemd wordt als toekomstige optie om te verduurzamen.

Tekstkader 1 - Berekening consumentenprijs waterstof

Waterstof wordt op grote schaal gebruikt als grondstof in de industrie, maar is nog niet verkrijgbaar als energiedrager voor consumenten, zoals met aardgas wel het geval is. We hebben een inschatting gemaakt van wat CO₂-vrije waterstof, gemaakt van duurzame elektriciteit (groene waterstof), zou kunnen gaan kosten. Daarvoor gebruiken we de productiekosten zoals deze zijn ingeschat door TNO van minimaal 10 en maximaal 14 euro/kgH₂ (TNO, 2024). Deze kosten gelden voor 2024. In de komende tien jaar kunnen de kosten verminderen door innovatie, subsidies en leereffecten; indien de investeringskosten met 50% dalen, dalen de kosten per kg waterstof met ongeveer 15% (investeringskosten zijn circa 30% van de 'levelised costs'¹).

Parameter	Waarde min	Waarde max	Eenheid	Aannames
Productiekosten	8,5 (0,30)	14 (0,42)	€/kg (€/kWh)	Minimale en maximale waarde TNO (2024); minimale waarde verminderd met 15% voor leereffect. kWh-kosten op basis van onderwaarde.
Opslag op productiekosten	5%	20%	% van productiekosten	Inschatting CE Delft, betreft de winstmarge voor de producent.
Opslag leverancier	30%	50%	% van groothandelsprijs	Berenschot geeft circa 40% aan voor aardgas. Niet-bestaande markt dus nog onzeker. Bandbreedte aangehouden. Betreft de risico-opslagen en marge voor de leverancier die inkoopt op de groothandelsmarkten en verkoopt aan huishoudens.
Energiebelasting	€ 0,032	€ 0,065	€/kWh	50 tot 100% van energiebelasting op aardgas. Hier is nog geen beleid voor, en is een aanname.
Btw	21%	21%	%	Gelijk aan huidig.
Consumentenprijs	€ 0,461	€ 0,993	€/kWh	

Dit leidt tot een gemiddelde consumentenprijs van € 0,727 per kWh waterstof. Dit komt overeen met € 6,39 per m³ aardgasequivalent en is ongeveer 3,7 maal zo hoog als de verwachte aardgasprijs.

Omdat we uitgaan van volledig CO₂-vrije (groene) waterstof, is de CO₂-emissie 0 €/kg.

¹ Andere grote kostencomponenten zijn bijvoorbeeld de kosten van de benodigde elektriciteit en de kosten van de netaansluiting elektriciteit. Verdere kostendalingen van waterstof kunnen komen vanuit verlaging van die kostencomponenten.

Tabel 10 - Eigenschappen waterstof-cv-ketel

Eigenschap	Waterstof-cv-ketel
Geschikt voor	Woningen die aangesloten zijn op een waterstofdistributienet. Geen isolatie-eisen.
Afgiftesysteem	Warm water (55 tot 80 °C) dat verspreid wordt via radiatoren, convectoren en/of vloerverwarming.
Gebruiksvriendelijkheid (aansturing)	Centraal via de thermostaat. De afgiftetemperatuur en duur van opwarmen is hetzelfde als bij een aardgas-cv-ketel.
Comfort	<ul style="list-style-type: none"> – De geproduceerde warmte is vergelijkbaar als van een gas-cv-ketel. – Koelen: Nee. – Geluid: De ketel maakt evenveel geluid als een cv-ketel op aardgas.
Impact of energie-infrastructuur	<ul style="list-style-type: none"> – Geen aanpassing elektriciteitsaansluiting bij de woning. Op hoogspanningsniveau is aansluiting voor de elektrolyzers nodig. – Het gasnet moet eerst worden aangepast om waterstof te kunnen transporteren, daarnaast moet ook waterstof beschikbaar zijn.
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> – Investering: € 1.875. – Onderhoud: € 100 per jaar. – Energie: € 6.612 (goed geïsoleerd); € 8.244 (gemiddeld); € 10.966 (slecht geïsoleerd) per jaar.
CO ₂ -reductie	1.750 (goed geïsoleerd); 2.258 (gemiddeld); 3.104 (slecht geïsoleerd) kg CO ₂ per jaar.

3.9 Overzicht verwarmingsopties

Tabel 11 geeft een overzicht van alle eigenschappen die we in deze notitie hebben beschouwd. Om een hele woning te verwarmen zijn technieken met een hoge efficiëntie het meest geschikt. Dat zijn de lucht-waterwarmtepomp, de hybride warmtepomp en de lucht-luchtwarmtepomp. Bij een goede isolatie werken deze het beste. De elektrische cv-ketel, infraroodverwarming en elektrische verwarming (radiator/vloerverwarming) verbruiken veel energie. Daarom zijn ze het meest geschikt als bijverwarming, bijvoorbeeld van een ruimte die niet vaak wordt gebruikt.

Tabel 11 - Algemeen overzicht van de warmteoplossingen

Naam oplossing	Geschikt voor	Ruimte- verwarming/ tapwater	Type warmte	Totale jaarlijkse kosten	Impact op elektriciteits- net	CO ₂ -reductie
Lucht- waterwarmtepomp	Goed geïsoleerde woning, hoofd- verwarming	Beide	Lage temperatuur	Laag	Middel	Hoog
Lucht- luchtwarmtepomp	Goed geïsoleerde woning, hoofd- verwarming	Ruimte- verwarming	Lage temperatuur warme lucht die wordt geblazen	Laag	Middel	Hoog
Hybride warmtepomp	Hoofdverwarming	Beide	Middelhoge temperatuur	Laag	Middel	Hoog
Elektrische cv-ketel	Bijverwarming	Ruimte- verwarming (soms ook tapwater)	Hoge temperatuur	Middel	Hoog	Middel
Infraroodverwarming	Bijverwarming	Ruimte- verwarming	Straling	Middel	Hoog	Middel
Elektrische radiator	Bijverwarming	Ruimte- verwarming	Lage temperatuur	Middel	Hoog	Middel
Elektrische vloerverwarming	Bijverwarming	Ruimte- verwarming	Lage tot hoge temperatuur	Hoog	Hoog	Middel
Elektrische boiler	Tapwater	Tapwater	(Tapwater)	Laag	Middel	Laag
Waterstof-cv-ketel*	Hoofdverwarming	Beide	Hoge temperatuur	Zeer hoog	Laag, maar wel aanpassing gasnet nodig	Hoog

* Waterstof-cv-ketels zijn nog niet te koop en er ligt nog geen infrastructuur voor de distributie van waterstof. Het is niet bekend of, en wanneer, dit een reële optie wordt voor woningen.

Voor de kosten en CO₂-reductie van de verwarmingsopties zijn we voor een eerlijke vergelijking uitgegaan van een volledige invulling van de warmtevraag, ook als de warmtetechniek vooral geschikt is als bijverwarming. In Tabel 12 geven we de investeringskosten en energiekosten. Alle verschillende kostenposten (investeringskosten, energiekosten, onderhoudskosten, aansluiting) zijn daarnaast omgerekend naar totale jaarlijkse kosten. Hier is een duidelijk verband te zien met het energiegebruik en de energiekosten.

Tabel 12 - Overzicht totale jaarlijkse kosten van de warmteoplossingen (€/jaar)

Techniek	Goed geïsoleerd			Gemiddeld			Slecht geïsoleerd		
	Investering (€)	Energiekosten (€/jaar)	Jaarlijkse kosten (€/jaar)	Investering (€)	Energiekosten (€/jaar)	Jaarlijkse kosten (€/jaar)	Investering (€)	Energiekosten (€/jaar)	Jaarlijkse kosten (€/jaar)
Lucht-water-warmtepomp	8.900	900	1.900	11.200	1.300	2.500	13.400	1.900	3.300
Lucht-lucht-warmtepomp	5.500	500	1.100	6.900	900	1.600	8.300	1.500	2.300
Hybride warmtepomp	5.900	600	1.300	7.400	800	1.700	8.900	1.300	2.300
Elektrische cv-ketel	1.000	2.100	2.200	1.300	3.000	3.100	1.500	4.500	4.600
Infraroodverwarming	4.500	1.700	2.100	5.600	2.400	2.900	6.800	3.600	4.200
Radiator/convectie	2.400	2.100	2.300	3.000	3.000	3.300	3.600	4.500	4.800
Vloerverwarming	10.000	2.100	3.000	10.000	3.000	3.900	10.000	4.500	5.400
Elektrische boiler	1.000	1.000	1.200	1.000	1.000	1.200	1.000	1.000	1.200
Waterstof-cv-ketel*	1.900	6.600	6.900	1.900	8.200	8.500	1.900	11.000	11.200

* Waterstof-cv-ketels zijn nog niet te koop en er ligt nog geen infrastructuur voor de distributie van waterstof. Het is niet bekend of, en wanneer, dit een reële optie wordt voor woningen.

Tabel 13 - Overzicht CO₂-reductie per oplossing t.o.v. cv-ketel op aardgas (kg CO₂ per jaar)

Techniek	Warmteproductie voor	Goed geïsoleerd	Gemiddeld	Slecht geïsoleerd
Lucht-waterwarmtepomp	Verwarming + tapwater	1.460	1.860	2.510
Lucht-luchtwarmtepomp	Verwarming	1.020	1.420	2.070
Hybride warmtepomp	Verwarming + tapwater	1.560	1.980	2.660
Elektrische cv-ketel	Verwarming	530	750	1.130
Infraroodverwarming	Verwarming	660	940	1.410
Elektrische radiator/convectie	Verwarming	530	750	1.130
Elektrische vloerverwarming	Verwarming	530	750	1.130
Elektrische boiler	Tapwater	240	240	240
Waterstof-cv-ketel*	Verwarming + tapwater	1.750	2.260	3.100

* Waterstof-cv-ketels zijn nog niet te koop en er ligt nog geen infrastructuur voor de distributie van waterstof. Het is niet bekend of, en wanneer, dit een reële optie wordt voor woningen.



Referenties

- BDH. (2023). *Installatiemonitor enquête: Ervaringen warmtepomp*.
<https://www.installatiemonitor.nl/wp-content/uploads/2024/09/2024-09-09-Resultaten-presentatie-enquete-2-gebruikerservaringen.pdf>
- Berenschot. (2024). *De energierekening in 2023 en 2035 vergeleken*.
https://www.berenschot.nl/media/yyhip2qv/240124_essent_betaalbaarheid_energierekening_rapportage_deela.pdf
- CE Delft. (2019). *Alle warmtetechnieken voor bewoners : factsheet Hybride Warmtepomp*.
https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/04/06_Factsheet-Hybride-warmtepomp_DEF.pdf
- CE Delft. (2021a). *Factsheet elektrische weerstandsverwarming*. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/04/11_Factsheet-Elektrische-weerstandsverwarming_DEF.pdf
- CE Delft. (2021b). Factsheets warmtetechnieken voor bewoners. In (Vol. 2021): CE Delft.
- CE Delft. (2021c). *Warmwaterboilers*. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/04/21_Factsheet-Warmwaterboilers_DEF.pdf
- CE Delft. (2024). *Hoe blijft de gasrekening betaalbaar?* https://ce.nl/wp-content/uploads/2024/10/CE_Delft_240201_Hoe_blijft_de_gasrekening_betaalbaar_Def.pdf
- CE Delft. (lopend). *Alle warmtetechnieken voor bewoners: factsheet Luchtwarmtepomp*. Retrieved 30-10-2024 from https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/04/04_Factsheet-Luchtwarmtepomp_DEF.pdf
- Electraboiler. (2024, 2024). *Elektrische boiler*.
<https://electraboiler.nl/collections/elektrische-boilers?page=4&msclkid=0b8063007bd312f7964e04049ded6b4f>
- Milieu Centraal. (2024). *Infraroodpanelen voor verwarming*. Milieu Centraal.
<https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/infraroodpanelen-voor-verwarming/>
- Milieu Centraal. (lopend-a). *Hybride warmtepomp*. Retrieved 28 januari from <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/hybride-warmtepomp/>
- Milieu Centraal. (lopend-b). *Volledige elektrische warmtepomp*. Milieu Centraal. Retrieved 30-10-2024 from <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/volledige-warmtepomp/>
- Ministerie van Financiën. (2024). *Belastingplan 2024*.
- NEFIT Bosch. (2021). *Ketel op waterstof*. <https://www.nefit-bosch.nl/informatie/nieuws/ketel-op-waterstof>
- NEFIT Bosch. (2024). *Elektrische CV ketels*. <https://www.nefit-bosch.nl/producten/cv-ketels/elektrische-cv-ketels/tronic-heat-3500>
- PBL. (2022a). *Klimaat- en Energieverkenning 2022*.
<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2022-klimaat-en-energieverkenning-4838.pdf>
- PBL. (2022b). *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2022*.
<https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2022>
- PBL. (2023). *Referentieverbruik warmte woningen*.
<https://www.pbl.nl/publicaties/referentieverbruik-warmte-woningen>
- Stroomversnelling. (2021). *Onderhoud en beheer van duurzame installaties: 'Hoe onderhoud je de (energie)prestatie?'*. <https://pages.stroomversnelling.nl/kennispaper-onderhoud-beheer>



- TNO. (2024). *Evaluation of the levelised cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in The Netherlands: Renewable Hydrogen Cost Element Evaluation Tool (RHCEET)*. <https://repository.tno.nl/SingleDoc?find=UID%20e5e1ab2e-ff69-48fb-8564-75f56282378c>
- Warmtefonds. (Lopend). *Actuele rentetarieven voor particulieren*. Warmtefonds. Retrieved 12-11-2024 from <https://www.warmtefonds.nl/particulieren/actuele-rentetarieven>
- Warmtepomp-info. (2024). *Warmtepomp kosten*. Retrieved 5-12-2024 from <https://www.warmtepomp-info.nl/kosten-warmtepomp/>
- Warmtepompadvies. (2024). *Vergelijking van warmtepomp prijzen*. Retrieved 5-12-2024 from <https://warmtepompadvies.be/warmtepomp-prijzen/>
- Warmtepompadvies.be. (lopnd). *Warmtepomp prijzen*. <https://warmtepompadvies.be/warmtepomp-prijzen/>
- Warmteservice. (2024a). *Elektrische boiler*. Retrieved 5-12-2024 from <https://www.warmteservice.nl/Boiler-en-kokendwaterkraan/Boiler/Elektrische-boiler-groot/c/199>
- Warmteservice. (2024b). *Elektrische cv-ketel prijzen*. Retrieved 30-10-2024 from <https://www.warmteservice.nl/Duurzaam/Elektrische-cv-ketel/c/11117>
- Warmteservice. (2024c). *Elektrische warmtepomp*. <https://www.warmteservice.nl/Duurzaam/Warmtepomp/Elektrische-warmtepomp/c/11094>
- Warmteservice. (2024d). *Elektrische vloerverwarming*. Retrieved 5-12-2024 from <https://www.warmteservice.nl/Verwarming/Vloerverwarming/Elektrische-vloerverwarming/c/50>
- Warmteservice. (2024e). *Infraroodverwarming*. Retrieved 19-9-2024 from <https://www.warmteservice.nl/Duurzaam/Infrarood-verwarming/c/11048>
- Warmteservice. (2024f). *Radiatoren en convectoren*. Retrieved 19-9-2024 from <https://www.warmteservice.nl/Verwarming/Radiatoren-en-convectoren/c/4>



A Parameters

A.1 Energietarieven

Tabel 14 - Gemiddelde energietarieven (excl. btw)

Omschrijving	Eenheid	Energieprijs	Bron
Kale leveringsprijs elektriciteit	€/kWh	0,21	(Berenschot, 2024)
Kale leveringsprijs gas	€/m ³	0,585	(Berenschot, 2024)
Kosten groengasbijmenging	€/m ³	0,14	(Berenschot, 2024)
Energiebelasting elektriciteit	€/kWh	0,079	Gemiddeld 2025-2035 uit (Ministerie van Financiën, 2024)
Energiebelasting gas	€/m ³	0,61	Gemiddeld 2025-2035 uit (Ministerie van Financiën, 2024)
Kosten ETS2	€/m ³	0,08	(CE Delft, 2024)

Dit leidt tot de volgende consumentenprijzen.

Tabel 15 - Gemiddelde energietarieven 2025-2035

Omschrijving	Eenheid	Totaal tarief incl. btw
Consumentenprijs elektriciteit	€/kWh	0,354925
Consumentenprijs aardgas	€/m ³	1,7215
Consumentenprijs waterstof (groen)	€/kWh	0,62

A.2 Emissiefactoren

Tabel 16 - Gemiddelde emissiefactoren 2025-2035

Omschrijving	Eenheid	Emissiefactor	Bron
Elektriciteit	kg CO ₂ /kWh	0,11	(PBL, 2022b)
Gas	kg CO ₂ /GJ	55,1	(PBL, 2022a)
Waterstof (groen)	kg CO ₂ /GJ	0	N.v.t.

In de emissiefactor van aardgas is rekening gehouden met 4% bijmenging van groengas in 2030.

A.3 Kosten

De investeringskosten zijn gebaseerd op het gemiddelde van meerdere bronnen.

Tabel 17 - Gemiddelde investeringskosten per techniek

Naam oplossing	Eenheid	Gemiddelde	Bron
Lucht-waterwarmtepomp	€	8.940	(CE Delft, lopend; Milieu Centraal, lopend-b; Warmtepomp-info, 2024; Warmtepompadvies, 2024; Warmteservice, 2024c)
Lucht-luchtwarmtepomp	€	5.500	(Warmtepomp-info, 2024; Warmtepompadvies, 2024)
Hybride warmtepomp	€	5.913	(Milieu Centraal, lopend-a; Warmtepomp-info, 2024; Warmtepompadvies, 2024)
Elektrische cv-ketel	€	1.000	(Warmteservice, 2024b)
Infraroodverwarming	€	4.500	(Milieu Centraal, 2024; Warmteservice, 2024e)
Radiator/convectie	€	2.400	(CE Delft, 2021a; Warmteservice, 2024f)
Vloerverwarming	€/m ²	100	(Warmteservice, 2024d)
E-boiler	€		(CE Delft, 2021c; Warmteservice, 2024a)
Waterstof-cv-ketel	€	1.500	(NEFIT Bosch, 2021)

Voor de meeste technieken zijn de investeringskosten hoger als er een groter vermogen wordt geïnstalleerd. We gaan ervanuit dat dit oploopt met een slechter isolatieniveau. Uitzonderingen hierop zijn de vloerverwarming (deze schaalt met het oppervlak van de woning), de waterstof-cv-ketel en de e-boiler (deze is afhankelijk van de warmtapwater-vraag).

Tabel 18 - Schaalfactor voor extra kosten investering bij slechter energielabel

Omschrijving	Eenheid	Label A	Label C	Label F/G
Schaalfactor voor investeringskosten	%	100%	125%	150%

Bron: Expertise CE Delft.

De onderhoudskosten zijn gebaseerd op (Stroomversnelling, 2021) en (CE Delft, 2021b). Verder valt het vastrecht voor gas weg bij aardgasvrije technieken en is een aanpassing in de meterkast nodig.

Tabel 19 - Onderhoudskosten, vastrecht gas, kosten aanpassing meterkast en levensduur

Naam oplossing	Onderhoudskosten (€/jaar)	Minderings vastrecht gas (€/jaar)	Aanpassing meterkast (€ eenmalig)	Levensduur (jaren)
Lucht-waterwarmtepomp	200	-85	1.025	15
Lucht-luchtwarmtepomp	100	-85	1.025	15
Hybride warmtepomp	200	0	350	15
Elektrische cv-ketel	-	-85	1.025	15
Infraroodverwarming	-	-85	1.025	15
Radiator/convectie	-	-85	1.025	15
Vloerverwarming	-	-85	1.025	15
Waterstof-cv-ketel	100	0	-	15
E-boiler	-	0	350	15



A.4 Rendement

Tabel 20 - Gebruikte rendementen voor de berekeningen

Omschrijving	Waarde
Aandeel warmtevraag in gasvraag gemiddelde woning	76%
Rendement cv-ketel RV (onderwaarde)	103%
Rendement hr-ketel - tapwater (onderwaarde)	74%
Rendement e-boiler	95%
Schaalfactor warmtevraag ir-panelen	80%
Percentage elektrisch verbruik bij een hybride warmtepomp	70%
Percentage gas verbruik bij een hybride warmtepomp	30%

Bron: expertise CE Delft.