



Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050



CE Delft

Committed to the Environment

Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050

CE Delft, 2015

Het rapport is geschreven door:

B.L. (Benno) Schepers

N.R. (Nanda) Naber

F.J. (Frans) Rooijers

C. (Cor) Leguijt

Delft, mei 2015

Publicatienummer: 15.3A31.36

Gebouwde omgeving / Energievoorziening / Aardgas / Bedrijfsbeleid / Warmte / Woningen /
Vraag en aanbod / Gebruik

VT: Klimaatneutraal

Opdrachtgever: GasTerra bv.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Benno Schepers.

© 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 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Voorwoord

Geachte lezer,

Voor u ligt de eindrapportage van het onderzoek naar de mogelijkheden van een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050. In opdracht van GasTerra heeft CE Delft deze verkenning uitgevoerd.

CE Delft heeft dit onderzoek uitgevoerd aan de hand van modelberekeningen voor de gehele gebouwde omgeving. Waarbij CE Delft als vertrekpunt heeft genomen dat deze sector in 2050 100% CO₂-vrij is, als invulling van de doelstelling van de Europese Commissie om in 2050 een CO₂-reductie van 80-95% te realiseren. Concreet betekent dit, dat er dus géén fossiele energiebronnen meer decentraal in de gebouwde omgeving worden gebruikt. Dit is een radicale omslag ten opzichte van de huidige wijze van de energievoorziening van de gebouwde omgeving, waarbij meer dan 90% van de warmtevraag door aardgas wordt ingevuld.

GasTerra wil met deze opdracht inzicht krijgen in de veranderende rol van aardgas in de gebouwde omgeving, waarbij er niet één antwoord is voor alle woningen. Juist de aanpak per buurt geeft inzicht in die gebieden waar de rol van aardgas verschuift naar groen gas en waar die verschuift naar een gasloze warmtevoorziening.

CE Delft heeft het zeer positief ervaren dat GasTerra de ruimte heeft gegeven om de veranderende rol van aardgas in de gebouwde omgeving naar een klimaatneutrale sector in alle vrijheid te kunnen onderzoeken. De inhoud van de studie valt geheel onder verantwoordelijkheid van CE Delft.

Frans Rooijers (directeur)
Benno Schepers (projectleider)
CE Delft



Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	12
1.1 Afhankelijkheid van fossiele energie in gebouwde omgeving	12
1.2 Van aardgas naar hernieuwbaar	12
1.3 Vraagstelling	13
1.4 Doelstelling	15
1.5 Afbakening	15
1.6 Leeswijzer	17
2 Huidige warmtevoorziening	18
2.1 Gasverbruik in Nederlandse gebouwen	18
2.2 De warmtevoorziening	19
2.3 Behalen landelijke doelen op het gebied van energietransitie	20
2.4 Huidige energie-infrastructuur	21
2.5 Nieuwe ontwikkelingen	21
3 Gebiedsindeling	23
3.1 Doel van de indeling	23
3.2 Gebiedskenmerken die leiden tot de gekozen indeling	23
3.3 Overzicht van de indeling	24
4 Technische opties	30
4.1 Vraagreductie	30
4.2 Technieken	32
4.3 Vraag-techniekcombinaties	37
4.4 Uitgangspunten - De basissituatie	40
5 Stakeholders	41
5.1 Wie zijn de betrokken partijen?	41
5.2 Wat is de informatiewens van betrokken partijen?	43
5.3 Hoe geeft deze studie invulling aan deze informatiewens?	44
5.4 Toepassing op verschillende schaalniveaus	44
6 Resultaten woningbouw	46
6.1 Aardgas wordt groen gas	46
6.2 Belemmerende factoren	49
6.3 Interessante alternatieven	50
6.4 Kansrijke omstandigheden voor alternatieven	55
6.5 De aardgastransitie	61
6.6 Meenemen van utiliteit	63



7	Warmtevraag-transitie	64
7.1	De keuzes	64
7.2	Wanneer?	68
7.3	Stappenplan	72
8	Conclusies en aanbevelingen	74
8.1	Conclusies	74
8.2	Aanbevelingen	75
	Bibliografie	76
Bijlage A	Resultaten totale gebouwde omgeving	78
A.1	Aardgas wordt groen gas	78
A.2	Belemmerende factoren	81
A.3	Interessante alternatieven	82
A.4	Kansrijke omstandigheden voor alternatieven	87
A.5	De aardgastransitie	93
Bijlage B	Uitgangspunten basissituatie	94
Bijlage C	Beschrijving model	97
C.1	Gebiedsindeling	97
C.2	Modelopbouw	97
C.3	Uitgangspunten	98
C.4	Energetische schil verbeteren	100
Bijlage D	Stakeholders	104
D.1	Web-enquête	104
D.2	Stakeholdersbijeenkomst	107
D.3	Interviews	109
Bijlage E	Techniekopties	110
Bijlage F	Gegevens per buurttype	116
F.1	Algemeen	116
F.2	Type 1 Oude binnensteden (<1900)	117
8.3	Type 2 1e ringen, hoogstedelijk (1900-1945)	121
8.4	Type 3 Wederopbouw, hoogstedelijk (1945-1965)	125
8.5	Type 4 Wederopbouw, matig stedelijk (1945-1965)	129
8.6	Type 5 Wederopbouw, suburbaan (1945-1965)	133
8.7	Type 6 Bloemkoolwijk, hoogstedelijk, wonen (1965-1990)	137
8.8	Type 7 Bloemkoolwijk, hoogstedelijk, wonen & utiliteit (1965-1990)	141
8.9	Type 8 Bloemkoolwijk, matig stedelijk (1965-1990)	145
8.10	Type 9 Bloemkoolwijk, suburbaan (1965-1990)	149
8.11	Type 10 Kantorenpark	153
8.12	Type 11 Recente nieuwbouw, hoog- en matig stedelijk (1990-2010)	157
8.13	Type 12 Recente nieuwbouw, suburbaan en niet stedelijk (1990-2010)	161
8.14	Type 13 Dorpskernen (< 1945)	165
8.15	Type 14 Niet-stedelijk gebied (<1990)	177
8.16	Type 15 Overig	181



Samenvatting

Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050

In deze studie is onderzocht op welke wijze de warmtevraag in de bestaande gebouwen klimaatneutraal kan worden. Voor vijftien typische buurten, zoals historische binnensteden, wederopbouwbuurten en dorpskernen, is een overzicht gemaakt van de integrale kosten voor productie, distributie, consumptie en besparing van warmte, om te komen tot een gebouwde omgeving waarin uiteindelijk geen CO₂-uitstoot meer plaatsvindt. Hierbij is gekeken naar energiebesparing in combinatie met voorzieningen met groen gas, collectieve warmtelevering, all electric en vaste biomassa.

Uit het onderzoek blijkt dat de goedkoopste optie om gebouwen te verwarmen verschilt per type buurt. Er ontstaat een gemêleerd beeld: er zijn buurten waar het aardgas geleidelijk wordt vervangen door groen gas in combinatie met energiebesparing en hoog rendement gastoeepassingen (gaswarmtepomp, hybride warmtepomp/HR-ketel). In veel buurten die een hoge tot middelmatige dichtheid kennen zal warmtelevering uit verschillende bronnen de huidige voorziening van aardgas vervangen. In de licht bebouwde gebieden zullen elektrische warmtepompen een logische opvolger worden van de aardgasverwarming.

Dit zal niet van de ene op de andere dag gaan en zal veel tussenstappen kennen, maar een eindbeeld per buurt helpt de beslissers op het gebied van infrastructuur en renovatie van gebouwen om beslissingen te nemen die lock-ins voorkomen.

De gebouwde omgeving in Nederland bestaat uit ongeveer acht miljoen gebouwen, waaronder meer dan zeven miljoen woningen. Veruit het grootste deel van deze gebouwen staat er ook nog in 2050. In 95% van deze gebouwen zit op dit moment een verwarming die aardgas gebruikt, in de vorm van een HR-ketel, gaskachel, geiser of een wijk-WKK.

Als de gebouwde omgeving in 2050 klimaatneutraal moet zijn, heeft dat een gigantische impact op de wijze waarop we onze woningen en kantoren, scholen en ziekenhuizen gaan verwarmen. Hoewel 2050 nog ver weg lijkt, worden nu al besluiten genomen die van invloed zijn op de mogelijkheden tot en zelfs na 2050: energie-infrastructuur wordt voor 40 jaar of langer aangelegd, renovatieplannen voor huurcomplexen worden uitgerold voor de komende decennia. Kortom, er moet nu al nagedacht worden om eventuele negatieve *lock-ins* te voorkomen.

De ene buurt is de andere niet en er is dan ook een grote diversiteit aan mogelijkheden om te komen tot een klimaatneutrale toekomst. Er bestaan grote verschillen in bouwjaar, bebouwingsdichtheid en lokale (on)mogelijkheden. Wat in een oude binnenstad de ideale oplossing lijkt, kan op het platteland of op een VINEX-locatie een zeer dure optie blijken. Per soort buurt is maatwerk dan ook noodzakelijk.

Stapsgewijs van aardgas naar hernieuwbare bronnen

- In een klimaatneutrale gebouwde omgeving (2050) zal geen aardgas meer gebruikt worden.
- In de tussenliggende jaren daalt het aardgasgebruik door energiebesparing en zuinigere gastechnieken, maar ook doordat buurten overschakelen op andere warmtelevering (warmte/koudeopslag (WKO), warmtepomp, geothermie, restwarmte, bio-WKK), hierbij blijft aardgas vaak zorgen voor de piekvraag in koude periodes (hulpwarmteketels).
- Energiebesparing is de eerste stap, maar een warmtevraag zal in de meeste woningen blijven bestaan.
- De inzet van groen gas wordt beperkt door de beperkte beschikbaarheid van deze hernieuwbare brandstof.



- Groen gas zal in veel buurten het aardgas vervangen, daar waar geen warmtebronnen zijn en een warmte-infrastructuur te duur is.
- De aanpassingen naar een klimaatneutrale energievoorziening zullen lokaal worden ingegeven door noodzakelijke vervanging van de gasinfrastructuur, gebouwrenovatie en gemeentelijk beleid om klimaatneutraal te worden.
- In 2050 zullen veel verschillende energiebronnen (geothermie, zon, bodemwarmte, groen gas) en infrastructuren (gas, elektriciteit, warmte) worden gebruikt. Lokale beschikbaarheid van warmtebronnen en bebouwingsdichtheid zijn bepalend voor de keuze.

Het onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd in drie stappen:

1. **Vijftien buurttypen:** Alle 12.000 buurten van Nederland zijn gecategoriseerd naar bouwjaar, stedelijkheid en functie en onderverdeeld in vijftien verschillende buurttypen. Hiervan is bepaald wat de eigenschappen van de gebouwen in deze buurten zijn, zoals energievraag, gemiddelde isolatiewaarde, gestapelde/grondgebonden bouw, eigendom of gebouwoppervlak.
2. **Energiebesparing:** Per buurttype is op basis van kentallen bepaald wat de kosten en effecten zijn van drie verschillende besparingspakketten: beperkt, ruim, en maximaal. Het resultaat is een overzicht van de energievraag voor ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit voor alle buurttypen.
3. **Klimaatneutrale warmte:** Vervolgens is een tiental techniekengroepen bekeken waarmee deze energievraag in de gebouwen kan worden ingevuld. Deze technieken zijn grofweg in te delen als groen gas, all electric, warmtelevering en biomassa. Van deze technieken is bepaald wat de kosten zijn voor de energiedistributie, de productie van de warmte en de installatie. Tezamen met de kosten van de besparingsmaatregelen uit de voorgaande stap ontstaat zo een totaalbeeld van de kosten in de hele keten.

Eindbeeld

Per buurttype zijn dertig vraag-techniek-combinaties doorgerekend op de totale kosten in de keten, voor zowel woningen als utiliteitsgebouwen. Per buurttype is vervolgens een ranglijst gemaakt van de opties met de laagste kosten over de hele keten (netwerk, besparing, installatie en verbruik). Het veranderen van de huidige warmtevoorziening, kost tijd, geld en moeite. Aangezien er nog weinig bekend is over de toekomstige kosten van groen gas, zijn voor deze brandstof drie prijsscenario's uitgevoerd: scenario A € 0,75, scenario B € 1,10 en scenario C € 0,85 per m³ gas¹. Het gemakkelijkst en voor veel buurttypen financieel het aantrekkelijkst, is het 1-op-1 vervangen van aardgas door groen gas. Voor buurten waar stadsverwarming of geothermie beschikbaar is, is dat de aantrekkelijkste optie. Voor utiliteitsgebouwen is WKO over het algemeen goedkoper.

Hoewel de kosten van groen gas hoger zijn, zijn de totale kosten voor de gehele keten, bij het 1-op-1 vervangen van aardgas, het laagste (tot een prijs van € 1,10 per m³ gas). Er kan echter bij lange na niet voldoende groen gas worden geproduceerd in Nederland om aan de totale warmtevraag te voldoen. Er zullen dan ook andere opties moeten worden ingezet, met name aanvullende besparingen als ook substitutie door all electric, collectieve warmte (met verschillende bronnen van WKO tot restwarmte) en vaste

¹ In deze studie wordt voor elektriciteit de eindgebruikerskosten van € 0,07 per kWh gehanteerd en voor aardgas € 0,34 per m³. Beide exclusief belastingen.



biomassa. Uiteindelijk blijft gaslevering de goedkoopste optie voor de oude binnensteden van Nederland, wordt all electric in de buitengebieden en minder stedelijke gebieden toegepast en is collectieve warmte de goedkoopste optie voor de hoogstedelijke gebieden.

Tabel 1 Resulterende energievraag voor invulling warmtevraag

Energiedrager	Verbruik
Groen gas	0,9 bcm
Elektriciteit	2,4 bcm _{eq} (voor warmte en hulpenergie)
Warmte	4,0 bcm _{eq} + 0,4 bcm groen gas (voor piek)
Biomassa	0,0 bcm _{eq}
Totaal	7,7 bcm _{eq}

Opmerking: Uitkomst bij een groengasprijs van € 0,85 per m³, beschikbaarheid restwarmte/ geothermie en zonder belastingen. Huidig verbruik voor warmtevraag is 11 bcm.

In Tabel 1 wordt, ter illustratie, het eindresultaat van de energievraag weergegeven in de situatie dat er goedkope warmtebronnen aanwezig zijn en dat groen gas een prijs heeft van € 0,85 per m³. De totale warmtevraag (uitgedrukt in bcm aardgas) neemt in de periode tot 2050 met gemiddeld 1% af. Dat is relatief beperkt en komt vooral doordat de echt forse besparingsmaatregelen niet financieel rendabel zijn, met name doordat er in eerste instantie naar de maatschappelijke kosten wordt gekeken, zonder belastingen.

Hoe ziet CE Delft een klimaatneutrale gebouwde omgeving?

Nederland heeft een ambitie om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Deze ambitie is ingegeven door de Europese doelstelling om in 2050 een CO₂-emissiereductie van 80-95% ten opzichte van 2005 te realiseren. Een kleine restemissie is dus toegestaan, maar dat neemt niet weg dat er grote stappen gezet moeten worden.

Het behalen van de reductiedoelstelling is voor alle sectoren van de maatschappij een zeer grote en moeilijke uitdaging. Maar niet alle sectoren hebben dezelfde mogelijkheden en handelingsperspectieven. Zo heeft de industrie andere mogelijkheden en kosten dan de transportsector en de agrarische sector andere handelingsperspectieven dan de gebouwde omgeving. Dit betekent dat de uitdaging voor de ene sector mogelijk net iets minder moeilijk is dan voor de andere. De ene sector zal dus meer aanspraak doen op de ruimte die de restemissie biedt, dan de andere sector.

Al decennia lang worden in Nederland woonwijken gebouwd waar geen lokale CO₂-emissies meer plaatsvinden. Sinds het begin van de twintigste eeuw met stadsverwarming en sinds enkele jaren met *all electric* oplossingen. Hoewel bij deze oplossingen de bron vaak nog wel CO₂-uitstoot heeft (bijvoorbeeld bij restwarmte van een elektriciteitscentrale), laten deze oplossingen wel zien dat het ontwikkelen van een gebouwde omgeving waarin geen lokale CO₂-uitstoot plaatsvindt goed mogelijk is.

Wanneer in deze studie wordt gesproken van een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050, dan zien wij dat ook als een gebouwde omgeving waar géén CO₂-uitstoot plaatsvindt, ook niet in de toelevering van warmte of elektriciteit. En aangezien het technisch/economisch niet mogelijk wordt geacht om op gebouwniveau CO₂ af te vangen en op te slaan, betekent dit dat er in de gebouwen dus géén fossiele brandstoffen verbrand kunnen worden en dat de bron van de externe warmte en elektriciteit ook geen CO₂-emissie meer heeft. Alleen in die situatie is er sprake van een 100% klimaatneutrale gebouwde omgeving.

Deze aanpak sluit aan bij ambitie uit het SER Energieakkoord voor duurzame groei, waarbij de ambitie is uitgesproken voor een volledig klimaatneutrale energievoorziening van de gebouwde omgeving in 2050.

Warmtevraag-transitie

Het aardgas zal niet in één keer verdwijnen uit de buurten. In sommige buurten zullen ‘nul op de meter woningen’ worden gebouwd die geen gasaansluiting meer nodig hebben. Maar niet alle bestaande woningen lenen zich voor zo’n aanpak. Veel meer woningen zullen worden geïsoleerd zodat de energievraag afneemt en soms zal tegelijkertijd een warmtenet worden aangelegd, bijvoorbeeld op basis van WKO met gas als brandstof om aan de piekvraag te voldoen. Bij renovatie van wooncomplexen zal niet meer automatisch een gasaansluiting worden gehandhaafd. In buurten waar nu al stadsverwarming aanwezig is, zullen aanpalende buurten ook worden aangesloten.

De snelheid van deze veranderingen hangt af van de politieke besluiten over de snelheid van CO₂-reductie inclusief de wijze waarop dit door regelgeving of prijsincentives (CO₂-belasting) wordt vormgegeven.

In de overgangsperiode van huidig naar klimaatneutraal zal aardgas een belangrijke rol blijven spelen als brandstof voor koude periodes, de piekvraag. Dit hoeft niet per se op gebouwniveau, maar kan juist ook op buurtniveau plaatsvinden. Bij de keuze voor elektrische warmtepompen zal ook rekening gehouden moeten worden met de extra kosten van de elektriciteitsinfrastructuur die nodig zijn voor de koude periodes.

De analyse van de resultaten laat zien dat het mogelijk is om een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050 te bewerkstelligen en welke rol een gasvormige energiedrager hier in kan hebben.

Aan de hand van deze studie kunnen beleidsmakers bij gemeenten, netbeheerders, energiebedrijven, corporaties en het Rijk een schatting maken van de consequenties van een klimaatneutrale gebouwde omgeving voor Nederland. Hierbij zijn de kosten belangrijk, maar moeten ook aspecten als vervangingsmomenten, onderhoudsplanningen, investeringen en lokale omstandigheden (beschikbaarheid bodemwarmte, restwarmte, dichtheid) worden meegenomen.

Route naar klimaatneutraal

In de tekstkaders in deze samenvatting worden voorbeelden gegeven van de routes voor verschillende buurttypen naar 2050. In de kaders wordt aangegeven wat de huidige energievoorziening is en wat de goedkoopste optie is bij drie (prijs)scenario’s. Voor één van de scenario’s wordt een kort stappenplan weergegeven.



Buurttype 1 - Oude binnensteden (gebouwd voor 1900)

Er zijn 74 buurten van dit type in Nederland en met gemiddeld meer dan 1.700 woningen per buurt zijn het, wat aantal woningen betreft, de grootste buurten. In alle oude binnensteden tezamen staan 125.000 woningen, ongeveer 2% van het totaal. Het gemiddelde oppervlak van deze buurten is klein en de stedelijkheid is hoog, met een groot aandeel gestapelde woningen (>60%). Van het totale gebouwoppervlak is 45% voor winkels, kantoren, restaurants, et cetera.



(Bert Kaufmann - Groningen: Hoge der A; CC BY-SA 3.0)

Energievoorziening

Huidig	Scenario A: groengasprijs €0,75/m ³	Scenario B: groengasprijs €1,10/m ³	Scenario C: geothermie en groengasprijs €0,85/m ³
Aardgas en hogetemperatuur- verwarming (HT)	Groen gas en HT- verwarming	Groen gas en HT- verwarming	Groen gas en HT- verwarming

Stappenplan Scenario C

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat in dit type buurt in alle scenario's het gebruik van groen gas in combinatie met hogetemperatuurverwarming de optie is met de laagste integrale kosten. Dat betekent dat in dit type buurt naar verwachting weinig zal veranderen aan de warmtevoorziening. De uitdaging ligt in het beschikbaar krijgen van groen gas tegen een acceptabele prijs, voor ruimteverwarming en warm tapwater. Daarnaast ligt de focus op energiebesparing, waarbij de mogelijkheden beperkt zijn, vanwege het de vaak monumentale buiten- en binnenkant van de gebouwen.

Indien in dit type buurt de huidige energie-infrastructuur vervangen moet worden, dan kunnen zowel de gas- als elektriciteitsaansluiting door een gelijkwaardige aansluiting worden vervangen.

Buurttype 11 - Recente nieuwbouw, matig- en hoogstedelijk (gebouwd na 1990)

Dit type buurt komt 865 voor in Nederland. Gemiddeld staan er 1.024 woningen per buurt. Met bijna 0,9 miljoen woningen en meer dan 2 miljoen inwoners is het ook één van de grootste buurttypen. De buurten hebben een gemiddelde stedelijkheid en ongeveer een derde van de woningen is gestapelde bouw. Bijna 15% van de woningen is aangesloten op een grootschalig stadsverwarmingsnet en een kleiner aandeel op andere collectieve systemen. Een kwart van het totale bruto vloeroppervlak (bvo) is voor utiliteit.



Energievoorziening

Huidig	Scenario A: groengasprijs €0,75/m ³	Scenario B: groengasprijs €1,10/m ³	Scenario C: geothermie en groengasprijs €0,85/m ³
Aardgas en HT- verwarming; Collectieve HT- warmtelevering	Groen gas en HT- verwarming	All electric met warmtepomp	Collectieve HT- warmtelevering

Stappenplan Scenario C

Een groot deel van dit buurttype is reeds voorzien van een collectieve warmtevoorziening. Voor het klimaatneutraal krijgen van deze buurten is het nodig dat de warmtebron ook klimaatneutraal wordt gemaakt. Dit kan enerzijds door het aansluiten van een hernieuwbare warmtebron, zoals geothermie of anderzijds door de CO₂ af te vangen.

Voor de buurten die nog geen collectief systeem hebben, kan het volgende stappenplan op hoofdlijnen worden doorlopen:

1. Is er een klimaatneutrale warmtebron aanwezig?
 - a Nee: Onderzoek de mogelijkheden deze te creëren
 - b Ja: Onderzoek de mogelijkheden hier een warmtenet op aan te sluiten
2. Zijn de woningen geschikt voor het type warmtebron?
 - a Nee: Biedt informatie over de mogelijkheden dit binnen een gestelde termijn te doen
 - b Ja: Biedt informatie over het overschakelen op een collectief warmtenet
3. Maak de buurt in kleinere batches in- en uitpandig gereed voor aansluiting op het warmtenet en sluit deze gelijk aan op het warmtenet
4. Verwijder de gasinfrastructuur

Buurttype 14 - Niet-stedelijk gebied (gebouwd voor 1990)

Dit type buurt wordt 3.459 keer waargenomen in alle buurten van Nederland en is daarmee de meest voorkomende buurt. Gemiddeld staan er 259 woningen per buurt. Met bijna 0,9 miljoen woningen is het ook één van de buurttypen met het grootste aandeel: 12% van alle woningen staat in dit buurttype. Zowel het gemiddelde oppervlak van de woningen als het gemiddelde oppervlak van het gebied is groot. De stedelijkheid is het laagste van alle typen, evenals het aandeel gestapelde bouw (3%). Een derde van het totaaloppervlak bvo is voor rekening van utiliteit.



Energievoorziening

Huidig	Scenario A: groengasprijs €0,75/m ³	Scenario B: groengasprijs €1,10/m ³	Scenario C: geothermie en groengasprijs €0,85/m ³
Aardgas en HT-verwarming	All electric met warmtepomp	All electric met warmtepomp	All electric met warmtepomp

Stappenplan Scenario C

Als gevolg van de grote spreiding tussen de woningen en de mogelijkheden voor energiebesparing, is voor buurttype 14 een warmtevoorziening met een elektrische warmtepomp de goedkoopste optie. Dit komt voor een belangrijk deel doordat er maar één energie-infrastructuur aangelegd hoeft te worden.

Een stappenplan voor de overgang kan op hoofdlijnen uit de volgende stappen bestaan:

1. Moet de energie-infrastructuur vervangen worden?
 - a Nee: Focus op besparing
 - b Ja: Communiceer naar bewoners de termijn waarop dit plaats gaat vinden
2. Zijn de woningen geschikt voor lagetemperatuurverwarming met een elektrische warmtepomp?
 - a Nee: Biedt informatie over de mogelijkheden dit binnen een gestelde termijn te doen
 - b Ja: Biedt informatie over het overschakelen op een elektrische warmtevoorziening
3. Sluit de woningen die overgestapt zijn op een elektrische warmtevoorziening af van de gasinfrastructuur
4. Verwijder de gasinfrastructuur

1 Inleiding

1.1 Afhankelijkheid van fossiele energie in gebouwde omgeving

Op dit moment is Nederland sterk afhankelijk van fossiele energiebronnen in het algemeen en aardgas in het bijzonder. Bijna alle woningen en andere gebouwen worden in Nederland direct of indirect verwarmd met aardgas, meer dan de helft van de gebruikte elektriciteit wordt met aardgas opgewekt en aardgas vormt een belangrijke energiebron en grondstof voor de chemische industrie. Van de fossiele energiebronnen is aardgas weliswaar één van de schoonste, maar desondanks blijven er negatieve milieueffecten zitten aan het gebruik hiervan.

Daarnaast neemt de beschikbaarheid van het Nederlandse aardgas de komende decennia sterk af en wordt Nederland meer en meer afhankelijk van de import van energiebronnen. Hiermee neemt de voorzieningszekerheid van een stabiel energiesysteem sterk af.

Vanwege deze voorzieningsonzekerheid en de negatieve milieuaspecten van het gebruik van aardgas, wordt binnen de Europese Unie beleid ontwikkeld om te komen tot een transitie naar een duurzame energievoorziening. De EU wil in 2050 minder afhankelijk zijn van fossiele energiebronnen, door enerzijds sterk in te zetten op energiebesparing (onder andere de *Energy Efficiency Directive*) en anderzijds op hernieuwbare energie (*Renewable Energy Directive*). Dit moet uiteindelijk leiden tot een CO₂-emissiereductie van 80-95% in 2050 (ten opzichte van 1990). De gebouwde omgeving wordt een belangrijke rol toebedeeld om dit doel te bereiken. Met name bij bestaande gebouwen is het besparingspotentieel groot en zijn de opties voor verduurzaming ruim voor handen.

Ondanks het grote potentieel en aantal mogelijkheden, kent de transitie naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving zeer veel en diverse uitdagingen: technisch, organisatorisch, maatschappelijk, praktisch en financieel. De transitie komt alleen tot stand als deze uitdagingen integraal worden opgepakt, maar waar te beginnen?

Deze studie moet een eerste antwoord geven op die vraag, door te kijken naar de huidige rol van aardgas en welke toekomstbeelden mogelijk zijn in een toekomst zonder fossiele energiebronnen in de gebouwde omgeving.

1.2 Van aardgas naar hernieuwbaar

Door de sterke verstrengeling van aardgas in de Nederlandse samenleving, zowel economisch als technisch, is het onmogelijk om van vandaag op morgen te stoppen met het gebruik van aardgas als bron van warmte, elektriciteit en als grondstof. Een snelle 'uitfasering' van aardgas kan enerzijds kansen bieden voor hernieuwbare opties, maar anderzijds ook aan vervuilender fossiele alternatieven als kolen en olie. Dat laatste is uiteraard niet wenselijk en een goede 'begeleiding' van de uitfasering van aardgas is daarom noodzakelijk om de transitie naar een duurzame energievoorziening te waarborgen.



De gebouwde omgeving vormt een uitdagende sector om te verduurzamen. Hoewel dit een sector is waar grote besparingen te behalen zijn, is de huidige techniek, met zeven miljoen installaties op aardgas, zo efficiënt dat deze moeilijk van haar troon gestoten zal worden. Concurrerende, hernieuwbare alternatieven staan dan ook voor een zeer grote uitdaging om de rol van aardgas over te nemen. En omdat deze technieken een grote rol op zich moeten gaan nemen, is ook niet te verwachten dat dit binnen een beperkt aantal jaren zal gaan gebeuren. Binnen de gebouwde omgeving zal de transitie naar een duurzame energievoorziening meerdere decennia in beslag gaan nemen en aardgas zal gedurende die periode een belangrijke rol blijven houden. Deze rol zal echter verschillen van gebied tot gebied.

1.3 Vraagstelling

Dát er dingen veranderen in de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving is een gegeven. De overgang naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving betekent dat aardgas geleidelijk uitfaseert als brandstof voor de verwarming van ruimtes en van tapwater, daar waar aardgas nu nog in 95% van die behoefte voorziet. De geleidelijke verandering is al decennia zichtbaar. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in de afname van het gasgebruik van een gemiddeld huishouden, van ca. 3.150 m³/jaar in 1980 naar een kleine 1.500 m³/jaar nu. Het is ook zichtbaar in de sterk afgenomen vraag naar ruimteverwarming in de nieuwbouw, onder druk van de steeds verder aangescherpte EPC-normen naar EPC=0 per 2021.

Bij nieuwbouw heeft dit al geleid tot een situatie waar in veel nieuwbouw-gebieden geen aardgasdistributienet meer wordt aangelegd. De vraag is hoe de ontwikkeling in de bestaande bouw zal gaan verlopen. Als aardgas wordt uitgefaseerd richting 2050, wat zijn dan de alternatieven, waar zal welk alternatief worden toegepast, en in welk tempo zal dat gaan?

GasTerra heeft CE Delft gevraagd te onderzoeken wat de toekomstige rol van aardgas in Nederland kan zijn in de gebouwde omgeving tijdens de transitie naar een duurzame energievoorziening. De centrale vraag hierbij is:

Hoe ziet de klimaatneutrale warmtevoorziening van de bestaande gebouwde omgeving er in 2050 uit en hoe verloopt de transitie er naar toe?

In deze studie worden antwoorden op de wat-vragen gegeven. Zoals: Wat zijn die alternatieven dan? In welk soort gebouwd gebied kunnen welke alternatieven worden toegepast? En waar komt welk alternatief het best tot zijn recht? Om die vragen te beantwoorden wordt Nederland eerst opgedeeld in 15 soorten gebouwde gebieden. Een aantal dat enerzijds recht doet aan de verscheidenheid van de gebouwde omgeving en waarbij de verschillende soorten gebieden herkenbaar zijn en anderzijds hanteerbaar is qua omvang. Alle 12.000 buurten van Nederland kunnen op basis van de gehanteerde parameters op eenvoudige wijze ingedeeld worden in één van deze 15 categorieën. Vervolgens worden in deze studie de alternatieven voor aardgasverwarming beschreven, en worden per alternatief de totale ketenkosten over de bepaald. De laagste ketenkosten geven ruimte voor de laagste kosten voor de afnemer, de klant. Of dat in de marktpraktijk ook zo uitpakt is een kwestie van marktspelregels en vraag en aanbod. Op basis van deze studie kan worden bepaald welke soorten alternatieven het meest geschikt zijn voor welke soort buurt. Dat levert inzicht in mogelijkheden en waarschijnlijkheden.



Om de centrale vraag te beantwoorden, moet eerst een aantal deelvragen worden beantwoordt:

- *Hoe ziet de huidige warmtevoorziening er uit?*
- *Welke gebiedskenmerken bepalen de keuze voor het eindbeeld?*
- *Met welke technische opties en energiedragers kun je het eindbeeld invullen?*
- *Wie zijn de betrokken partijen en welke rol hebben zij?*

De antwoorden op deze vragen geven tevens antwoord op de waar- en wanneer-vraag. Met de waar-vraag bedoelen we niet die naar het soort gebied, maar naar een specifieke locatie. Wat er op die specifieke locatie *precies* zal gaan gebeuren hangt samen met natuurlijke investeringsmomenten in de buurt, dus met de wanneer-vraag. Natuurlijke momenten zijn bijvoorbeeld:

- geplande grootschalige renovaties van woningen van de lokale woningcorporatie in een buurt;
- vervanging van een kapotte CV-ketel;
- geplande vervanging van een gasdistributienet.

In geval van een kapotte CV-ketel is de kans groot dat deze vervangen wordt door een nieuwe, waarna de nieuwe ketel weer 15-20 jaar dienst doet. Betreft het echter een collectieve blokverwarmingsketel in een flat van een woningcorporatie of VvE, en ligt er toevallig ook nog een stadswarmtenet in de buurt, dan is er een kans dat besloten wordt om daar op aan te sluiten. Bij de voorbereiding van een geplande grootschalige projectmatige renovatie van bijvoorbeeld rijwoningen in een buurt, zal ook worden gekeken naar de energievoorziening, en wordt wellicht besloten tot een Nul-op-de-Meter-renovatie. Daarbij worden de woningen vermoedelijk uitgerust met een zeer goede schilisolatie, een elektrische warmtepomp en een zon-PV-systeem op het dak, waarbij ze worden afgekoppeld van het aardgasnet. Wat de vraag oproept is wat dat betekent voor de gasnetbeheerder en de elektriciteitsnetbeheerder als dat geconcentreerd in een bepaald gebied gebeurt en op grote schaal. Bij de voorbereiding van een geplande grootschalige vervanging van een bestaand gasnet is er een technische mogelijkheid om over te stappen op een andere energievoorziening. Dat kan all electric zijn, maar in stedelijk gebied ook stadswarmte of collectieve WKO.

Wat er wanneer en waar wordt gedaan, wordt verder nog beïnvloed door:

- de belangstelling en beschikbaarheid van kapitaal bij eigenaren en gebruikers van gebouwen;
- nationaal beleid (zoals subsidieregelingen, of de uitrol van de Stroomversnellingsaanpak, of het Landelijk Convenant Huursector, of de salderingsregeling voor zon-PV, etc.);
- lokaal beleid (zoals subsidieregelingen, projecten vanuit lokaal energie- of klimaatbeleid, stadsvernieuwingsprojecten e.d.);
- ontwikkelingen vanuit de markt (ook hier de Stroomversnellingsaanpak, of zon-PV-acties, projectontwikkeling van warmtebedrijven, etc.).

Bovenstaande aspecten worden niet meegenomen in de kwantitatieve uitwerking van deze studie, maar hebben wel kwalitatief een plek gekregen bij de stakeholderconsultaties die gedurende het project zijn gehouden. Zij beïnvloeden uiteindelijk de mogelijkheden die de stakeholders hebben om in concrete situaties in de toekomst keuzes te maken en vormen naast de kosten van de transitie een belangrijk onderdeel van de route naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving.



1.4 Doelstelling

Het hoofddoel van het project is het bieden van handvatten om de energietransitie op gang te brengen en het einddoel 'een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050' te kunnen behalen.

Voor het bereiken van dit doel beschrijven we het eindbeeld van de toekomstige energievoorziening van de gebouwde omgeving en de rol die (aard)gas daarin speelt. Er is niet één eindbeeld voor de gehele gebouwde omgeving. Binnen Nederland zijn er grote verschillen in de bebouwingsdichtheid, -leeftijd en -kwaliteit. Bij de beschrijving van de klimaatneutrale gebouwde omgeving wordt dan ook onderscheid gemaakt in een vijftiental typische buurten in Nederland. Hiermee wordt aan de variatie tussen oude binnensteden, buitengebied, wederopbouwwijken en kantorenparken recht gedaan. Voor deze vijftien buurttypen wordt bepaald wat de beste oplossing is voor de energievoorziening in 2050. Het 'beste' wordt hierbij gedefinieerd als de voorziening met de laagste kosten over de gehele keten: productie, distributie, installatie en besparing. Op deze wijze wordt voor alle buurten van Nederland een eindbeeld gemaakt voor de klimaatneutrale energievoorziening en wordt een antwoord gegeven op de vraag welk rol gas houdt in de warmtevoorziening.

De uitkomst van de studie biedt beleidsmakers op nationaal en lokaal niveau tevens inzicht in de praktische mogelijkheden om hun buurten in een periode van 35 jaar klimaatneutraal te maken. De studie laat zien welke stakeholders betrokken zijn bij de energietransitie in de gebouwde omgeving, en hoe zij er samen voor kunnen zorgen dat de eindsituatie wordt bereikt. Er worden handvatten aangereikt om de energietransitie in de gebouwde omgeving op gang te brengen.

Uit diverse vormen van stakeholderconsultaties (interviews, web-enquête en bijeenkomst) is gebleken wat de informatiewens van de stakeholders is. In deze rapportage is zo veel mogelijk invulling gegeven aan de verschillende aspecten van deze wens. In Hoofdstuk 5 wordt de betrokkenheid en inbreng van de stakeholders in meer detail besproken.

1.5 Afbakening

In deze studie is de gehele gebouwde omgeving van Nederland opgedeeld in vijftien typische buurten. Deze 'vereenvoudiging' van de gebouwde omgeving biedt de kans om, gegeven bepaalde eigenschappen, oplossingsrichtingen te vinden die voor een groot deel van de Nederlandse gebouwde omgeving van toepassing zijn. Hiervoor zijn daarnaast de volgende afbakeningen gemaakt:

- In de studie wordt gekeken naar de energievraag van de gehele gebouwde omgeving, dus woningen en utiliteitsbouw. Onder utiliteitsbouw vallen kantoren, winkels, scholen, zorg, sport, bijeenkomst, logies en industrie (enkel bedrijfshallen). Hierbij wordt alleen gekeken naar het energieverbruik voor het binnenklimaat en niet naar het verbruik voor processen of producten.
- Deze rapportage richt zich daarentegen hoofdzakelijk op de energievraag van woningen. De gepresenteerde gegevens hebben dan ook enkel betrekking op de woningen. In de bijlagen wordt wel een toelichting gegeven op de uitkomsten wanneer ook wordt gekeken naar utiliteitsbouw.
- In de vijftien buurten worden meer dan 12.000 buurten van Nederland samengevoegd. Dit betekent dat er dus ook binnen de vijftien gebieden veel spreiding aanwezig is. Deze studie kijkt echter alleen naar de



gemiddelde eigenschappen (aantal gebouwen, oppervlakte, warmtevraag, et cetera) van de vijftien gebieden en niet naar de specifieke buurten die hieronder vallen. Inzicht op dat niveau biedt voor een gemeente weliswaar het meeste inzicht, maar biedt op een hoger niveau onvoldoende mogelijkheid om tot algemene oplossingsrichtingen te komen.

- Om praktische redenen is het aantal opties dat in dit onderzoek wordt meegenomen beperkt. Voor besparingsmaatregelen wordt een drietal niveaus aangehouden. Voor warmtetechnieken 10 opties. Per gebied betekent dit dat er dertig opties worden meegenomen.
- Omdat niet elk gebouw voldoende kan worden geïsoleerd om klimaat-neutraal te worden, zal er behoefte blijven aan energiedragers die uiteindelijk (zichtjaar 2050) CO₂-neutraal zijn. Dit kan warmte, elektriciteit, groen gas of biomassa zijn.
- De primaire focus van het onderzoek is de warmtevraag. Echter, omdat warmte en elektriciteit steeds verder in elkaar verweven raken, wordt ook gekeken naar de elektrische aspecten van het binnenklimaat en zon-PV.
- De energievraag van de industrie en landbouw valt buiten deze studie.

Groen gas

Eén van de belangrijke opties voor het klimaatneutraal krijgen van de gebouwde omgeving is het 1-op-1 vervangen van aardgas door groen gas. Groen gas leidt niet tot aanpassingen van de infrastructuur, de installaties in gebouwen en het gedrag van huishoudens. Een groot nadeel van groen gas is echter de beschikbaarheid van biomassa en de hogere prijs ten opzichte van aardgas.

Groen gas is een commodity die wordt gemaakt uit biomassa, een schaarse grondstof, die in Nederland maar beperkt voorhanden is. Een potentieelstudie van het Groen Gas Forum (2014) raamt het technisch potentieel van groen gas uit Nederlandse biomassa op iets meer dan 2 miljard m³ (bcm). Door middel van import kan de beschikbare hoeveelheid groen gas aanzienlijk toenemen, maar omdat er op dit moment nog geen echte globale markt voor groen gas is, is over de prijsontwikkeling daarvan nog weinig te zeggen. Tevens mag worden aangenomen dat Nederland niet het enige land is dat gebruik wil maken import van groen gas. Er zijn dan ook geen zekerheden dat er grote hoeveelheden groen gas (of biomassa om dit daaruit te produceren) geïmporteerd *kunnen* worden. De optie van *power-to-gas* kan slechts een beperkte bijdrage leveren, omdat ook hier koolstof uit de korte koolstofcyclus voor nodig is, om geen additionele, fossiele koolstof uit te stoten.

Om de huidige woningvoorraad op deze wijze klimaatneutraal te maken, zou ongeveer 11 bcm aan groen gas nodig zijn. En zelfs na aanzienlijke besparingen blijft circa 8 bcm nodig voor de warmtevoorziening van woningen. Daarnaast wordt er nog 8 bcm in de utiliteit gebruikt, 5 bcm in de industrie en 3 bcm als grondstof. Dat betekent dus, dat niet alleen de huishoudens, maar ook de andere sectoren graag gebruik maken van het schaarse groen gas dat beschikbaar is en komt in Nederland.

Dit heeft enerzijds een prijsopdrijvende werking en anderzijds leidt dit tot een beperkte beschikbaarheid van het groen gas voor de gebouwde omgeving. Niet één sector krijgt al het groen gas, maar waarschijnlijk vindt er een deling plaats. Voor deze studie is de globale deling van het groen gas aangenomen, die ook voor het huidige aardgas geldt: ongeveer de helft van het Nederlandse potentieel, 1 bcm, gaat naar de huishoudens.

Dit kan als een ondergrens worden beschouwd. De bovengrens wordt uiteindelijk bepaald door de wereldmarkt. Maar ook dit is onderhevig aan een prijsopdrijvende werking door enerzijds de stijgende vraag en anderzijds het steeds meer moeten toepassen van minder geschikte (lees: duurdere) biomassastromen voor de productie van groen gas.



Klimaatneutraal

Er zijn vele verschillende manieren om een klimaat- of energieneutrale toekomst te definiëren. In deze studie is gekozen om een eindbeeld neer te zetten dat voldoet aan de volgende definitie van klimaatneutraal:

Er vindt geen CO₂-emissie plaats, als gevolg van de warmtevraag van gebouwde omgeving. Kleinschalige verbranding van fossiele brandstoffen is niet mogelijk, grootschalig met CCS kan wel. Ook de levering van warmte van buiten de gebouwde omgeving moet CO₂-vrij zijn.

80, 95 of 100% klimaatneutraal

In Nederland en Europa zijn er verschillende doelstellingen voor een klimaatneutrale toekomst. Waar de Renewable Energy Directive vanuit Europa als doel heeft om 80-95% van de CO₂-emissie te besparen, wordt in het SER Energieakkoord voor duurzame groei de ambitie gesteld van een ‘volledig klimaatneutrale’ energievoorziening in 2050 (SER, 2013). Dit is een ambitieuzere doelstelling dan de EU heeft.

In deze studie wordt aangesloten bij de ambitieuze doelstelling uit het SER Energieakkoord, waarbij het doel van de studie een 100% klimaatneutrale energievoorziening voor de gebouwde omgeving wordt.

1.6 Leeswijzer

Dit rapport is opgebouwd aan de hand van de vragen in Paragraaf 1.3. Hierbij wordt begonnen met het in beeld brengen van de huidige situatie in de gebouwde omgeving en de omvang van de uitdaging waarvoor we staan. De twee daaropvolgende hoofdstukken (3 en 4) lichten de werkwijze voor het kwantitatief onderbouwen van het eindbeeld toe. Hierbij worden respectievelijk de geografische aspecten en de technische aspecten toegelicht. Hoofdstuk 5 bespreekt de rol van de stakeholders in de gastransitie, wie zij zijn, welke belangen zij hebben en wat hun mogelijkheden zijn. De resultaten van de eindbeelden worden weergegeven in Hoofdstuk 6. In Hoofdstuk 7 wordt toegelicht wat de mogelijke routes zijn vanaf het heden naar het eindbeeld. Het rapport sluit af met conclusies en aanbevelingen.

Omdat de studie gaat over een groot hoeveelheid kwantitatieve data, is gepoogd de rapportage bondig te houden en gedetailleerde toelichtingen in de bijlagen te plaatsen. Hierin zijn dan ook de overzichten van de eindbeelden terug te vinden en een inhoudelijke toelichting op de werkwijze.



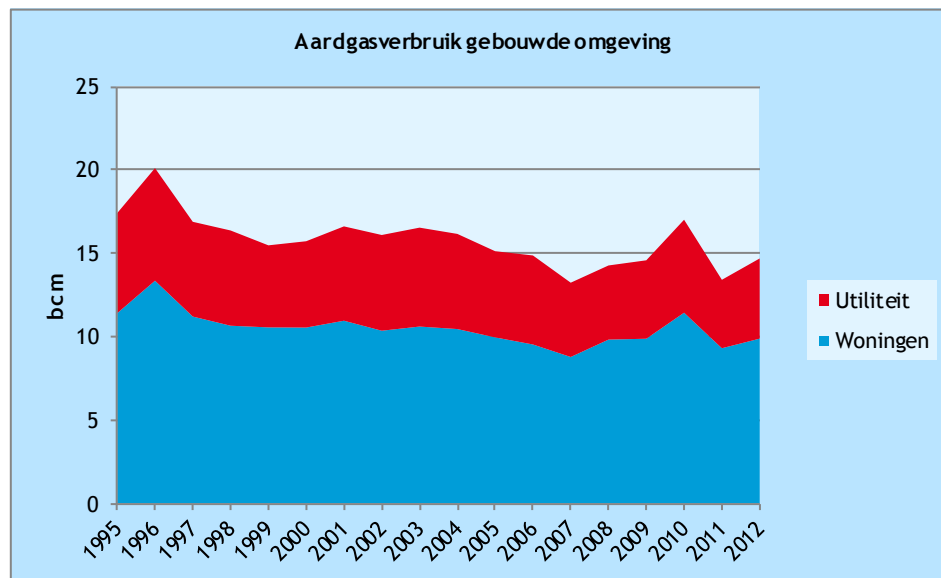
2 Huidige warmtevoorziening

Om een beeld te krijgen van de omvang van de uitdaging die voor ons ligt om de gebouwde omgeving klimaatneutraal te krijgen, is het eerst nodig een goed beeld te hebben op de huidige situatie. In dit hoofdstuk wordt daarom een overzicht gegeven van de huidige warmtevoorziening van gebouwen en de energiestromen die daar bij horen.

2.1 Gasverbruik in Nederlandse gebouwen

In Nederland wordt jaarlijks een grote hoeveelheid aardgas verbruikt voor de verwarming van gebouwen en warm tapwater. Vrijwel elk huishouden en utiliteitsgebouw is aangesloten op het gasnet. Uitzonderingen hierop vormen de gebouwen die zijn aangesloten op stadswarmte, nieuwbouwwijken waar is gekozen voor een energievoorziening met enkel elektriciteit en buitengebieden waar gebouwen gebruik maken van LPG. In Figuur 1 wordt het gasverbruik van de laatste jaren weergegeven. Per jaar wordt er 10-11 miljard m³ aardgas verbruikt in woningen ten behoeve van het verwarmen van gebouwen en tapwater. De utiliteitsbouw verbruikt 5-6 miljard m³. In totaal wordt ongeveer 15 miljard m³ verbruikt. De gebouwde omgeving verbruikt hiermee ongeveer drie kwart van al het aardgas dat wordt ingezet voor energetische doeleinden (exclusief de energiesector). In dit verbruik is een licht dalende trend zichtbaar.

Figuur 1 Aardgasverbruik in de gebouwde omgeving



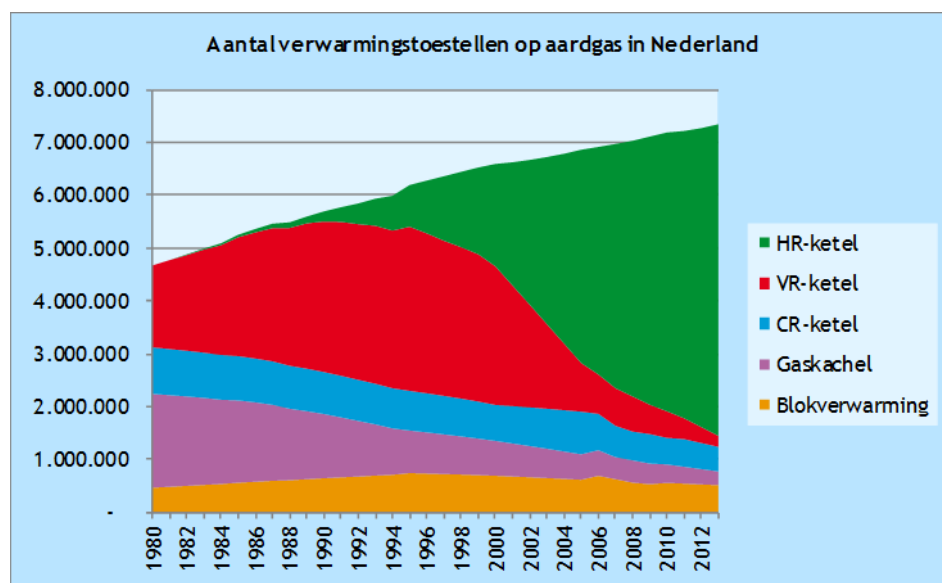
Bron: (CBS, 2014) en (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014).

Door het verbruik van dergelijke hoeveelheden aardgas, betekent het ook dat er in de gebouwde omgeving aanzienlijke CO₂-emissies plaatsvinden. Per m³ aardgas komt er 1,78 kg CO₂ in de atmosfeer. Voor de gehele gebouwde omgeving betekent dat dus 27 miljoen ton CO₂. Dit staat ongeveer gelijk aan 15% van de totale emissies in Nederland.

2.2 De warmtevoorziening

In de afgelopen decennia is de gebouwde omgeving steeds verder aangesloten op het aardgasnet. Op dit moment wordt ongeveer 95% van de gebouwen verwarmd met aardgas. De meest gebruikte techniek voor het verwarmen van gebouwen is de HR-ketel. Sinds de jaren tachtig heeft deze techniek die aardgas met meer dan 107% rendement (onderwaarde) omzet in warmte een steeds groter aandeel gekregen in de warmtevoorziening. Figuur 2 laat de ontwikkeling zien van de verwarmingstoestellen in Nederland in de afgelopen decennia. Duidelijk is de groei in het totale aantal toestellen te zien als gevolg van de bevolkingsgroei en de toename van het aantal huishoudens. Daarnaast valt op dat de dominante technieken uit 1980 in 30 jaar bijna geheel vervangen zijn door de HR-ketel.

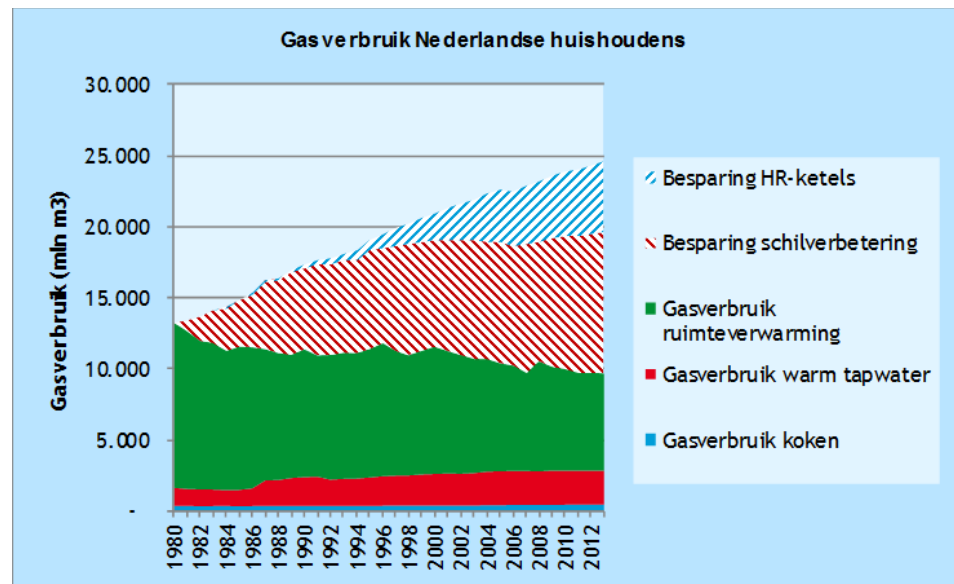
Figuur 2 Verwarmingstoestellen bij huishoudens in Nederland



Bron: (CE Delft, 2013).

Ondanks de sterke stijging van het aantal huishoudens, zoals dat is te zien in Figuur 2, laat het aardgasverbruik toch een dalende trend zien in Figuur 1 in de voorgaande paragraaf. Dit is het gevolg van autonome besparingen bij huishoudens en het toepassen van de efficiënte HR-ketel. Figuur 3 geeft weer wat de effecten van deze twee trends zijn. Duidelijk is te zien dat als er geen sprake zou zijn geweest van besparing en HR-ketel, het totale verbruik mee zou zijn gestegen met de groei van de bevolking en aantal huishoudens. Echter, door de besparing en hoogefficiënte HR-ketel is in werkelijkheid de vraag naar aardgas door huishoudens afgenomen. Wat daarnaast opvalt is, dat in tegenstelling tot het gasverbruik voor ruimteverwarming, het gasverbruik voor warm tapwater wel gestegen is de laatste jaren. Deze warmtevraag wordt veel meer beïnvloed door het aantal mensen dan isolatiemaatregelen in gebouwen. Hoewel de vraag voor ruimteverwarming op dit moment nog aanzienlijk groter is dan voor warm tapwater, is dit wel sterk aan het verschuiven. Door vergaande isolatie-maatregelen, is het nu al zo dat in de nieuwste woningen de vraag naar ruimteverwarming gelijk of kleiner is dan de vraag naar warm tapwater.

Figuur 3 Effecten energiebesparing en HR-ketel



Bron: (CE Delft, 2013).

Voor utiliteitsbouw zijn de gegevens voor het bepalen van deze trends minder beschikbaar en is het verbruik ook sterker afhankelijk van externe factoren die minder met het gebouw en installatie te maken hebben. De verwachting is echter dat voor deze sector een soortgelijke ontwikkeling heeft plaatsgevonden.

2.3 Behalen landelijke doelen op het gebied van energietransitie

In 2013 heeft de Sociaal-Economische Raad (SER) het rapport 'Energieakkoord voor duurzame groei' uitgebracht (SER, 2013). In dit rapport worden doelen geformuleerd op het gebied van energie en wordt de koers uitgestippeld die Nederland moet gaan varen om deze doelen gezamenlijk te bereiken. Het einddoel is om in 2050 een energievoorziening te hebben die volledig klimaatneutraal is. Dit komt op hoofdlijnen overeen met de ambities van de EU. En hoewel 2050 ver weg klinkt en weinig urgentie vermoedt, is niets minder waar. Een energietransitie vindt niet van de een op de andere dag plaats. En op dit moment worden al keuzes gemaakt die verder reiken dan 2050.

Er is bij elke situatie een ideaal moment van investeren en het doorvoeren van veranderingen. Dit hangt allemaal samen met de afschrijving van bijvoorbeeld leidingen en installaties. Als deze worden vervangen op een natuurlijk moment, zijn hier veel minder kosten mee gemoeid dan dat dit gebeurt op een op zichzelf staand moment. De afschrijftermijn van de verschillende componenten die belangrijk zijn voor de energietransitie in de gebouwde omgeving kan oplopen tot 50 jaar. Dit is de reden dat er nu een plan moet komen. Als partijen nog langer doorgaan op dezelfde voet en nieuwe investeringen blijven doen in niet-duurzame oplossingen, kan er onmogelijk in 2050 een kosteneffectieve klimaatneutrale gebouwde omgeving in heel Nederland bestaan.

Naast het kiezen van het juiste investeringsmoment, is het belangrijk te weten waar in geïnvesteerd moet worden om die klimaatneutrale gebouwde omgeving te bereiken. Wat in ieder geval zeker is, is dat aardgas in 2050 niet meer voor de verwarming van de gebouwen zal zorgen als deze doelstelling

wordt bereikt. Er zijn volop alternatieven om aardgas te vervangen. Zo kan gedacht worden aan groen gas, maar ook aan compleet nieuwe systemen waarbij een andere energie-infrastructuur nodig is. Mogelijkheden om met duurzame energie voor de warmtevoorziening in Nederland te zorgen zijn, naast groen gas, bijvoorbeeld het gebruiken van restwarmte van de industrie of het gebruiken van elektriciteit in het geval deze klimaatneutraal wordt opgewekt.

2.4 Huidige energie-infrastructuur

Een centraal onderdeel van de energievoorziening is de energie-infrastructuur: de netten voor de distributie van elektriciteit, gas, warmte of koude.

In Nederland zijn bijna alle gebouwen aangesloten op een elektriciteits- en gasnet. Slechts een beperkt deel kent geen gasaansluiting, omdat zij of een warmteaansluiting of een eigen voorziening heeft.

De infrastructuur is zowel sturend als faciliterend voor de warmtevoorziening. Aan de ene kant bepaalt het welke technische opties er mogelijk zijn in een gebied en aan de andere kant biedt het mogelijkheden om keuzes te maken tussen verschillende technieken voor de warmtevoorziening. Zo sluit het mogelijkheden uit en biedt het mogelijkheden aan. Hierdoor heeft de energie-infrastructuur een centrale rol in de transitie van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving.

De energie-infrastructuur voor elektriciteit en gas wordt aangelegd en beheerd door de landelijke en regionale netbeheerders. De infra voor warmte wordt over het algemeen aangelegd en beheerd door de warmtebedrijven. De infrastructuur die 'in de grond verdwijnt' wordt aangelegd voor lange periodes (40-60 jaar) en vergen grote investeringen. Vanwege deze lange levensduur ontstaan bij het aanleggen van de infrastructuur zogenaamde *lock-ins*, waarbij de mogelijkheden in een bepaald gebied decennia lang worden vastgelegd door de keuzes die in het verleden zijn gemaakt.

Op dit moment staan we in Nederland weer voor deze keuzes en moet er gekozen worden hoe de transitie naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving wordt gestuurd en gefaciliteerd met de netten van Nederland.

Op dit moment worden in heel Nederland bijvoorbeeld oude gasnetten vervangen door nieuwe gasnetten. Hoewel dit voor de korte termijn mogelijk een logische keuze is (bijvoorbeeld voor het vervangen van het grijze gietijzer), kan dit betekenen dat in die gebieden voor de lange termijn een suboptimale situatie is gecreëerd. Om dit te voorkomen, moet op voorhand nagedacht worden over de langetermij implicaties van de keuzes met betrekking tot een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050. Hierbij moet worden gekeken naar de mogelijkheden aan de vraagkant, de aanbodkant en de distributie van de energiestromen voor de warmtevoorziening.

2.5 Nieuwe ontwikkelingen

In de vorige eeuw was het gebruikelijk om elk huis en overig gebouw aan te sluiten op het elektriciteits- en gasnet. Sinds het stijgen van de gas- en elektriciteitsprijzen de afgelopen twee decennia en de bewustwording omtrent het klimaat, is men op zoek gegaan naar zuinigere en alternatieve technieken en vormen van energie. Met deze nieuwe technieken kan veel fossiele brandstof worden bespaard en kan de energierekening omlaag worden gebracht.



De nieuwe ontwikkelingen op dit gebied brengen ook meer keuzes met zich mee. Krijgen nieuwe gebouwen een traditionele aansluiting of worden ze aangesloten op een warmtenet? Zijn er wel mogelijkheden voor dit warmtenet of is enkel een elektriciteitsaansluiting toch een gunstigere optie? En met wat voor technieken kan ervoor gezorgd worden dat het rendement zo hoog mogelijk is en de kosten beheersbaar blijven? Het is vaak niet één partij die deze keuzes maakt, maar verschillende partijen die samen tot de beste oplossing moeten komen. Dit maakt het lastig om te kiezen voor alternatieve opties. In deze studie is een groot aantal van deze alternatieve opties meegenomen (zie Hoofdstuk 4). Het gaat hierbij zowel om technieken die binnen de huidige structuur passen als technieken die een nieuwe structuur vereisen.



3 Gebiedsindeling

Om tot bruikbare resultaten te komen, hebben we als eerst een gebiedsindeling gemaakt. Een aantal criteria ligt ten grondslag aan de gekozen indeling. In dit hoofdstuk wordt het doel van de indeling uitgelegd, worden de criteria toegelicht en wordt de gebiedsindeling beschreven. In Bijlage F wordt een overzicht gegeven van alle eigenschappen van de buurttypen.

3.1 Doel van de indeling

Het doel van het maken van een indeling is om herkenbare gebieden te creëren die een gemeente of andere partij gemakkelijk kan spiegelen aan gebieden waar zij zelf mee te maken heeft. Door het maken van een indeling worden verschillende typen gebieden onderscheiden. Niet elk gebied in Nederland heeft dezelfde kenmerken, waardoor voor elk type gebied een andere klimaatneutrale oplossing de beste kan zijn. Hierbij wordt zowel gekeken naar de woning- als utiliteitsbouw.

Daarnaast zorgt het toekennen van een gebiedstype aan bepaalde data voor structuur in het onderzoek. Door het aanbrengen van deze structuur, kunnen resultaten overzichtelijk worden weergegeven. De gepresenteerde informatie heeft meerwaarde, omdat gebiedsdifferentiatie het mogelijk maakt meer specifieke resultaten te presenteren.

3.2 Gebiedskenmerken die leiden tot de gekozen indeling

Meerdere gebieds- en gebouwkenmerken zijn van invloed op de meest kosteneffectieve klimaatneutrale oplossing in een gebied. Om te bepalen welke criteria voor dit onderzoek van belang zijn, is onder andere een web-enquête gehouden onder 90 stakeholders. Hierin is hen gevraagd naar de geschiktheid van verschillende parameters voor het typeren van gebieden voor de warmtetransitie.

Eén van de kenmerken die bepalend is voor een kosteneffectieve klimaatneutrale oplossing, is het energiegebruik van een gebouw of gebied. Voor wordt deze voor een groot deel beïnvloed door de functie van het gebouw. Zo heeft een zwembad een grote warmtevraag en moet er in supermarkten juist veel worden gekoeld. Voor een gebied, is het vooral de stedelijkheid die bepaalt hoeveel energie er in een gebied wordt gebruikt.

Als je kijkt op gebouwniveau, zijn naast de functie van een gebouw, ook het type bouw (gestapeld of grondgebonden) en de energetische schil bepalend voor het energieverbruik. De energetische schil hangt nauw samen met het bouwjaar van de bebouwing. Oudere gebouwen zijn veel minder goed geïsoleerd dan nieuwbouw, waardoor hun warmtevraag over het algemeen een stuk hoger ligt.



Een gebiedskenmerk dat veel invloed heeft op de aansluitkosten van energie-infrastructuur en geschiktheid van individuele - versus collectieve systemen, is de stedelijkheid/bebouwingsdichtheid. Bij dichtbebouwde gebieden zijn de afstanden tussen de gebouwen klein, en zijn de kosten van energienetwerken daardoor per gebouw lager. In buitengebieden moet voor elk gebouw een veel langere leiding worden aangelegd, waardoor de kosten van het aanleggen van een netwerk sterk kunnen oplopen. Om deze reden zijn collectieve systemen minder geschikt.

Samenvattend betekent dit dat de volgende criteria zijn meegenomen voor het bepalen van de gebiedsindeling:

- functie van de bebouwing;
- type bouw (gestapeld en grondgebonden);
- bouwjaar;
- bebouwingsdichtheid/stedelijkheid.

Het overgrote deel van de stakeholders die de web-enquête heeft ingevuld, heeft aangegeven deze vier parameters allemaal belangrijk te vinden, en ook ongeveer in gelijke mate, voor de gebiedsindeling.

Naast het bepalen van de criteria voor de indeling van de gebieden, is er een keuze gemaakt met betrekking tot het schaalniveau. De randvoorwaarde hierbij was dat bijna heel Nederland binnen één van de gebieden moet vallen, zodat het model voor zoveel mogelijk gebieden in Nederland te gebruiken is. Bij de keuze is ook rekening gehouden met de beschikbare data van het CBS. Het laagste niveau waarop het CBS indelingen maakt, is het buurniveau. Op dit niveau zijn er 12.000 verschillende gebieden. Het niveau en aantal gebieden maakt het mogelijk om gebieden met een eenduidig bouwjaar en functie te identificeren.

Daarnaast is het buurniveau herkenbaar voor gemeenten en overige stakeholders, die echter niet allen beslissingen nemen op dit niveau. In Hoofdstuk 0 wordt hier verder op ingegaan. Om bovenstaande redenen is voor dit onderzoek gekozen voor een indeling op buurniveau.

3.3 Overzicht van de indeling

In Tabel 2 volgt een overzicht van buurttypen die voor dit onderzoek zijn gebruikt. Opgemerkt dient te worden, dat er voor elk gebied gewerkt is met gemiddelden.

Tabel 2 Overzicht buurttypen

Buurt-type	Gebied	Bouwjaar	Stedelijkheid
1	Oude binnensteden	<1900	1 en 2
2	1e ringen, hoogstedelijk	1900-1945	1 en 2
3	Wederopbouw, hoogstedelijk	1945-1965	1 en 2
4	Wederopbouw, matig stedelijk	1945-1965	3
5	Wederopbouw, suburbaan	1945-1965	4
6	Bloemkoolwijk, hoogstedelijk, wonen	1965-1990	1 en 2
7	Bloemkoolwijk, hoogstedelijk, wonen & utiliteit	1965-1990	1 en 2
8	Bloemkoolwijk, matig stedelijk	1965-1990	3
9	Bloemkoolwijk, suburbaan	1965-1990	4
10	Kantorenpark	verschillend	
11	Recente nieuwbouw, hoogstedelijk en matig stedelijk	1990-2010	1, 2 en 3
12	Recente nieuwbouw, suburbaan en niet stedelijk	1990-2010	4 en 5

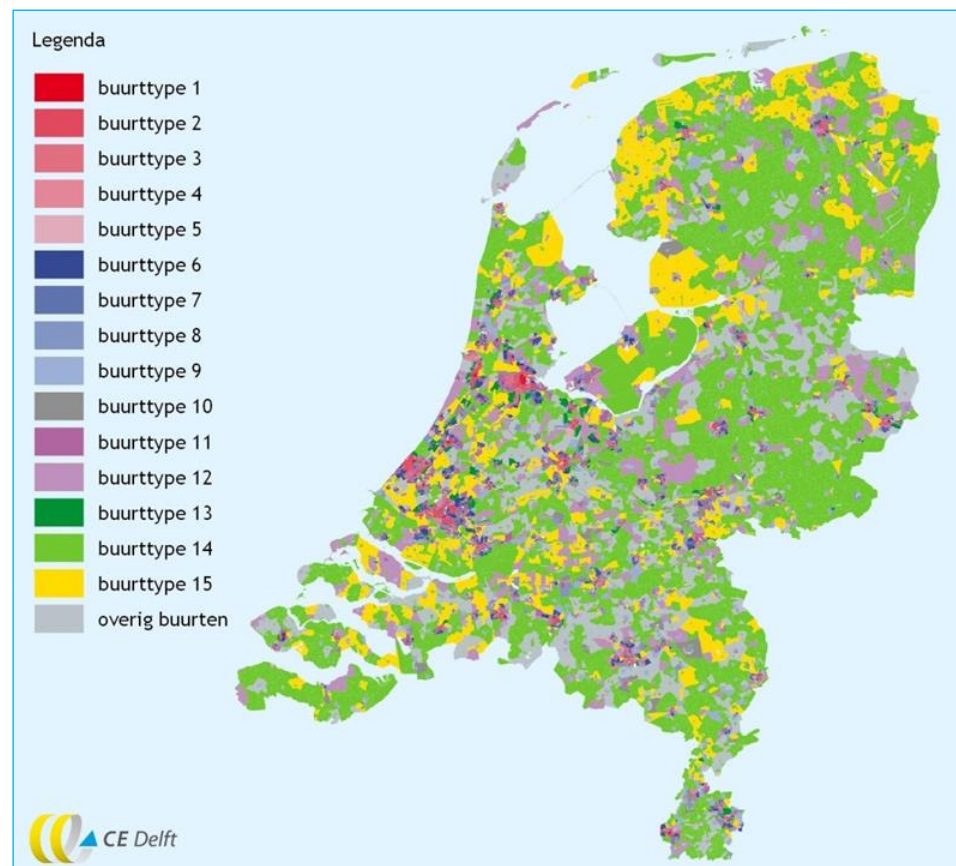


Buurt-type	Gebied	Bouwjaar	Stedelijk-heid
13	Dorpskernen	< 1945	3,4
14	Niet-stedelijk gebied	< 1990	5
15	Overig	verschillend	

Op basis van de genoemde criteria zijn, met behulp van gegevens uit de Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG) van het Kadaster, de buurten van Nederland onderverdeeld over de vijftien buurttypen. In het BAG staan gegevens over aantal gebouwen, de functie van die gebouwen (woon, winkel, kantoor, et cetera), het bouwjaar en oppervlak.

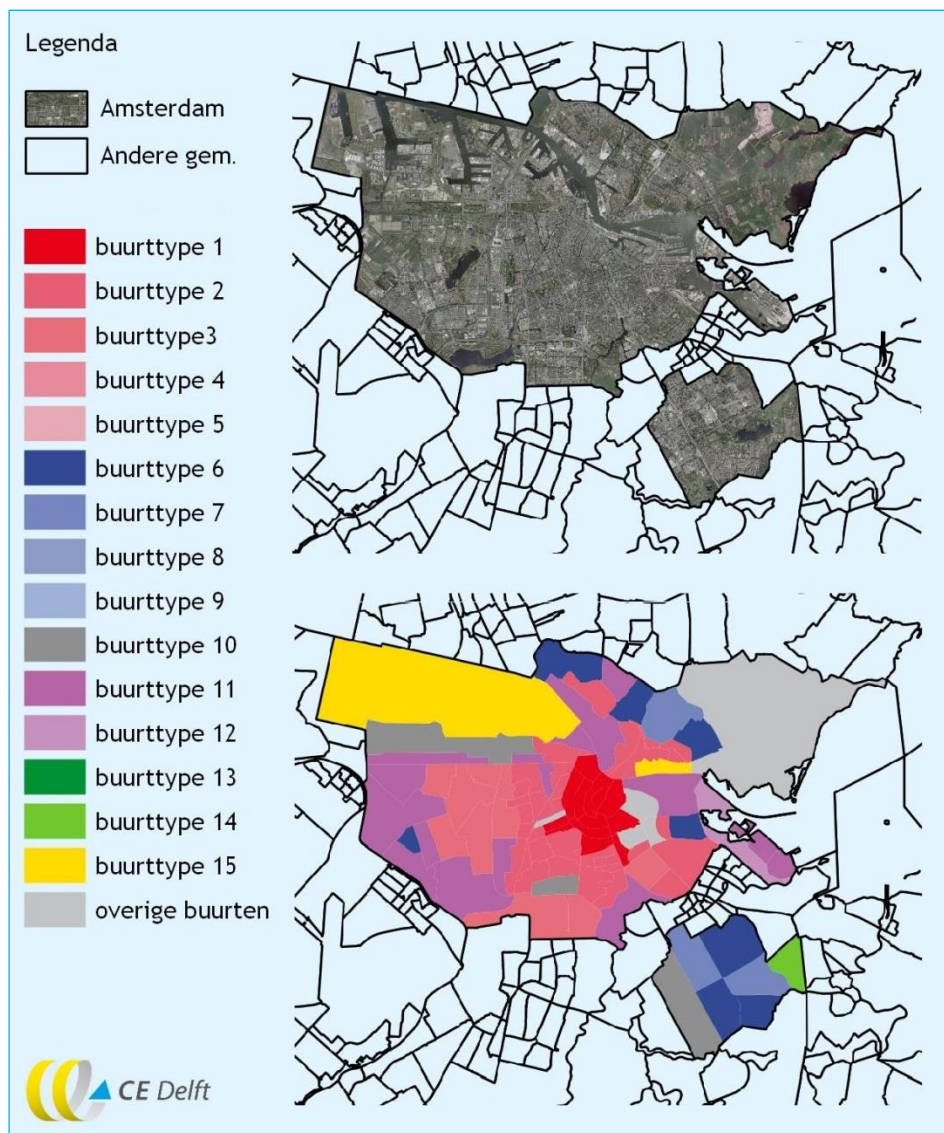
Om een beeld te geven van de verdeling van deze buurttypen in Nederland, is onderstaande afbeelding weergegeven. Hierin is duidelijk zichtbaar waar de grotere steden zich bevinden, namelijk de locaties met veel roodtinten. Daarnaast kan ook worden gesteld dat een groot oppervlak van Nederland als buitengebied en industriegebied kan worden getypeerd, waarbij groen het buitengebied aangeeft en geel de categorie 'overig' vertegenwoordigt, waarin zich veel industrie bevindt. Figuur 5 en Figuur 6 laat een close up zien van de verdeling van de buurttypen in Amsterdam en Apeldoorn (e.o.). In Amsterdam is duidelijk zichtbaar hoe de stad zich uitbreide van de grachtengordel (buurttype 1) naar de steeds jongere wijken daarbuiten. Bij Apeldoorn is goed te zien dat met name steden buiten de Randstad bestaan uit dichtbebouwde centra, welke worden omringd door landelijke gebieden. Binnen één gemeente kan dit dus al tot zeer grote diversiteit in buurttypen leiden.

Figuur 4 Verspreiding van de buurttypen over Nederland

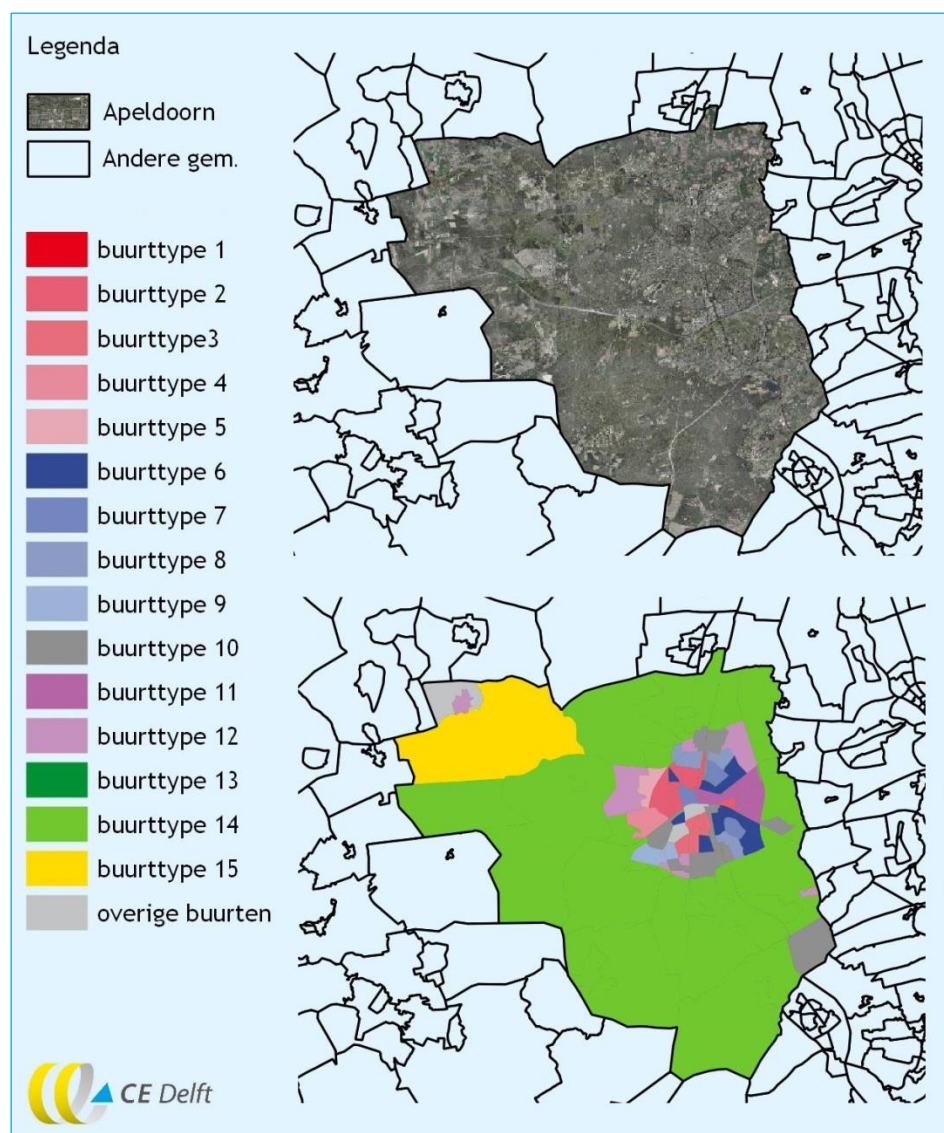


Met deze indeling wordt 95% van de woningen en 92% van de overige gebouwen ingedeeld in één van de vijftien buurttypen. Voor een klein aantal buurten in Nederland is het niet mogelijk om op basis van de criteria een eenduidige indeling te maken. Zij zitten in de 'overige buurten' (grijs). Hieronder vallen bijvoorbeeld gebieden zonder woonfunctie, zoals recreatiegebieden, of buurten waarvan de bouwperiode te divers is.

Figuur 5 Opbouw van buurttypen in Amsterdam



Figuur 6 Opbouw van buurttypen in Apeldoorn

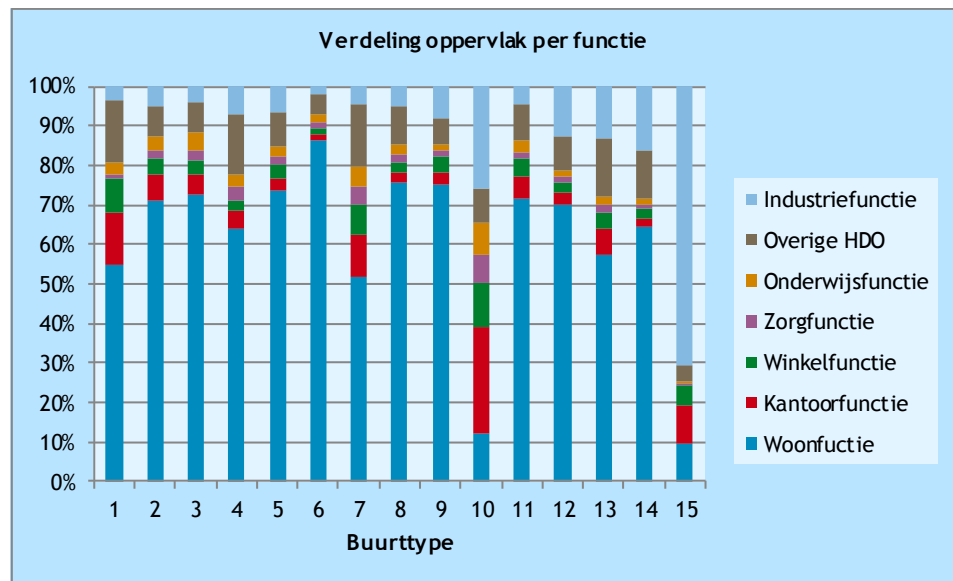


Het opstellen van de buurttypen laat zien dat er grote verschillen zijn. Door de gegevens van de BAG te combineren met de gegevens van het energieverbruik, wordt een gedetailleerd beeld verkregen van de buurttypen. Voor het energieverbruik wordt bij woningen gebruik gemaakt van de gegevens die het CBS registreert per buurt (werkelijke gebruiken op basis van gegevens netbeheerders). Voor de utiliteitsbouw wordt gewerkt met gemiddelde verbruiken per vierkante meter voor de verschillende functies die in de BAG worden onderscheiden. Deze gemiddelden zijn terug te vinden in de Energiecijfers Gebouwen-database van RVO (RVO, 2014). In combinatie met de totale energieverbruiken uit de Klimaatmonitor (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014) is op basis van het oppervlak per functie bepaald wat de energievraag van de utiliteitsbouw is. In Tabel 3 worden enkele hoofdkenmerken van de buurttypen weergegeven. Figuur 7 en Figuur 8 laten respectievelijk de verdeling van het oppervlak per functie zien en de totale energievraag voor ruimteverwarming, warm tapwater en koeling. In Bijlage F wordt dit verder toegelicht.

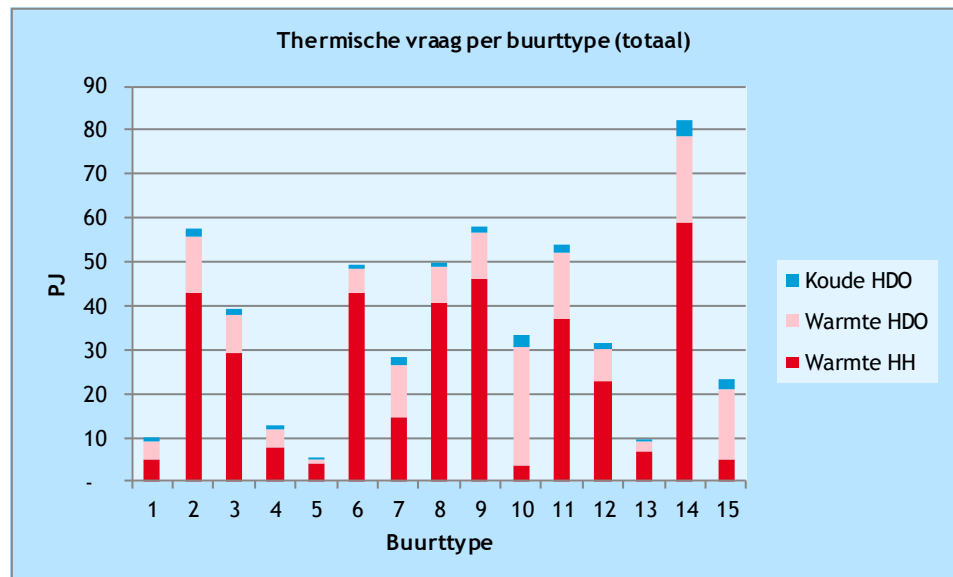
Tabel 3 Gemiddeld eigenschappen buurttypen

	Naam	Inwoners [totaal]	Woningen [totaal]	Woningen [/buurt]	Oppervlak [ha/buurt]	Oppervlak [mln m ²]		Gestapeld [%]	Corporatie [%]
						Woon	Utiliteit		
1	Oude binnensteden	214.685	125.924	1.702	28	12,0	9,9	61%	23%
2	1e ringen hoogstedelijk	1.823.130	901.316	1.492	43	90,3	36,4	42%	31%
3	Wederopbouw, hoogstedelijk	1.307.825	661.203	1.330	50	65,2	24,9	49%	48%
4	Wederopbouw, matig stedelijk	312.305	147.753	890	76	17,9	10,1	21%	39%
5	Wederopbouw, suburbaan	143.295	67.338	667	84	9,0	3,2	15%	31%
6	Bloemkoolwijk, hoogstedelijk, wonen	2.106.940	970.122	1.295	50	105,5	16,9	35%	43%
7	Bloemkoolwijk, hoogstedelijk, wonen & hdo	653.655	353.249	1.308	55	35,7	33,1	54%	44%
8	Bloemkoolwijk, matig stedelijk	1.798.230	788.005	1.192	83	99,1	32,2	16%	32%
9	Bloemkoolwijk, suburbaan	1.889.255	823.330	1.227	142	114,3	38,2	9%	28%
10	Kantorenpark	144.230	70.000	159	163	11,4	82,0	38%	24%
11	Recente nieuwbouw, hoog- en matig stedelijk	2.020.555	886.176	1.024	63	118,4	47,4	31%	27%
12	Recente nieuwbouw, suburbaan en niet stedelijk	1.007.005	422.496	452	340	72,1	31,2	8%	15%
13	Dorpskernen	220.705	100.630	366	117	15,1	11,1	12%	19%
14	Niet-stedelijk gebied	2.141.440	894.509	259	464	156,2	86,1	3%	18%
15	Overig	172.200	65.316	64	486	19,4	181,0	3%	4%
	Totaal	15.955.455	7.277.367	675	265	942	645	26%	31%

Figuur 7 Opbouw buurrtypen



Figuur 8 Totale energievraag buurrtypen



4 Technische opties

Er zijn verschillende mogelijkheden om te komen tot een klimaatneutrale gebouwde omgeving. Deze mogelijkheden hebben betrekking op zowel de vraagreductie, alsook op de energiedragers die de restvraag op moeten vangen en de installaties die daarbij nodig zijn. In dit hoofdstuk worden de meegenomen opties getoond en de keuzes die hiernaar leiden toegelicht. Het hoofdstuk bevat de informatie op hoofdlijnen. Gedetailleerde informatie is terug te vinden in de bijlagen.

4.1 Vraagreductie

Conform de Trias Energetica is de eerste stap van het klimaatneutraal maken van de gebouwde omgeving, kijken naar reductie aan de vraagkant. Daarna wordt pas gekeken naar het duurzaam opwekken van de overgebleven benodigde hoeveelheid energie.

4.1.1 Besparing

In dit onderzoek kijken we naar drie verschillende besparingsvarianten. De eerste variant is het beperkt isoleren van een gebouw, in de tweede optie wordt er ruim geïsoleerd en in de laatste optie wordt er maximaal geïsoleerd. Elke optie heeft gevolgen voor de investeringskosten en voor de overgebleven energievraag. Voor woningen en utiliteit zijn er verschillende uitgangspunten ten opzichte van de vraagreductie die wordt gerealiseerd bij een bepaald isolatieniveau.

Woningen

Voor het bepalen van de energiebesparing zijn als uitgangspunt de EI-waarden met bijbehorende energielabels gekozen. De EI-waarde van een gebouw hangt naast bouwkundige en energetische eigenschappen ook af van installatie-technische eigenschappen. Als er zonnepanelen op een huis worden geplaatst voor eigen energievoorziening, gaat de EI bijvoorbeeld omlaag. Voor dit onderzoek is er echter voor de bepaling van de kosten van de isolatie gekozen om de vraagreductie, die leidt tot een lager energielabel, enkel te koppelen aan de isolatieschil. Daarna pas wordt de extra vraagreductie, die wordt behaald met het toevoegen van bijvoorbeeld zonnepanelen, meegenomen. Dit is gedaan omdat bijvoorbeeld het plaatsen van zon-PV niet overal mogelijk is en dat de effecten daarvan sterk afhankelijk zijn van de lokale omstandigheden. Omdat deze gegevens niet bekend zijn, is gekozen om deze opties niet standaard mee te nemen in de besparingen. In de beperkt isoleren-variant wordt het energielabel door middel van extra isolatie teruggebracht naar D². Voor woningen die zonder deze extra isolatie al aan dit label voldoen, wordt deze isolatiestap overgeslagen. In de ruim isoleren-variant wordt het energielabel teruggebracht tot B en bij de optie maximaal isoleren wordt het energielabel omlaag gebracht naar A+. De investeringskosten die gepaard gaan met het omlaag brengen van het energielabel naar D en naar B, komen uit de Voorbeeldwoningen 2011 van RVO (RVO, 2011). De kosten van de extra isolatie die hiervoor nodig is voor het

² In het model wordt 'indicatief' gewerkt met de energielabels omdat dit voor de communicatie eenvoudiger werkt. Voor het bepalen van de besparingen wordt met de EI-waarden gewerkt (zie Tabel 4).



terugbrengen van het energielabel naar A+, zijn berekend aan de hand van het Vesta-model (CE Delft, 2013).

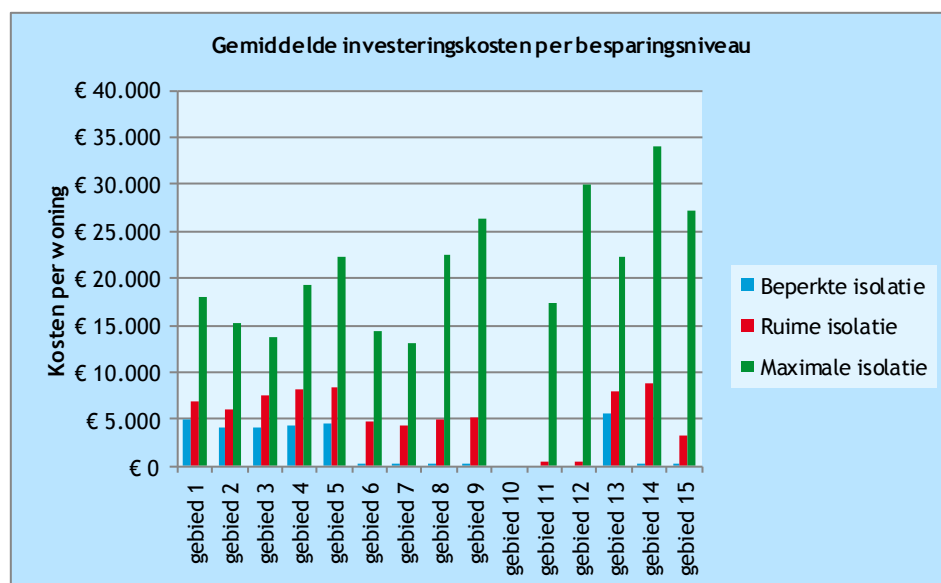
Tabel 4 Overzicht invulling besparingsniveaus woningen

Isolatie-niveau	Indicatief energielabel	Energie-index na besparing	Gemiddeld gasverbruik per woning (m³)
Huidig	-	-	1.530
Beperkt	D	1,80	1.400
Ruim	B	1,18	950
Maximaal	A+	0,60	480

In Figuur 9 worden de verschillende kosten voor de besparingsniveaus per buurttype aangegeven. Duidelijk is te zien dat de kosten sterk toenemen, naarmate het besparingsniveau hoger wordt. Daarnaast ontstaat er een verschil in kosten door de omvang van de woningen (grotere woning betekent hogere kosten per woning). Daardoor zijn de kosten in buurttype 14 bijvoorbeeld hoger dan in type 1, omdat de woningen in type 14 gemiddeld bijna twee keer zo groot zijn. Tevens vindt er een correctie plaats voor het feit dat de dezelfde maatregelen in historische bouw meer kosten om toe te passen dan in jongere gebouwen.

Voor buurttype 10 zijn de kosten niet bepaald, omdat hier de focus op de utiliteit ligt, de woningen geen eenduidige bouwjaar kennen en zij slechts een zeer beperkt onderdeel vormen van dat buurttype.

Figuur 9 Gemiddelde kosten voor besparingsmaatregelen per woning



Utiliteit

Voor utiliteit zijn de verschillende besparingsniveaus niet bepaald aan de hand van energielabels, maar aan de hand van terugverdientijden. Het bouwjaar van de utiliteit is onbekend, dus er wordt uitgegaan van een gemiddelde besparing per isolatieniveau.

Bij beperkt isoleren is er berekend wat de kosten zijn wanneer het extra isolatiepakket binnen 5 jaar wordt terugverdiend. De kosten zijn in dit geval de uitgespaarde energiekosten per jaar maal 5. Voor de optie ruim isoleren is

gekozen voor een terugverdientijd van 10 jaar en voor de optie maximaal isoleren is gekozen voor een terugverdientijd van 20 jaar. Het percentage besparing dat je gemiddeld bereikt met bovengenoemde isolatiepakketten, is bepaald met behulp van het rapport ‘Verbetering referentiebeeld utiliteitssector’ van ECN (ECN, 2013). Hierbij gaan we uit van een natuurlijk moment van investeren. Het besparingspotentieel dat wordt bereikt, is enkel gebaseerd op gebouwen die vallen binnen de Wet milieubeheer. Het gezamenlijke oppervlak van deze utiliteitsgebouwen is ongeveer 60% van het totale oppervlak van de in Nederland in gebruik zijnde utiliteitsgebouwen. In Tabel 5 worden de besparingspercentages per terugverdientijd weergegeven.

Tabel 5 Overzicht invulling besparingsniveaus utiliteit

Isolatieniveau	Terugverdientijd	Besparing	Kosten
Beperkt	5 jaar	17%	5x bespaarde jaarlijkse energiekosten
Ruim	10 jaar	27%	10x bespaarde jaarlijkse energiekosten
Maximaal	20 jaar	33%	20x bespaarde jaarlijkse energiekosten

4.1.2 Energiebesparende/-leverende add-ons

Naast het verbeteren van de energetische schil van een woning, kunnen er ook installaties worden toegevoegd om de energievraag te reduceren. Daarnaast kunnen er installaties worden toegevoegd om zelf hernieuwbare elektriciteit mee op te wekken en zo een gedeelte van de warmtevraag te dekken.

Voor dit onderzoek is gekozen voor drie opties, namelijk:

1. Zonneboiler.
2. Douche warmteterugwinning.
3. Zonnepanelen.

Door het gebruik van een zonneboiler wordt de vraag naar warmte voor tapwater gereduceerd. Ook door een warmteterugwinning in de douche wordt de warmtevraag voor tapwater omlaag gebracht. Zonnepanelen zorgen ervoor dat een deel of de totale elektriciteitsvraag wordt vervuld door eigen opwekking. Hierdoor is er minder elektriciteit nodig van buitenaf. Binnen een buurttype leveren deze add-ons voor alle technische opties dezelfde effecten. Het is dus niet zo dat zon-PV in combinatie met een bepaalde techniek meer besparing oplevert dan in combinatie met een andere techniek.

Standaard staan de add-ons bij de maximale besparingsopties ‘aan’.

4.2 Technieken

Naast de verschillende besparingsniveaus is er gekeken naar verschillende technieken die ervoor kunnen zorgen dat een gebouw, en daarmee een buurt, klimaatneutraal wordt. Deze technieken moeten de ‘restvraag’ naar warmte die overblijft na de besparing invullen.

Het uitgangspunt hierin is dat er geen fossiele brandstoffen meer worden gebruikt voor de verwarming van de gebouwen. Dit betekent dat al het aardgas in 2050 is vervangen door een andere bron van energie.

In deze studie wordt aangenomen dat dit door vier energiedragers kan worden gedaan:

- groen gas;
- warmte uit CO₂-vrije bron;

- elektriciteit uit CO₂-vrije bron;
- biomassa.

Voor elke energiedrager zijn er meerdere mogelijkheden om warmte op te wekken of af te geven aan de woning. Er is gekeken naar welke technieken op dit moment worden toegepast in Nederland en waarvan verwacht mag worden dat zij in de komende decennia nog beschikbaar zijn. Om de overzichtelijkheid te bewaren, is ervoor gekozen enkel tien bewezen technieken mee te nemen in het onderzoek³. Dit zijn de technieken die bijna overal in Nederland toepasbaar zijn, wat niet altijd geldt voor andere opties. Er is in Nederland voldoende ervaring met de gekozen technieken en ze zijn bekend genoeg bij betrokken partijen om op basis van de resultaten uit dit onderzoek een keuze te kunnen maken tussen de verschillende technieken.

De technieken en de parameters van de technieken zijn zo gekozen dat zij kunnen voorzien in de koudepiek die in de winter kan ontstaan. Dat betekent bijvoorbeeld dat in de berekeningen voor l/w-warmtepompen bij 'beperkt' en 'ruim' geïsoleerde woningen een lager rendement wordt gehanteerd voor de warmtepomp, doordat ofwel dit rendement daadwerkelijk lager ligt, of een compensatie wordt gemaakt voor eventuele elektrische voorverwarming. Of dat bij collectieve systemen rekening wordt gehouden met piekinstallaties.

De berekeningen zijn gericht op de laagste maatschappelijke kosten, waarbij zoals gebruikelijk zonder belastingen is gerekend. Uiteindelijk zullen belastingen nog een ander beeld kunnen geven als de ene energiebron/drager wel en andere niet worden belast zoals nu het geval is: warmtelevering geen energiebelasting, aardgas € 7,80 per GJ, elektriciteit € 38 per GJ.

4.2.1 Groen gas-opties

Voor het gebruik van groen gas⁴ is er een aantal technieken beschikbaar om toe te passen in de gebouwde omgeving. Ten eerste is er uiteraard de huidige HR-ketel. Deze hoogrenderende verwarmingstechniek wordt op dit moment als in bijna zes miljoen huishoudens toegepast en zal de komende decennia nog een belangrijke rol spelen bij huishoudens en utiliteit als primaire warmtebron voor verwarming en warm tapwater.

De afgelopen jaren zijn er diverse nieuwe technieken ontwikkeld die op basis van gas in de warmvoorziening van een gebouw kunnen voorzien. Energetisch interessant zijn de opties waar gecombineerde warmte- en elektriciteitsproductie plaatsvindt: de micro- of mini-WKK's. Deze zijn er op dit moment in twee smaken: op basis van een verbrandingsmotor of op basis van een brandstofcel. De eerste smaak kenmerkt zich door een relatief laag elektrisch rendement (10-30%) en een hoog thermisch rendement. De tweede door een hoog elektrisch rendement (60-70%) en een laag thermisch rendement. Beide opties hebben hun eigen voorkeursgebied voor de toepassing. Daarnaast zijn de warmtepomp-opties. Hiervan zijn eveneens twee varianten mogelijk: de gaswarmtepomp en de hybride HR/warmtepomp. De eerste variant is een warmtepomp die op basis van aardgas warmte (of koude) produceert. De tweede is een gecombineerde techniek, waarbij een elektrische warmtepomp met een laag thermisch vermogen de basislast van de

³ Er is bewust niet gekeken naar technieken die nu nog 'op de tekentafel' liggen. Enerzijds omdat de eigenschappen (prestaties, kosten, et cetera) hiervan niet eenduidig vast te stellen zijn. En anderzijds omdat is gebleken dat het verwarmingsregime van Nederland slechts zeer langzaam verandert als gevolg van het hoge aantal installaties en de lange levensduur daarvan (zie ook Paragraaf 2.2).

⁴ Onder 'groen gas' worden alle vormen van gas beschouwd die aardgaskwaliteit hebben, waaronder opgewerkt biogas, maar ook varianten met waterstof.



warmtevraag invult en een HR-ketel die in de pieklast en warm tapwater voorziet.
Het uitgangspunt van de studie is het toepassen van de HR-ketel op basis van groen gas.

Figuur 10 Biomassavergister



Bron: Matina Nolte.

4.2.2 Warmte-opties

Het opwekken van collectieve warmte kan op vele manieren. Voor sommige processen is warmte-opwekking niet het hoofddoel, maar komt er wel warmte vrij. Deze warmte kan dan gebruikt worden voor het verwarmen van gebouwen. In dat geval spreken we van het gebruik van restwarmte. Daarnaast kan warmte ook uit de bodem worden gehaald, wat bij geothermie gebeurt. Niet al deze opties zijn overal in Nederland mogelijk. Dit hangt af van de beschikbaarheid en in het geval van het gebruik van de bodem, van de bodemgesteldheid. Naast bovengenoemde opties, kan ook een wijk-WKK worden ingezet voor de opwekking van warmte. Dit op zichzelf staande systeem, is bijna overal toepasbaar.

Restwarmte

Eén van de oplossingen om een gebied klimaatneutraal te maken, is het gebruik van restwarmte. Hierbij gaat het om warmte die de industrie of een afval- of biomassaverbrandingsinstallatie over hebben. Deze warmte kan met leidingen worden vervoerd naar gebouwen in de omgeving. Omdat dit restwarmte is, ligt de prijs hiervan over het algemeen zeer laag ten opzichte van andere energiedragers.

Je kunt er niet vanuit gaan dat er bij elke buurt in Nederland een restwarmte-bron aanwezig is. In Nederland zijn vele restwarmtebronnen beschikbaar, die zich vooral bevinden in de buurt van stedelijk gebied. Als uitgangspunt zetten we daarom deze optie in elke buurt uit. Hierdoor worden als eerst de resultaten weergegeven in een situatie waar geen restwarmtebronnen aanwezig zijn. Vervolgens kijken we met een gevoeligheidsanalyse naar de

opties waar restwarmte wel aanwezig is, maar dan alleen voor de meest aannemelijke buurttypen, namelijk de buurten met een hoge stedelijkheid.

Geothermie

Een andere bron van warmte is geothermie. Hierbij wordt grote diepte geboord om zo hoge temperatuur warmte te kunnen winnen. Het nadeel van deze techniek is dat de bodem water moet doorlaten om de aardwarmte te kunnen gebruiken. Niet overal in Nederland is de bodem geschikt voor geothermie. Om deze reden gaan we er in het onderzoek niet vanuit dat deze optie standaard beschikbaar is. Pas in een gevoeligheidsanalyse wordt onderzocht of, in het geval de bodem geschikt is voor geothermie, dit een rendabele optie is.

Figuur 11 Aardwarmtecentrale Den Haag



Bron: (Richters, 2013).

Wijk-WKK

Zoals hierboven is beschreven, worden restwarmte en geothermie niet als standaard opties meegenomen in eerste instantie. Het uitgangspunt voor warmte in deze studie is daarom de wijk-WKK, die met behulp van groen gas collectieve warmte opwekt.

4.2.3 Warmte/koude-opties

Er worden in dit onderzoek twee warmte/koude-opties bekeken. De eerste is een warmtekoudeopslag en de tweede het gebruik van een collectie warmtebron voor hoge temperatuur warmte en de opwekking van koude.

WKO

Voor de optie warmte/koude-opslag gaan we in dit onderzoek uit van open grondwatersystemen. Deze staan in open verbinding met watervoerende pakketten en gebruiken grondwater uit een zogenaamde koude bron en warmte bron die zich op enige afstand van elkaar bevinden. Het water wordt

in de zomer uit de koude bron opgepompt, waarna het opgewarmde water in de andere bron (de warme) wordt ingebracht. In de winter wordt juist het warme water opgepompt en het afgekoelde water aan de koude bron afgegeven. Om de bodem te beschermen, worden eisen gesteld aan de energiebalans van een WKO-systeem.

Het voorkomen van een onbalans of het herstellen van een onbalans kan negatieve gevolgen hebben voor de energiebesparingsdoelstelling en daarom is het noodzakelijk dat er ongeveer even veel warmte en koude wordt teruggebracht in het systeem als dat er uit wordt onttrokken. Om die reden wordt een WKO-systeem in dit onderzoek niet als optie gezien voor woningen die slechts beperkt of ruim zijn geïsoleerd. Voor deze woningen is namelijk te veel warmte nodig in verhouding tot de koudevraag.

Warmte & koude HT

Om de optie 'warmte & koude HT' te kunnen toepassen, is er in ieder geval een warmtebron nodig. Zoals bij de uitleg van restwarmte is omschreven, gaan we er niet vanuit dat er standaard een restwarmtebron aanwezig is. De warmtebron is daarom standaard ingesteld op wijk-WKK. Daarnaast geldt voor deze optie, net als voor de WKO, dat er voldoende koudevraag moet zijn in de buurt. Om die reden komen woningen in combinatie met beperkt isoleren of ruim isoleren niet in aanmerking voor deze techniek.

Pas in de gevoeligheidsanalyse wordt daarom gekeken of in het geval van restwarmte in stedelijk gebied, deze optie

Figuur 12 Houtkachel aangesloten op CV-installatie



4.2.4 Biomassa

Biomassa kan worden ingezet als klimaatneutrale brandstof voor de verwarming van gebouwen en warm tapwater. We nemen in dit onderzoek twee verschillende opties mee voor het gebruik van biomassa, namelijk verbranding met individuele houthaarden en in biomassa-CV-ketels.

De verbranding van biomassa komt veel fijnstof vrij, wat schadelijk is voor de directe leefomgeving en gezondheid. In buurten waar de woningen dicht op elkaar staan, kunnen omwonenden hier veel hinder van ondervinden. Om deze en comfortredenen, zien wij houthaarden in stedelijk gebied niet als mogelijke oplossing naar een klimaatneutrale omgeving. De houthaard-optie wordt daarom in dit onderzoek niet meegenomen in stedelijke buurten. Een CV-ketel op houtpellets stoot als gevolg van gecontroleerdere verbranding en schonere brandstof veel minder fijnstof uit. Deze is namelijk voorzien van een katalysator die zorgt voor de reductie van emissies. Om deze reden wordt de biomassa-CV-ketel wel in elk buurttype als standaard optie meegenomen.

4.3 Vraag-techniekcombinaties

Op basis van de beschikbare technieken voor een klimaatneutrale warmtevoorziening, zijn tien verschillende vraag-techniekcombinaties opgesteld. Deze combinaties verbeelden toekomstige situaties waarbij een combinatie van een bepaalde energie-infrastructuur, warmtevraag en warmtetechniek wordt gemaakt. In Bijlage E is een compleet overzicht te vinden van de gekozen vraag-techniekcombinaties. Tabel 9 geeft een overzicht van de 10 vraag-techniekopties.

Tabel 6 Overzicht van vraag-techniekcombinaties

Nr.	Benaming	Omschrijving
1	Gas & HT	Groen gas i.c.m. hoge temperatuurverwarming
2	Gas & LT	Groen gas i.c.m. lage temperatuurverwarming
3	All electric & eWP	Enkel elektriciteit met een elektrische warmtepomp
4	All electric & eWV	Enkel elektriciteit met een elektrische weerstandsverwarming
5	Warmte HT	Warmtenet met hoge temperatuur
6	Warmte LT	Warmtenet met lage temperatuur
7	WKO	Warmte/koude met opslag of buffer
8	Warmte & koude HT	Warmtenet met hoge temperatuur en koude uit warmte
9	Biomassa & houtkachel	Verwarming enkel met houtkachels
10	Biomassa & CV	Verwarming met vaste biomassa-gestookte installaties

Binnen elk van deze tien techniekopties kan voor één of meerdere installaties worden gekozen. Deze installaties bepalen de totale kosten van de techniek en dankzij verschillen in rendement, bepalen ze ook de benodigde hoeveelheid energie.

Ook voor deze installaties geldt dat er meerdere opties te verzinnen zijn. Vooral aan innovaties is op dit moment geen gebrek. Uit het verleden is echter gebleken dat een nieuwe installatie of techniek veel tijd nodig heeft om een plekje op de markt te veroveren. In het begin zijn nieuwe technieken vaak duur en bestaan er onzekerheden over de eigenschappen ervan, zoals de levensduur en het rendement. Pas als deze zijn bewezen komt de invoer van de nieuwe installaties op gang, waardoor de kosten omlaag zullen gaan. Door de onzekerheden in nieuwe technieken worden deze nog niet meegenomen in dit onderzoek.

Om een eerlijke kostenvergelijking tussen de verschillende opties en de verschillende buurttypes te kunnen maken, is ervoor gekozen per techniek en isolatieniveau steeds voor dezelfde installatie te kiezen. De gekozen installaties zijn de meest gangbare of de installaties die overal toepasbaar zijn. In de volgende paragraaf worden deze keuzes toegelicht.

Zoals in de voorgaande paragraaf is toegelicht, is niet elke vraag-techniek-combinatie in iedere buurttype mogelijk. In de Tabel 7 wordt een overzicht gegeven van welke opties wel (groen) en niet (rood) per buurttype beschikbaar zijn in deze studie. Zo worden de opties met koude niet toegepast in de situaties waar geen koudevraag is bij woningen en wordt biomassaverbranding in openhaarden (zonder katalysator) niet toegepast in hoogstedelijke gebieden.

Inventarisatie bij stakeholders

Tijdens de stakeholdersbijeenkomst van 27 augustus 2014, hebben verschillende partijen die betrokken zijn bij de energietransitie, hun mening laten horen over onze opzet van het model en keuzes voor techniekopties. Er waren vooral bedenkingen bij de hoeveelheid biomassa en groen gas beschikbaar voor de gebouwde omgeving. Om dit te ondervangen, hebben wij de prijs van groen gas in het model laten variëren, gebaseerd op de totale benodigde hoeveelheid. Voor biomassa wordt ook gekeken of de totale benodigde hoeveelheid reëel is.

Een ander punt waar stakeholders over in discussie gingen, is de aanwezigheid van verschillende warmtebronnen. Dit is erg locatie afhankelijk, en daarom is besloten om in de standaard situatie niet uit te gaan van de aanwezigheid van een restwarmtebron. In de standaard situatie wordt alleen de mogelijkheid van het plaatsen van een wijk-WKK meegenomen.

Mijnwater BV zag in de techniekopties ook graag de bufferoptie voor warmteopslag terugkomen, zoals Mijnwater zelf toepast. Bufferopties zijn in dit onderzoek niet meegenomen, omdat deze enerzijds een tijdafhankelijk model vereisen en anderzijds niet een warmtebron zijn. Zij hebben primair een effect op de kosten en eventueel op efficiëntie bij de bron. Dit laatste valt buiten de scope van deze studie. En doordat deze bufferopties nog niet veel worden toegepast en nog in ontwikkeling zijn, is op dit moment nog weinig te zeggen over de kosten. Deze zouden op een later tijdstip nog aan het model kunnen worden toegevoegd. De gemeente Apeldoorn droeg de optie PCM (Phase Change Materials) aan als bufferopslag. Omdat deze optie echter nog niet ver in ontwikkeling is, en niet kan worden voorspeld hoe de ontwikkeling gaat lopen, wordt ook deze optie buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek.



Tabel 7 Overzicht van beschikbare technieken (groen) per besparingsniveau en buurttype

[illegible]

4.4 Uitgangspunten - De basissituatie

Om de diversiteit van de gebouwde omgeving enigszins werkbaar te maken is deze opgedeeld in vijftien typische buurten. Voor deze buurttypen is op drie besparingsniveaus en voor tien technische opties bepaald wat de kosten zijn over de gehele warmteketen. Dit leidt tot dertig uitkomsten per buurttype en 450 in totaal. Daarnaast bevatten de technische opties ook nog diverse subopties of alternatieven. Per buurttype wordt ook afzonderlijk gekeken naar het woningbouwgedeelte, het utiliteitsbouwgedeelte en de twee gedeelten samen. Om al deze opties behapbaar te maken/houden, is voor de berekeningen een zogenaamde *basissituatie* opgesteld, waarbij op basis van enkele uitgangspunten een startpunt voor de analyses is vastgesteld.

De uitgangspunten voor de basissituatie zijn:

- Per technische optie is de suboptie gekozen die overal in Nederland (in theorie) toegepast kan worden.
- Indien de warmtetechniek geen combi-functie heeft, is een passende optie voor de warmtapwaterbereiding gekozen die past bij de beschikbare energie-infrastructuur.
- Het toepassen van de *add-ons* zon-PV, warmteterugwinning en zonneboiler vindt plaats bij het oplopen van het besparingsniveau: bij beperkt geen toepassing, bij maximaal volledige toepassing. Bij utiliteitsgebouwen worden de add-ons voor warmtapwater (WTW en zonneboiler) niet toegepast.
- Indien een technische optie zowel warmte als koude produceert, kan deze alleen worden toegepast wanneer er zowel een warmte- als een koudevraag aanwezig is. Dit betekent dat deze opties *niet* van toepassing zijn voor de woningen met beperkte en ruime besparing, omdat hier geen koudevraag is. In het geval van utiliteit is er altijd een koeltechniek toegepast.
- De verbranding van vaste biomassa in haarden als hoofdwarmtebron leidt onder andere tot fijnstofemissies. In Nederland leiden deze emissies in de hoogstedelijke gebieden tot problemen en worden in de berekeningen dan ook niet meegenomen als opties voor deze gebieden (alle buurttypen met een stedelijkheidsfactor van 1-3). Dit geldt niet voor houtkachel CV's die zijn voorzien van een katalysator voor de reductie van deze emissies.
- Wanneer wordt gekeken naar gezamenlijke resultaten van zowel woningbouw als utiliteit, wordt er voor elke buurt één type energie-infrastructuur gekozen voor de warmte: gasnet, warmtenet, elektriciteitsnet of geen infrastructuur (in geval van vaste biomassa). Deze infrastructuur geldt dan zowel voor de woningen als de utiliteit. In het geval utiliteit buiten beschouwing wordt gelaten, geldt dit niet.

Op basis van deze uitgangspunten zijn de keuzes gemaakt voor de basissituatie, zoals die in de Bijlage B wordt weergegeven.

5 Stakeholders

Verschillende partijen krijgen de komende decennia te maken met de energietransitie in de gebouwde omgeving. Het is voor deze betrokken partijen lastig om ervoor te zorgen dat deze energietransitie op gang komt. In dit hoofdstuk worden de betrokken partijen beschreven en de rol die zij hebben in het klimaatneutraal maken van de gebouwde omgeving. Daarnaast wordt beschreven welke informatiewens ze hebben en hoe deze studie invulling geeft aan deze wens. Ook wordt geschetst hoe de partijen de energietransitie op gang moeten krijgen.

5.1 Wie zijn de betrokken partijen?

In deze paragraaf worden die verschillende stakeholders benoemd met daarbij hun rol in de energietransitie.

Ministeries

De Rijksoverheid en haar ministeries hebben de taak om de landelijke doelstelling uit het energieakkoord voor duurzame groei (SER, 2013), een energievoorziening die in 2050 volledig klimaatneutraal is, te behalen. De gemeenten zijn degene die deze doelstelling op lokaal niveau moeten gaan behalen, maar de landelijke overheid kan voor impulsen zorgen.

Gemeenten

De gemeenten hebben een grote rol in de energietransitie van de gebouwde omgeving. Enerzijds omdat zij het overheidsorgaan zijn dat het dichtste bij de eindgebruikers zit en directe beleidskeuzes voor de gebouwde omgeving maakt. Anderzijds omdat zij, via de VNG, zich gecommitteerd hebben aan de klimaatneutrale doelstellingen van het SER-energieakkoord.

Netbeheerders

Netbeheerders zijn verantwoordelijk voor de aanleg en het onderhoud van energienetwerken. Op dit moment gaat dit vaak alleen om elektriciteits- en gasnetten, maar in de toekomst naar klimaatneutraal, kan dit veranderen. Gasnetten zullen niet vanzelfsprekend meer zijn, doordat alternatieven ook mogelijk worden. Het kan ook zijn dat elektriciteitsleidingen groter moeten worden uitgevoerd, omdat de enige vorm van energie nog elektriciteit is in bepaalde buurten.

Woningcorporaties

Woningcorporaties bezitten grote hoeveelheden gebouwen. Zij zijn verantwoordelijk voor de installaties in deze gebouwen en beslissen over de te nemen gebouwmaatregelen. Daarnaast kunnen ze kiezen voor alternatieve opties voor de verwarming van gebouwen, zoals collectieve warmteopties in plaats van individuele gasaansluitingen. Tevens hebben corporaties zich middels convenanten en afspraken gecommitteerd aan energiebesparing in en kwaliteitsverbetering van hun bouwvoorraad.



Huiseigenaren

Huiseigenaren nemen zelf beslissingen over de installaties in hun huis en de gebouwmaatregelen. Zij zijn degene die hierin moeten investeren en hebben ook de baten bij eventuele besparingen en eigen energieopwekking. Huiseigenaren hebben ook te maken met een eventuele buurtkeuze voor een ander type energievoorziening, omdat daardoor bij hun thuis aanpassingen moeten worden gedaan en het comfortniveau kan veranderen door andere installaties of andere energiedragers.

Huurders

Huurders dragen niet zelf de investeringskosten van gebouwmaatregelen en installaties. Wel hebben keuzes van de verhuurders invloed op hun energieverbruik en comfort.

Bouwkolom

Hoewel de bouw- en installatiepartijen in Nederland geen direct belang hebben bij de transitie van de gebouwde omgeving, zijn zij wel een essentiële stakeholders in het realiseren daarvan. Deze partijen moeten het daadwerkelijke werk uitvoeren en het is dan ook noodzakelijk dat deze partijen tijdig 'klaar' zijn voor deze taak. Dit betekent dat zij actief moeten participeren in het nadenken over de transitie, zorgen dat het kennisniveau binnen de organisatie op peil is en dat er uiteindelijk ook de handen beschikbaar zijn om het werk ook echt uit te voeren. Het onder handen nemen van 8,5 miljoen gebouwen in 35 jaar betekent jaarlijks 250.000 woningen renoveren en verbeteren. Dit is een zeer grote uitdaging voor een sector die de afgelopen decennia vooral gericht was op nieuwbouw en veel minder op het verbeteren van de bestaande bouw.

Om een beter beeld te krijgen van de wensen van de stakeholders, hebben we ze op meerdere momenten bij de studie betrokken. Zo is er een web-enquête uitgestuurd om te inventariseren welke informatie ze graag terug zien komen in de rapportage. Dit gaat enerzijds om de manier waarop de warmtevraag ingevuld kan worden. Is hierbij vooral de technische mogelijkheid belangrijk, moet er gefocust worden op de financiële haalbaarheid of de grootste milieuwinst? Daarnaast vroegen we ze wat voor type uitkomsten voor hun interessant zouden zijn.

Er is ook een stakeholdersbijeenkomst gehouden die als doel had meer duidelijkheid te krijgen over het nut van de studie voor de betrokken partijen. Hoe zouden zij deze het best kunnen gebruiken? Waar zitten de problemen bij het uitvoeren van de resultaten en hoe kunnen wij de stakeholders daar het beste over adviseren?

De netbeheerders en corporaties, als belangrijke partijen in de transitie van de warmtevoorziening, zijn extra benaderd voor het geven van enkele interviews.

In Paragraaf 5.2 wordt een kort overzicht gegeven van de verschillende manieren waarop de stakeholders zijn betrokken bij dit onderzoek.



5.2 Wat is de informatiewens van betrokken partijen?

Algemeen

Er is veel informatie nodig voor betrokken partijen om te kunnen beslissen wat in welk gebied de beste klimaatneutrale optie is. Op dit moment is deze informatie onvoldoende voorhanden, waardoor de energietransitie maar langzaam op gang komt. Er zijn te veel obstakels voor partijen die veranderingen zouden kunnen doorvoeren. Partijen willen weten wat voor opties er zijn, maar vooral welke optie het beste aansluit bij het gebied waar zij in opereren. Naast de technische mogelijkheid gaat het daarbij vooral om de financieel meest aantrekkelijke optie. Daarnaast is het van belang dat duidelijk is welke partijen invloed hebben op deze keuze en hoe deze partijen er samen voor kunnen zorgen dat de klimaatneutrale opties gerealiseerd worden.

Daarbij heeft elke partij haar eigen belang. Bij netbeheerders gaat het om het behalen van een maximale winst, die voortvloeit uit kosten die bewoners betalen. Bewoners willen juist zo min mogelijk betalen, maar wel de zekerheid hebben dat ze op elk moment beschikken over elektriciteit en warmte. Gemeenten hebben dit laatste belang gemeen met bewoners, maar hebben ook hun doelstellingen op het gebied van duurzaamheid die behaald moeten worden.

Naast verschillende belangen, kijkt elke partij op een ander schaalniveau naar dit vraagstuk. Zo kijkt een woningcorporatie op gebouwniveau en kijkt een gemeente op gemeentelijk niveau. Door deze verschillende schaalniveaus is het lastiger om een gezamenlijk plan op te zetten.

Ook verschilt het moment waarop de partijen vernieuwingen willen doorvoeren. Voor netbeheerders is het ideale moment voor aanpassingen in de infrastructuur het moment dat leidingen hun technische levensduur hebben bereikt en vervangen moeten worden. De woningcorporatie kijkt wanneer hun panden onderhoud nodig hebben en bewoners voeren graag veranderingen door op het moment van een verhuizing.

Qua zichthorizon zijn er ook verschillen waarneembaar. Terugverdiertijden zijn voor veel partijen een belangrijke maatstaf voor het eventueel doorvoeren van veranderingen. De ideale terugverdiertijden verschillen echter wel per partij. De gemeente kijkt vaak verder, omdat zij haar langetermijn-doelstellingen op klimaatgebied wil behalen.

Elke betrokken partij heeft dus haar eigen belang, schaalniveau, ideale moment van vervanging en zichthorizon. Al deze verschillende voorkeuren moeten op de een of andere manier worden verenigd om tot het doorvoeren van grootschalige veranderingen te kunnen komen. Hiervoor is een goede informatievoorziening en structuur nodig. Deze ontbreekt nu nog, waardoor het heel lastig is om de doelstellingen uit het Nederlandse energie- en klimaatbeleid te halen.

Uitkomsten stakeholderconsultatie

Uit de web-enquête, gehouden onder stakeholders, komt naar voren dat ze vooral behoefte hebben aan beleidsinstrumenten om het eindbeeld in 2050 te kunnen realiseren. Daarnaast vinden ze het belangrijk om inzicht te hebben in de financieringsbehoefte ten behoeve van de realisatie van het eindbeeld en denken ze dat het een meerwaarde heeft om te weten wat de verdeling van kosten en baten zal zijn bij het eindbeeld in 2050 (zie Bijlage D).

Tijdens de stakeholdersbijeenkomst spreken meerdere partijen twijfels uit over de beschikbare hoeveelheid groen gas. Zij zouden graag zien dat wij in het onderzoek meenemen dat de prijs van groen gas stijgt naarmate de benodigde hoeveelheid oploopt. Ook hebben de stakeholders het idee dat hoewel buurtniveau een aardige insteek is, er toch voor elke specifieke buurt



in Nederland apart moet worden gekeken of de uitkomsten van toepassing zijn op hun buurt. Wat ook als belangrijk wordt ervaren is dat er een goed beeld moet ontstaan van wie-wanneer-wat moet doen (zie Bijlage D).

5.3 Hoe geeft deze studie invulling aan deze informatiewens?

Zoals in Hoofdstuk 3 is beschreven, is Nederland in deze studie opgedeeld in vijftien verschillende buurttypen. Dit is gebeurd aan de hand van het bouwjaar, het type bebouwing, de functie van de bebouwing en de bebouwingsdichtheid. Deze buurteigenschappen zijn belangrijk voor het bepalen van de meest geschikte energie-infrastructuur, energiedragers en technieken voor een klimaatneutrale warmtevoorziening.

Per buurttype wordt berekend wat de goedkoopste klimaatneutrale energiedrager is in combinatie met welke techniek. Daarnaast wordt duidelijk in hoeverre de energetische schil verder moet worden geïsoleerd om op zo laag mogelijke kosten uit te komen.

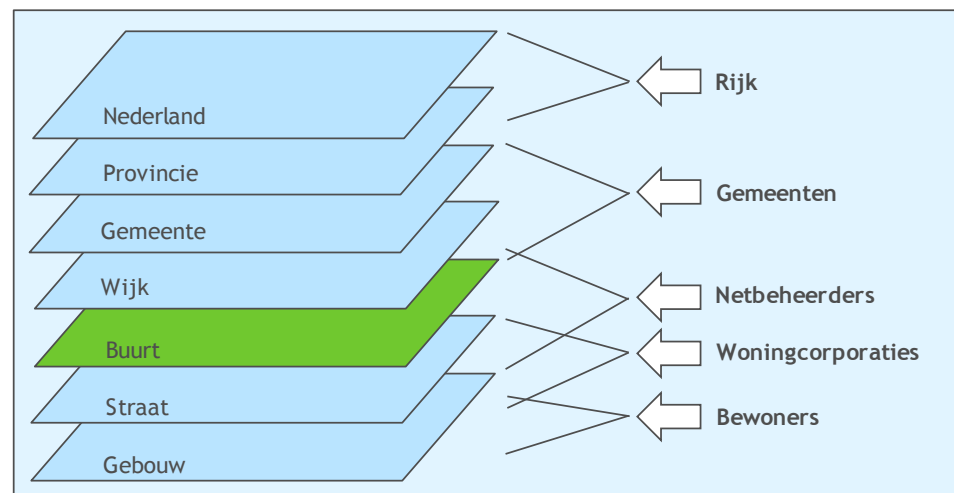
Uiteindelijk krijg je hiermee inzicht in de hoogte van de jaarlijkse kosten per woning bij het doorvoeren van de verschillende opties. Hierbij geven we ook een eindbeeld weer van de totale kosten per buurttype en van heel Nederland, wanneer alle aangeraden vraag-techniekcombinaties worden doorgevoerd. Bij dit kostenplaatje is ook te zien wie de investeringskosten draagt van de verschillende posten.

Om het verschil in beschikbare opties per buurt mee te nemen, worden er gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Daarnaast worden er ook gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor de prijs van groen gas. Wat gebeurt er als deze significant stijgt? Wat als deze op hetzelfde niveau blijft?

5.4 Toepassing op verschillende schaalniveaus

Elke stakeholder neemt beslissingen op een ander schaalniveau. Zo kijkt de gemeente vaak op wijk- of buurniveau, richt de netbeheerder zich op een gebied dat is aangesloten op eenzelfde onderstation en kijkt een corporatie naar een specifiek gebouw of rijtje huizen dat zij in haar bezit heeft. Daarnaast heb je ook nog de particuliere verhuurders en huurders van woningen en overige panden, die op gebouwniveau kijken.

Figuur 13 Stakeholders kijken op verschillende schaalniveaus



In deze studie is uiteindelijk gekozen om oplossingen te zoeken op buurt-niveau. Dit niveau valt voor de meeste betrokken stakeholders binnen de scope en biedt tegelijkertijd goede mogelijkheden om een grote diversiteit van individuele én collectieve oplossingsrichtingen in kaart te brengen. Hierdoor geeft deze studie de diverse stakeholders handvatten om gezamenlijk te kijken naar de beste oplossing voor een gebied. Het gekozen niveau van de 'buurt' ligt tussen de diverse niveaus die worden gehanteerd bij de stakeholders en biedt daarmee zowel naar grotere als kleinere schaal de mogelijkheid om specifieke oplossingen te bedenken.



6 Resultaten woningbouw

In de voorgaande hoofdstukken is Nederland opgedeeld in vijftien typische buurten. Voor elke buurttype is het energieverbruik berekend en is bekeken welke technische opties er zijn voor een klimaatneutrale warmtevoorziening. Om nu te bepalen wat de ‘beste’ optie per buurttype is, is een model opgesteld waarmee de kosten van de hele keten van de warmtevoorziening zijn berekend (zie Bijlage C).

In dit model kunnen de uitkomsten worden bekeken voor enkel de woningbouw, maar ook voor het gehele gebied, waarbij ook de utiliteitsbouw wordt meegenomen. In dit hoofdstuk worden de resultaten getoond voor alleen de woningbouw. Dit wordt zowel gedaan voor kosten per woning, alsook voor hoeveelheden energie en kosten voor alle woningbouw per buurttype. In 0 worden de uitkomsten weergegeven als naar de gehele gebouwde omgeving wordt gekeken.

Om de uitkomsten van dit model juist te interpreteren, is een aantal stappen nodig om dit inzichtelijk te maken. In dit hoofdstuk worden die stappen gezet. Dit zijn:

- Wat is de uitkomst als het aardgas 1-op-1 wordt vervangen door groen gas?
- Wat is de uitkomst als belemmerende restricties voor groen gas worden meegenomen?
- Wanneer worden de alternatieve warmteopties interessant?
- Wat is de uitkomst als er gunstige omstandigheden zijn voor de alternatieven?
- Waar blijft (groen) gas het langste de ‘beste’ energiebron?

6.1 Aardgas wordt groen gas

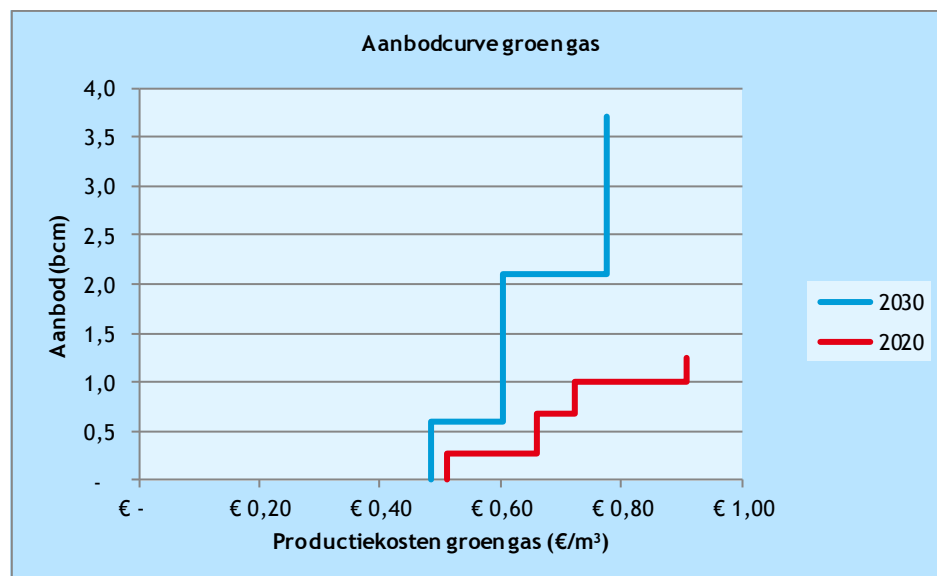
De makkelijkste optie voor het klimaatneutraal maken van de woningen is het 1-op-1 vervangen van aardgas door groen gas. Door deze hernieuwbare en CO₂-vrije energiebron te gebruiken, in plaats van aardgas, zijn minimale aanpassingen nodig aan de infrastructuur en installaties. Daarnaast biedt het de mogelijkheid om recente innovaties als de micro-WKK (Stirling of brandstofcel), gaswarmtepomp of hybride HR/warmtepomp toe te passen. En omdat deze technieken een verwachte levensduur van 15-20 jaar hebben, worden hiervan tot 2050 nog enkele generaties toegepast en kunnen eventuele veranderingen in de samenstelling van het gas (tijdens de overgang van 100% aardgas naar 100% groen gas) geleidelijk worden ondervangen.

Hoewel deze transitie naar groen gas ogenschijnlijk eenvoudig lijkt, liggen de kosten van de productie van groen gas wel aanzienlijk hoger dan voor aardgas. Bij een stijgende vraag naar groen gas stijgen de productiekosten, naarmate duurdere grondstoffen nodig zijn voor de productie van het benodigde gas. Op dit moment liggen de productiekosten tussen de 0,60-1,05 €/m³, afhankelijk van de techniek (ECN, 2013). Voor deze studie is een bedrag van € 0,75 per m³ aangehouden. Door een directe substitutie van aardgas, leidt het gebruik van groen gas dus ook tot een stijging van de totale kosten van de warmtevoorziening. De volgende figuren geven dit weer (Figuur 15 en Figuur 16). Ter indicatie is in Figuur 14 een aanbodcurve weergegeven van groen gas en de kostenniveaus die daar bij horen. Voor de toekomst worden



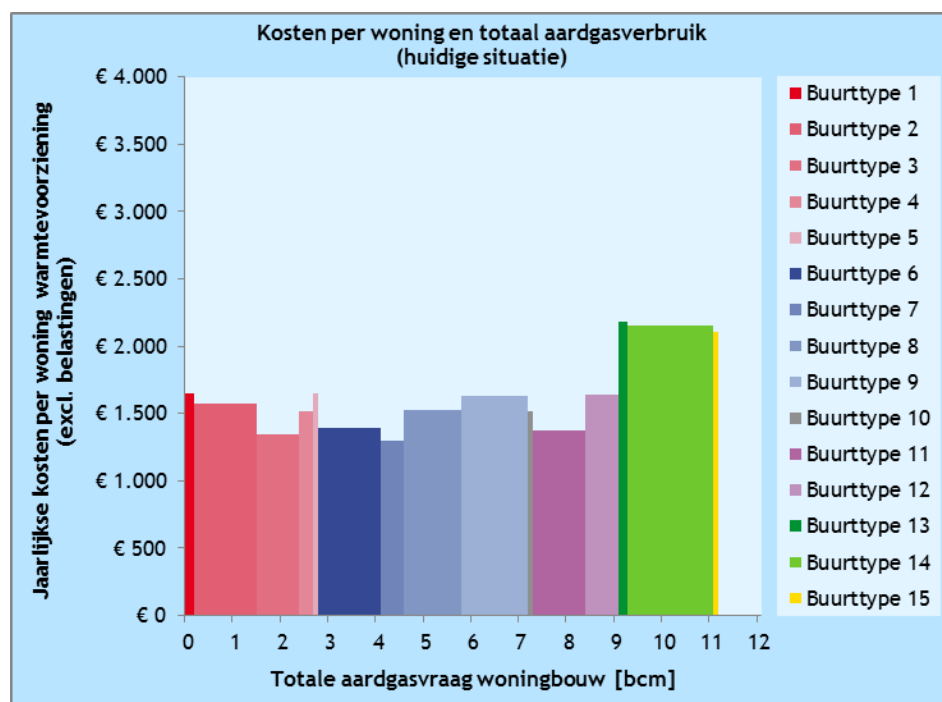
weliswaar kostendalingen verwacht, maar naar mate de gevraagde hoeveelheden groter worden, nemen ook de kosten toen.

Figuur 14 Aanbodcurve groen gas (exclusief belastingen)

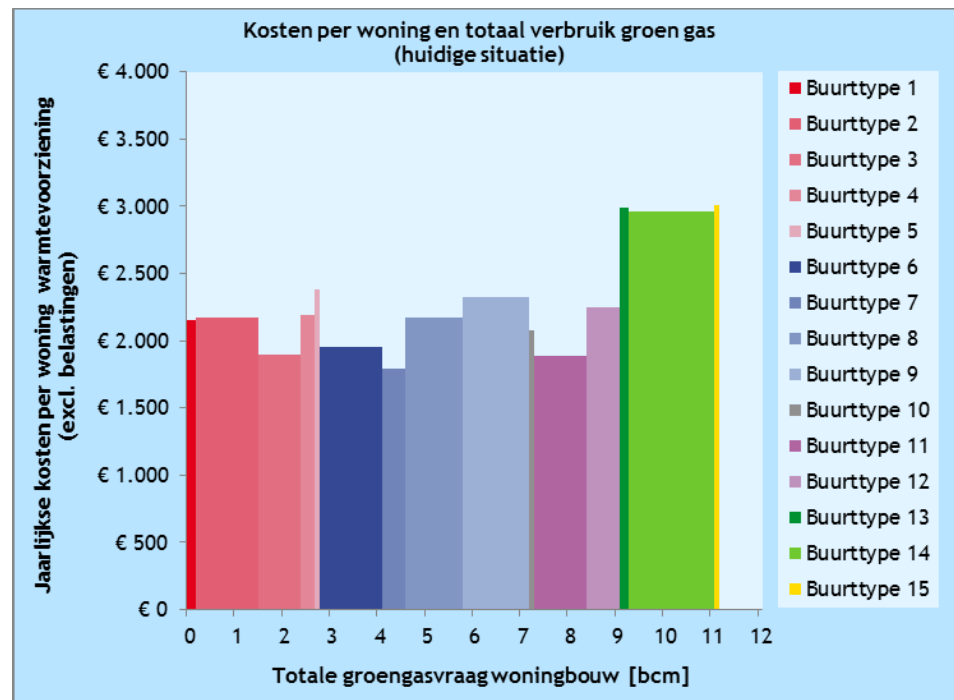


Opmerking: Afgeleid van de ORT-berekeningen van biogas, gegeven aannames voor rendementen (Groen Gas Forum, 2014)

Figuur 15 Huidige kosten warmtevoorziening per woning en totaal aardgasverbruik per buurttype



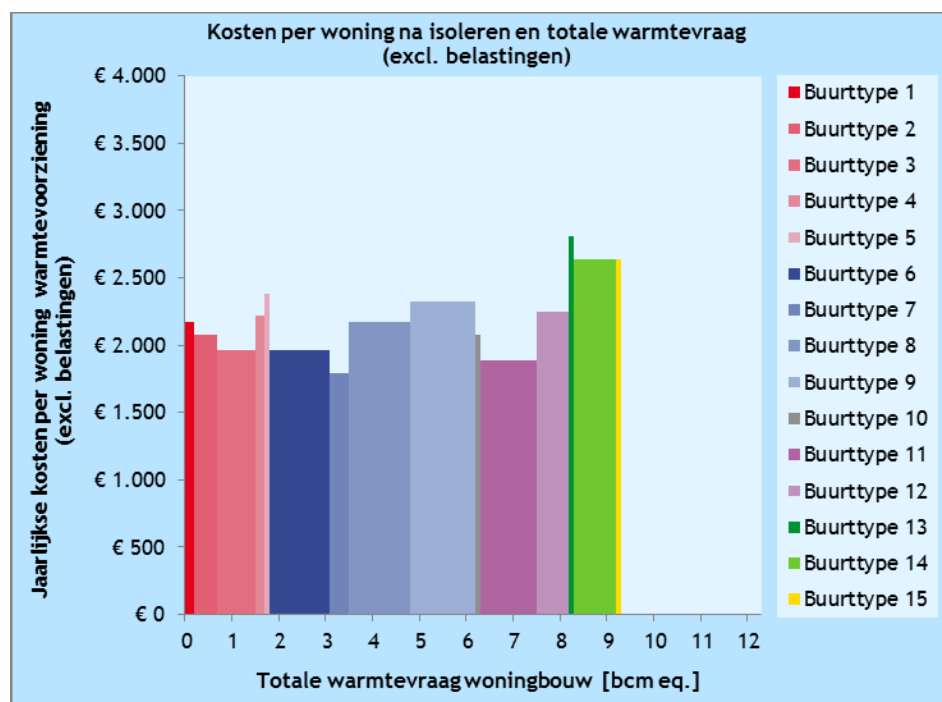
Figuur 16 Kosten warmtevoorziening per woning bij substitutie naar groen gas (€ 0,75 per m³)



Deze stijgende kosten hebben als eerste-orde-effect dat er rendabele besparing plaats gaat vinden. Hierdoor daalt de totale vraag naar gas. Bij de meest rendabele besparingsmaatregelen betekent dit dat het huidige groengasverbruik van 11 bcm naar 8 bcm daalt en dat in buurtypen 14 en 15 het groene gas door elektriciteit wordt vervangen, waardoor de totale warmtevraag op 9 bcm equivalenten komt. In Figuur 17 is de reductie in warmtevraag te zien. De figuur laat ook zien dat bij hogere kosten voor groen gas, rendabele besparingsmaatregelen worden getroffen, zodat de totale kosten in de keten lager zijn.

Een tweede-orde-effect is dat alternatieven interessanter worden naarmate de groengasopties duurder worden. Deze alternatieven vereisen vergeleken met de gas-opties hogere investeringen, maar kennen lagere exploitatiekosten. Daarnaast speelt de beschikbaarheid van groen gas een belangrijke rol. Nederland heeft zelf maar een beperkte capaciteit voor de productie en zal bij een grote vraag dus sterk afhankelijk zijn van de wereldmarkt, waar de beschikbaarheid ook niet eindeloos is. Er mag dan ook aangenomen worden dat naarmate de vraag naar groen gas hoger is, de prijs daarvan ook stijgt.

Figuur 17 Kosten per woning na isoleren en totale warmtevraag in bcm equivalenten



Variaties op de basissituatie

In deze *basissituatie* wordt gerekend met een HR-ketel, maar variaties met andere individuele technieken zijn ook mogelijk. Dit leidt echter niet altijd tot een verbetering van de situatie. Zo leidt het toepassen van een brandstofcel-WKK weliswaar tot meer energiebesparing (hogere investeringskosten, waardoor meer isoleren rendabel wordt), maar stijgt de vraag naar groen gas harder dan er bespaard wordt, door het lagere thermische rendement van de brandstofcel. En hoewel er door de brandstofcel een grote hoeveelheid elektriciteit wordt geproduceerd, weegt dit niet op tegen de hogere kosten van het groen gas⁵. Het toepassen van een brandstofcel voor gezamenlijke productie van warmte en kracht is weliswaar energetisch het gunstigst, maar het is financieel steeds minder interessant, doordat de kosten van aard- of groen gas en elektriciteit steeds verder uit elkaar gaan lopen. Een mogelijke uitzondering hierop is het combineren van buurten met WKK-opties met buurten met all electric-opties, waarbij de ene buurt de andere buurt van elektriciteit voorziet. Dit is echter niet met het huidige model te bepalen.

6.2 Belemmerende factoren

Uit diverse studies blijkt dat het potentieel voor de productie van groen gas in Nederland en de wereld beperkt is. In de Routekaart hernieuwbaar gas (Groen Gas Forum, 2014) wordt de potentiële, nationale productie geschat op 2,2 bcm groen gas in 2030. Aangezien de woningbouw niet de enige sector is die een claim legt op het beschikbare groengasaanbod, wordt in deze studie aangenomen dat ongeveer 1 bcm beschikbaar is voor gebruik in huishoudens. Figuur 17 in de voorgaande paragraaf laat zien wat de vraag naar groen gas is bij het kiezen van de financieel meest rendabele opties, uitgaande van een

⁵ De groen gaskosten in €/GJ liggen hoger dan die van elektriciteit, dus op iedere geproduceerde kWh wordt 'verlies' geleden.

prijsniveau van 0,75 €/m³. Dit komt neer op een hoeveelheid van 8 bcm voor enkel de warmtevraag van de woningbouw (totale warmtevraag exclusief de buurttypen die all electric 'zijn geworden'). Dit is aanzienlijk meer dan het berekende potentieel voor Nederland. Daarnaast zou voor de warmtevraag van de utiliteit eveneens een grote hoeveelheid groen gas nodig zijn.

Het potentieel is in belangrijke mate aanbod gestuurd en wordt vooral bepaald door de beschikbaarheid van geschikte grondstoffen. Dit leidt er toe dat de kosten nog verder zullen toenemen. Een alternatief kan de import van groen gas zijn.

Aan de hand van het technisch potentieel van 1 bcm voor de woningenbouw (en 1 bcm voor de warmtevraag in de utiliteitsbouw), wordt in de volgende paragrafen bepaald voor welke prijs van groen gas er een markt is in Nederland en wanneer alternatieven interessant(er) worden.

6.3 Interessante alternatieven

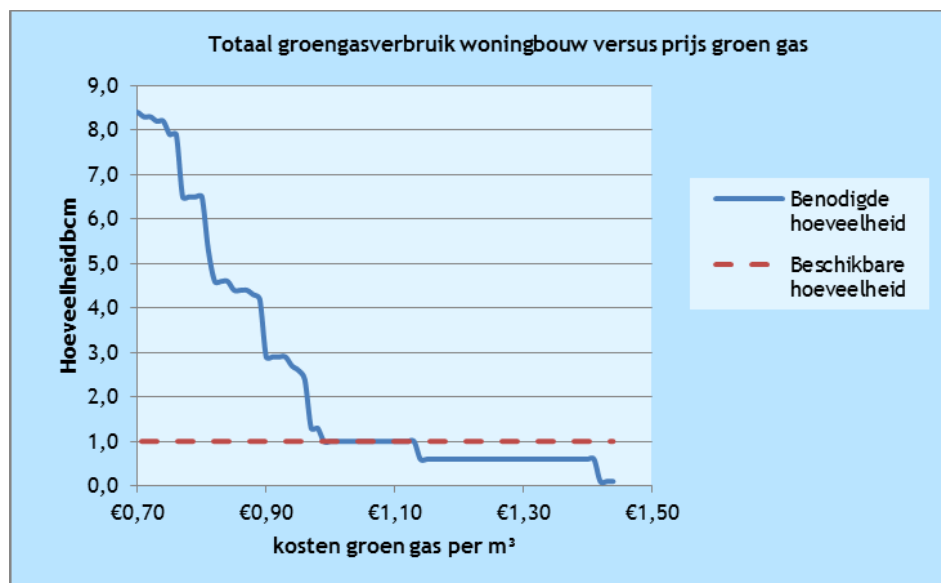
Door een stijgende prijs van groen gas worden alternatieven interessanter. In deze studie is berekend wat de kosten per woning zijn van alle opties en voor de totale woning- en utiliteitsbouw. Er is bepaald bij welke prijs van groen gas de totale kosten van deze alternatieve opties lager worden dan de groen gas-optie. Echter, aangezien het overstappen naar een nieuwe energievoorziening met veel onzekerheden gepaard gaat (en gegeven de bandbreedtes in de berekeningen), moet een alternatieve optie wel significante meerwaarde bieden ten opzichte van de huidige situatie, wil de optie worden ingevoerd. De alternatieve optie moet dus als het ware eerst een drempelwaarde over, voordat deze daadwerkelijk 'beter' is dan de groen gas-optie⁶.

Uit de voorgaande paragraaf leren we dat groen gas, bij een prijs van 0,75 €/m³ (exclusief belastingen), bij de meeste buurttypen de voorkeursoptie is wanneer alleen wordt gekeken naar de woningenbouw. Enkel voor buurttypen 14 en 15 is all electric goedkoper. In de meeste gevallen geldt dus dat de kosten van alternatieven hoger zijn of niet over de drempelwaarde van € 100,00 goedkoper per woning komen. Dit leidt echter wel tot een vraag die vele malen hoger is dan het technische potentieel voor de productie van groen gas in Nederland. Met het model kan nu inzichtelijk worden gemaakt bij welk prijsniveau de vraag en het aanbod in balans zijn. Figuur 18 laat het verloop van de prijs en de vraag naar groen gas zien. Hieruit komt naar voren dat bij een kostprijs van 1,10 €/m³ (exclusief belastingen) de vraag naar groen gas vanuit de woningbouw rond het technisch potentieel van 1 bcm uitkomt.

⁶ In deze studie is aangenomen dat de jaarkosten per woning minimaal €100,00 lager moeten zijn, wil de optie aantrekkelijk worden. Hiermee wordt tevens gecorrigeerd voor eventuele onzekerheden in de berekeningen en de verschillen tussen de berekende en werkelijke gebruiken.



Figuur 18 Verloop vraag groen gas per prijsniveau

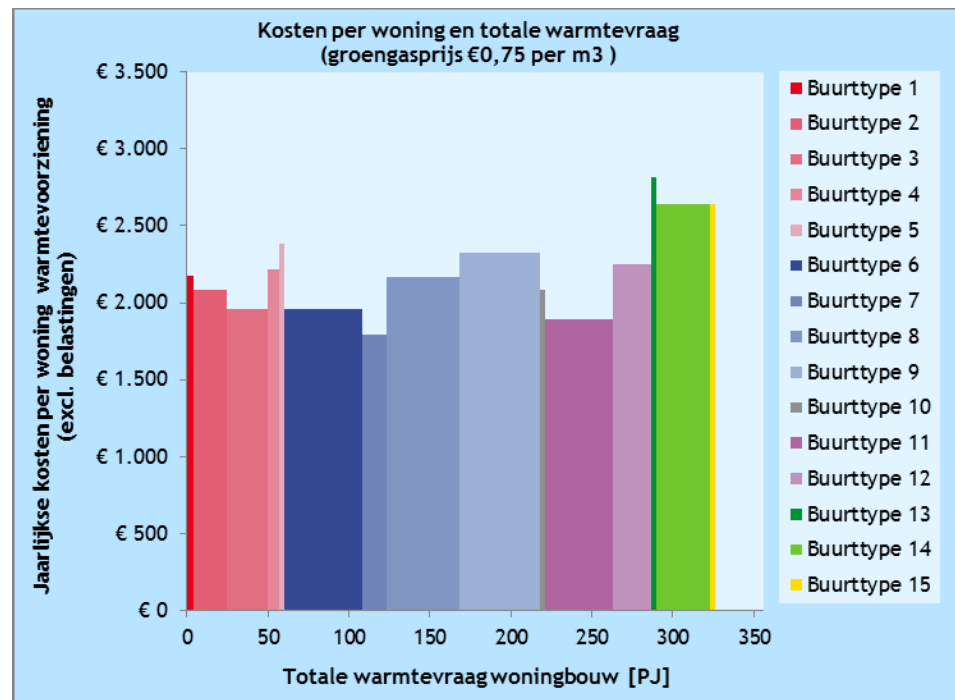


Het naar beneden brengen van het verbruik van groen gas, wordt enerzijds bereikt door aanvullende besparingen (door de hogere kosten) en anderzijds door substitutie naar alternatieven.

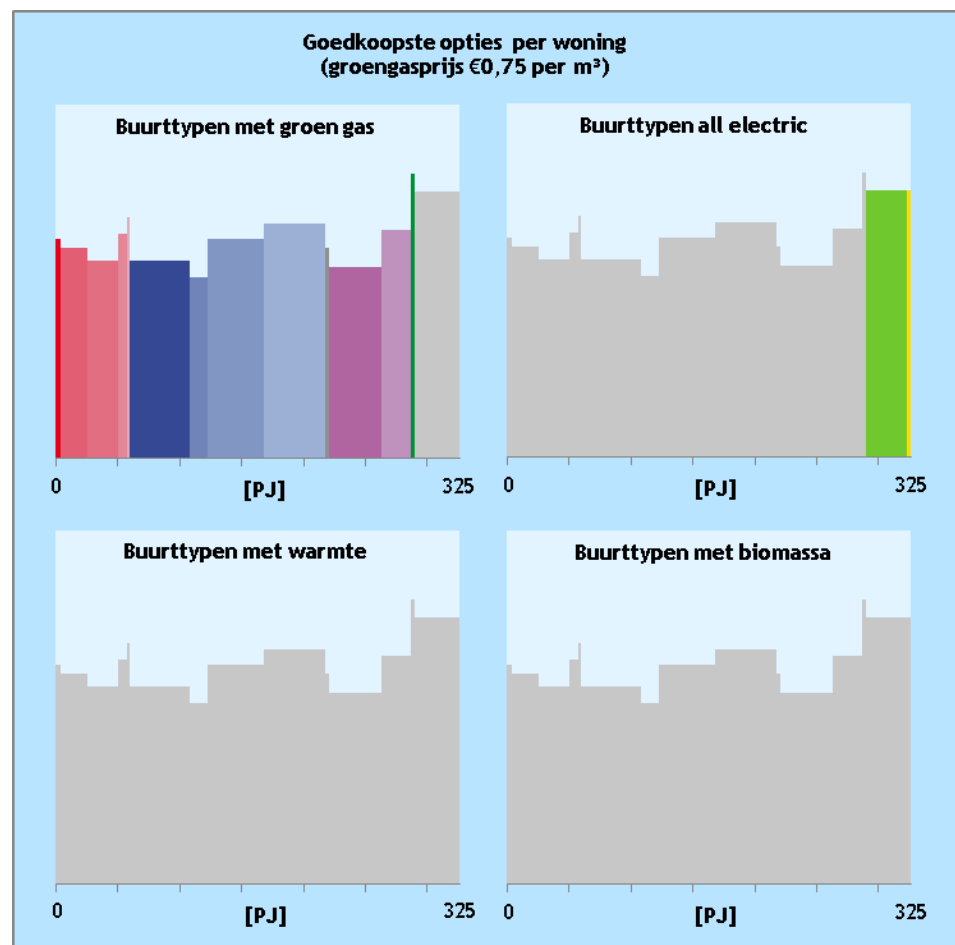
Allereerst worden de grafieken getoond van de situatie waar groen gas € 0,75 per m³ kost (Figuur 19 en Figuur 20). Dit zijn dezelfde uitkomsten als die eerder dit hoofdstuk zijn weergegeven, maar dan met de warmtevraag weergegeven in PJ. Zo kan de warmtevraag die wordt ingevuld door de verschillende energiedragers beter met elkaar worden vergeleken.

Figuur 19 geeft informatie over de kosten per woning en de warmtevraag per buurttype. Figuur 20 laat zien welke energiedragers in welk gebied de goedkoopste opties zijn. De twee grafieken worden gevolgd door een afbeelding waarin de verdeling van energiedragers in heel Nederland wordt weergegeven.

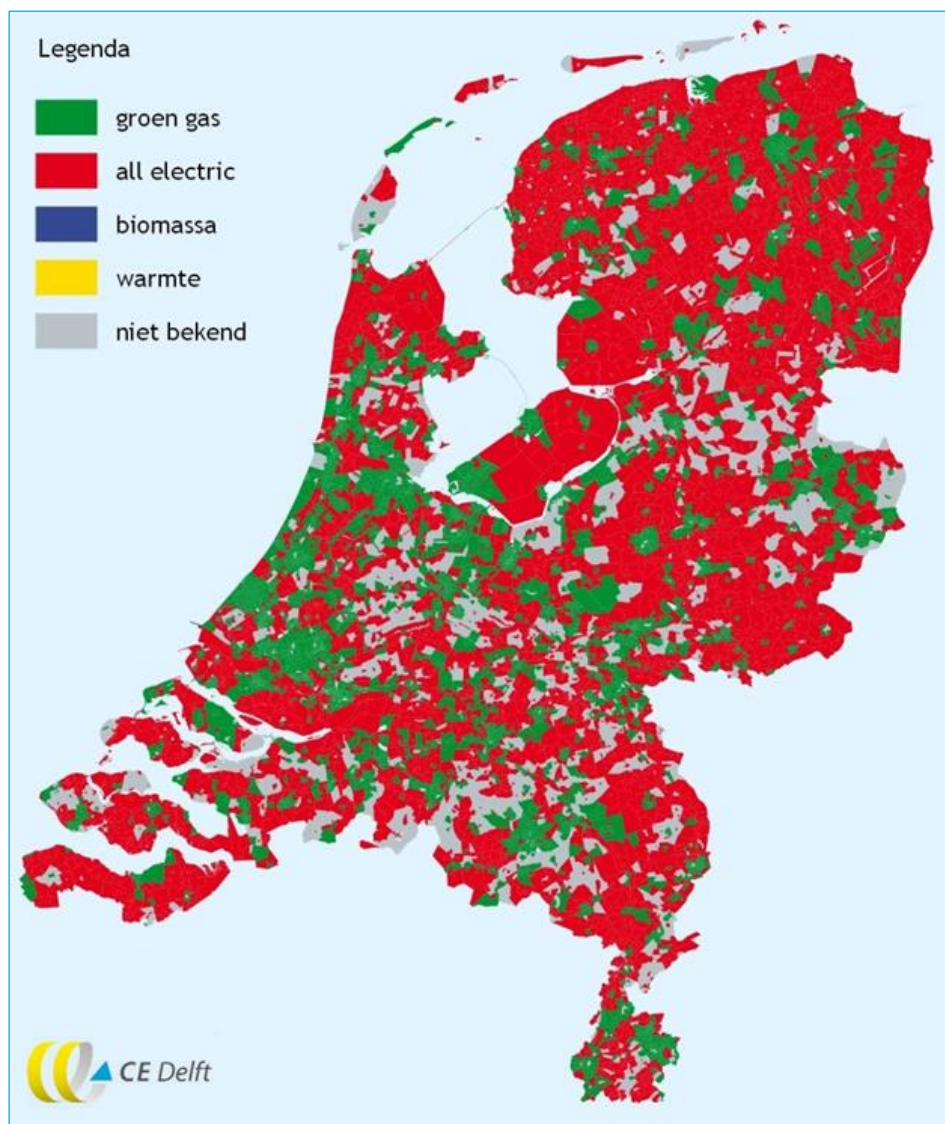
Figuur 19 Kosten per woning na isoleren en totale warmtevraag in PJ (groengasprijs € 0,75 per m³)



Figuur 20 Financieel meest voordelige energiedragers voor de woningbouw per buurttype (groengasprijs van € 0,75 per m³)

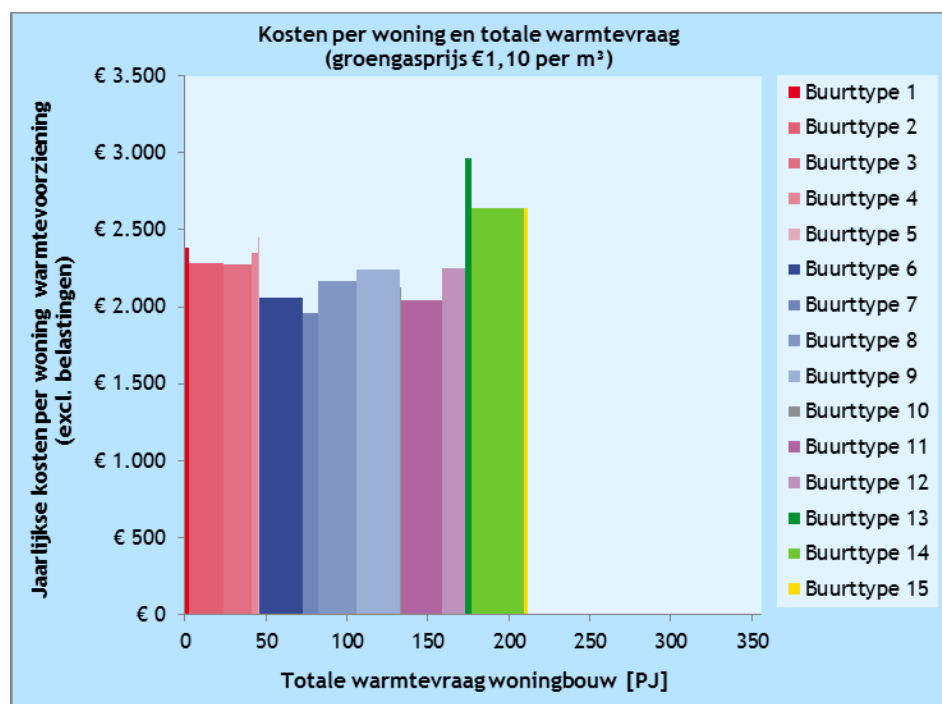


Figuur 21 Verdeling energiedragers woningbouw over heel Nederland (groengasprijs van € 0,75 per m³)

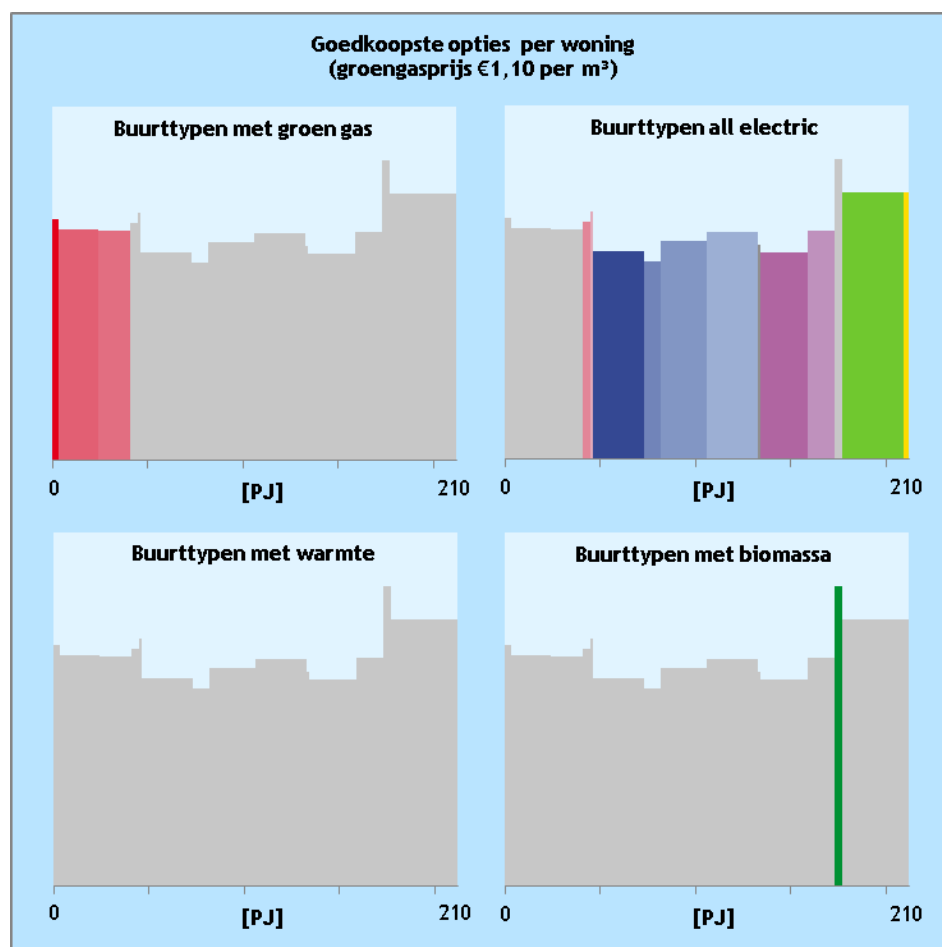


In Figuur 22 en Figuur 23 wordt weergegeven wat de effecten zijn van de verhoging van de groengasprijs, doordat de vraag het aanbod overstijgt. Duidelijk is te zien, dat groen gas in bepaalde gebieden aanwezig blijft, maar dat met name de all electric-optie en ook vaste biomassa in de andere buurttypen goedkoper worden.

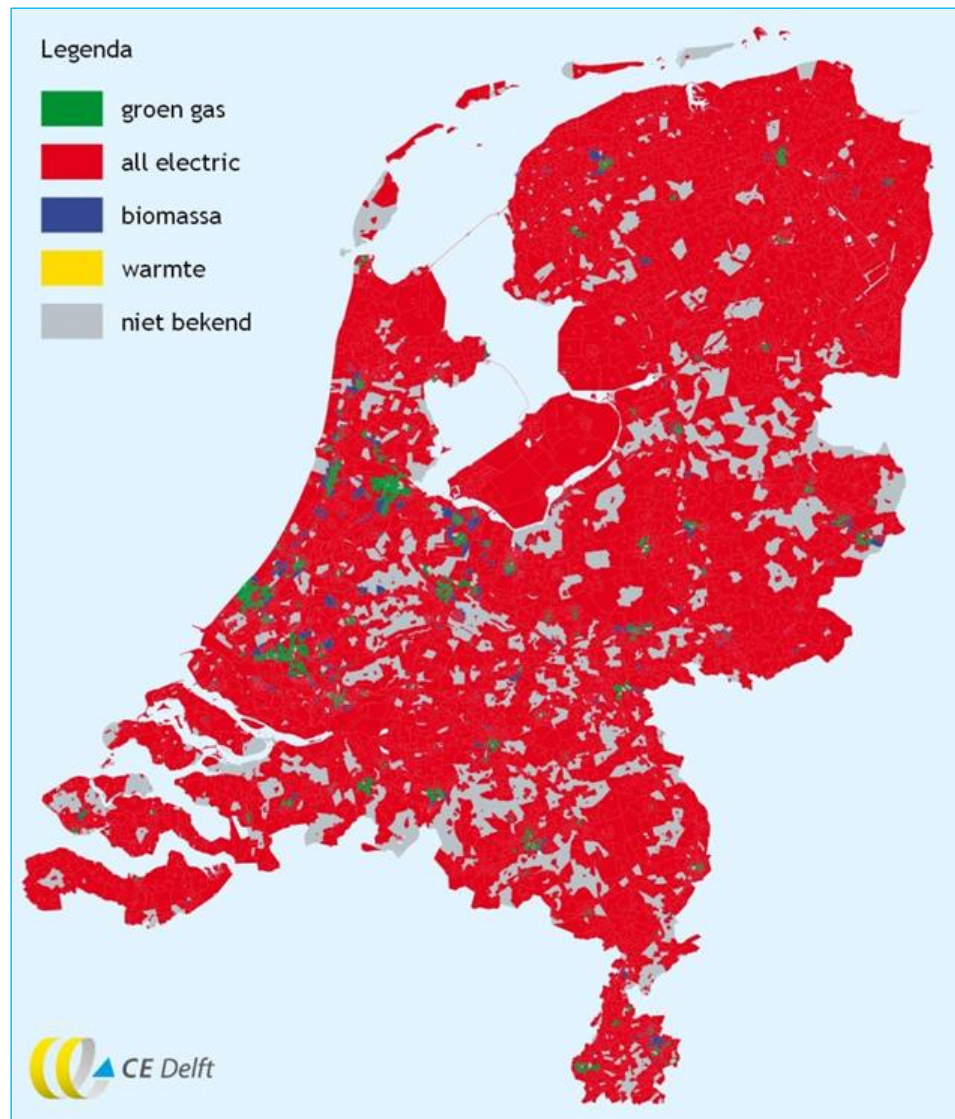
Figuur 22 Kosten per woning na isoleren en totale warmtevraag in PJ (groengasprijs € 1,10 per m³)



Figuur 23 Financieel meest voordelige energiedragers voor de woningbouw per buurttype (groengasprijs van € 1,10 per m³)



Figuur 24 Verdeling energiedragers woningbouw over heel Nederland (groengasprijs van € 1,10 per m³)



6.4 Kansrijke omstandigheden voor alternatieven

In de voorgaande berekeningen is per buurttype uitgegaan van de zogenaamde basissituatie voor de instellingen/parameters in de modelberekening. Dit betekent dat de berekeningen zijn uitgevoerd met instellingen die voor iedere buurt in Nederland mogelijk zijn. Dit is met name een relevante keuze voor de collectieve warmteopties. In de basissituatie wordt gerekend met een wijk-WKK op groen gas, omdat deze optie zo goed als overal toepasbaar is.

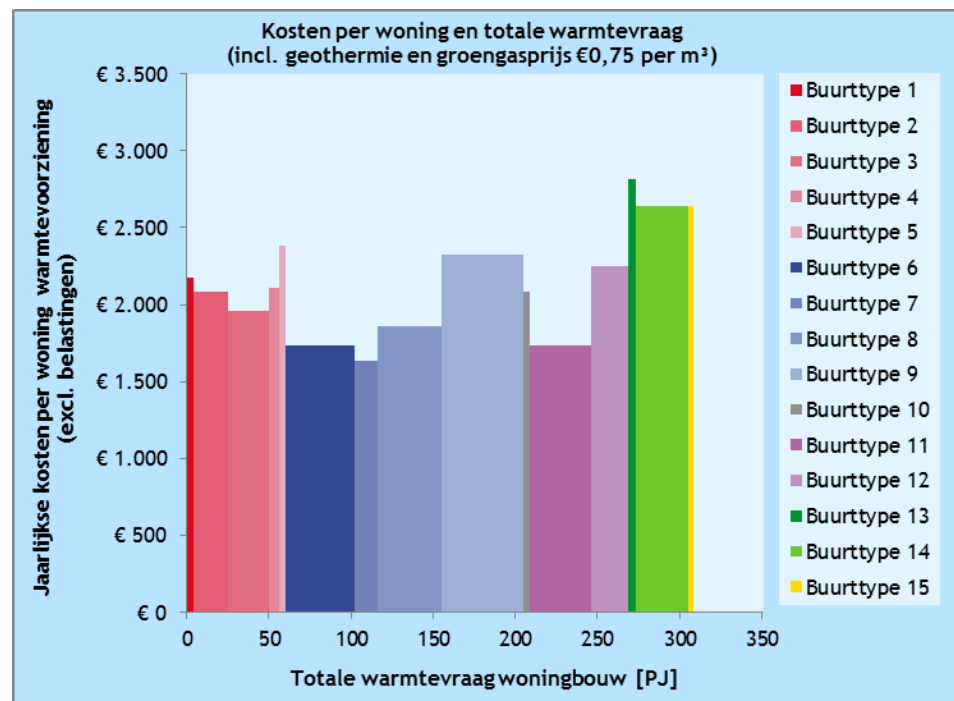
In Nederland zijn er echter ook andere bronnen voor collectieve warmte beschikbaar, zoals (industriële) restwarmte of geothermie. Op voorhand is echter niet bekend of en waar deze opties beschikbaar zijn en toegepast kunnen worden bij een buurttype en daarom worden zij niet meegenomen in de basissituatie.

In het algemeen kan worden aangenomen dat restwarmtebronnen zich voornamelijk rond stedelijk gebied bevinden. In dit onderzoek wordt deze aanname vertaald naar een optionele collectieve warmtebron voor buurttypen met een stedelijkheid van 1-3. De gebieden waar zo'n restwarmtebron al aanwezig is, zijn namelijk het meest geschikt voor het gebruik van collectieve warmte.

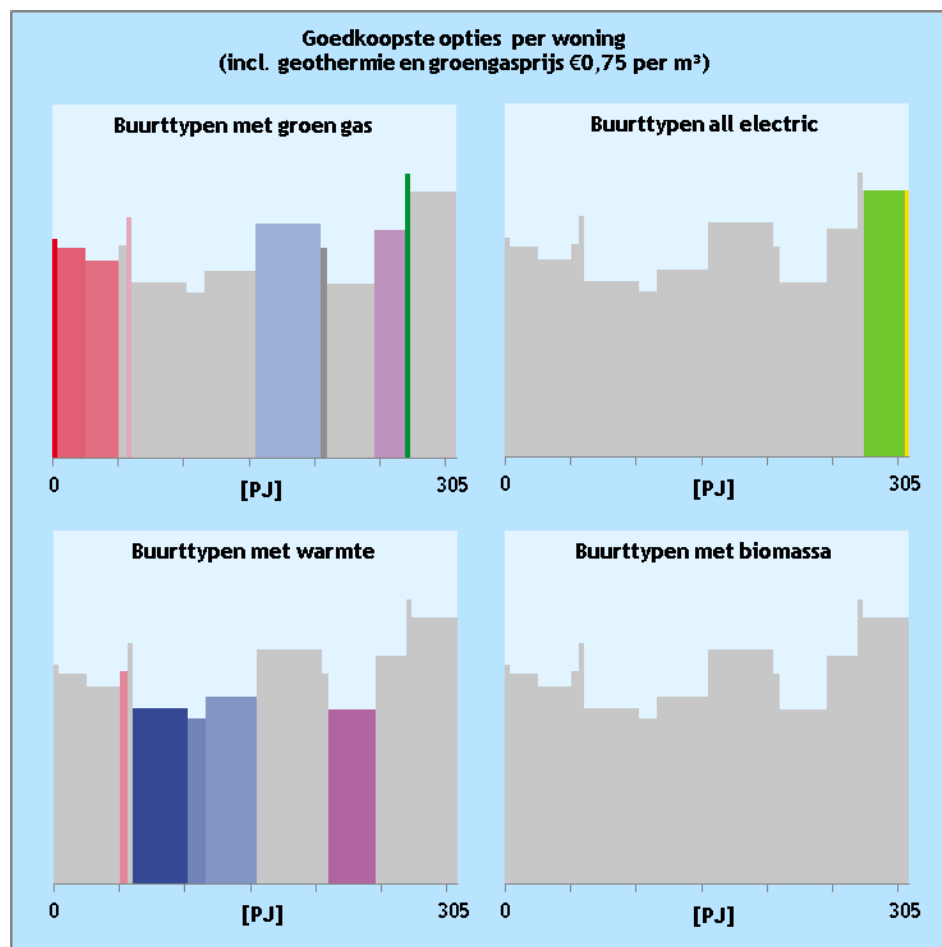
Restwarmte uit de industrie komt echter vaak van fossiele brandstoffen en wordt dus niet gezien als een klimaatneutrale warmtebron. Op den duur zullen de buurten die op fossiele restwarmte worden aangesloten, uiterlijk in 2050 geothermie als warmtebron moeten krijgen. In de berekeningen wordt daarom uitgegaan van de kosten voor geothermie. Deze liggen in dezelfde range als de kosten voor restwarmte uit de industrie.

Er is bepaald wat het effect van deze goedkope bronnen is op de uitkomsten voor de buurttypen. Figuur 25 laat zien dat als er een goedkope warmtebron beschikbaar is voor en buurttype, het voor de meeste stedelijke buurten de goedkoopste optie wordt om deze te benutten voor de warmtevraag van de woningbouw. De buurten buiten de stedelijke omgeving zijn, net als in de basissituatie, aangewezen op de wijk-WKK's, die niet goedkoper zijn dan de andere opties.

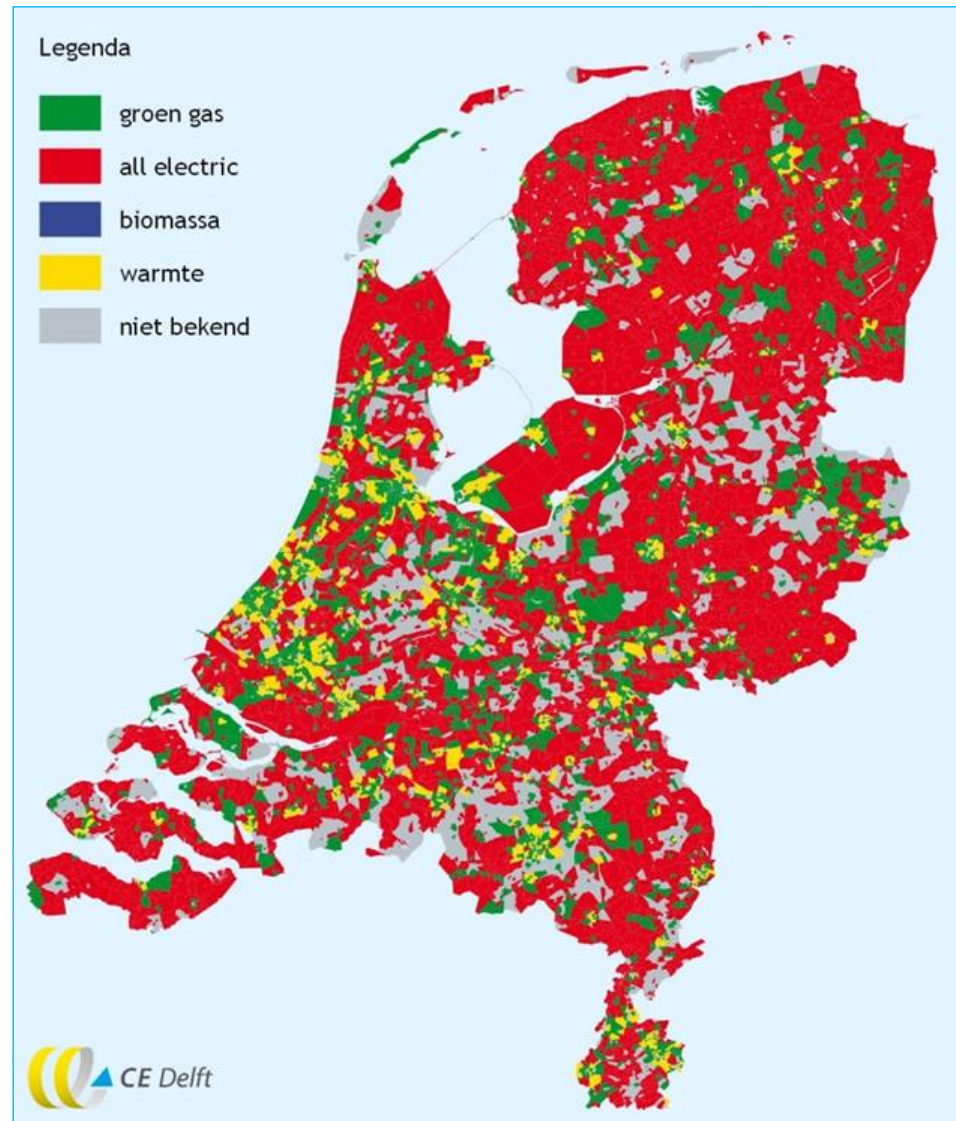
Figuur 25 Effecten van de beschikbaarheid van een goedkope, collectieve warmtebron (kosten o.b.v. geothermie)



Figuur 26 Financieel meest voordelige energiedragers voor de woningbouw per buurttype (inclusief geothermie en groengasprijs van € 0,75 per m³)



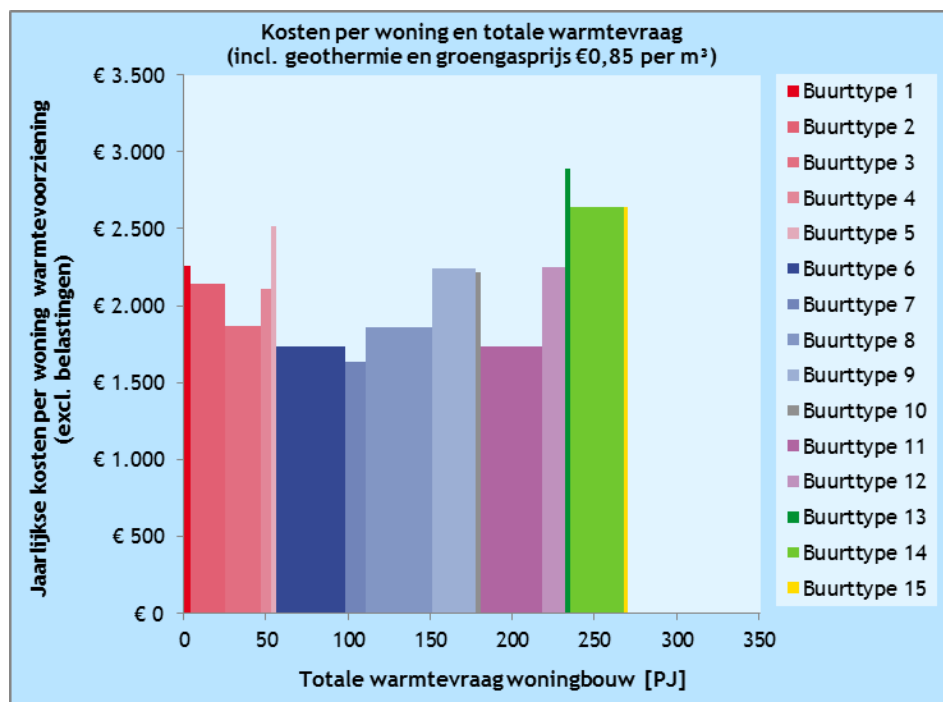
Figuur 27 Verdeling energiedragers woningbouw over heel Nederland (incl. geothermie en groengasprijs van € 0,75 per m³)



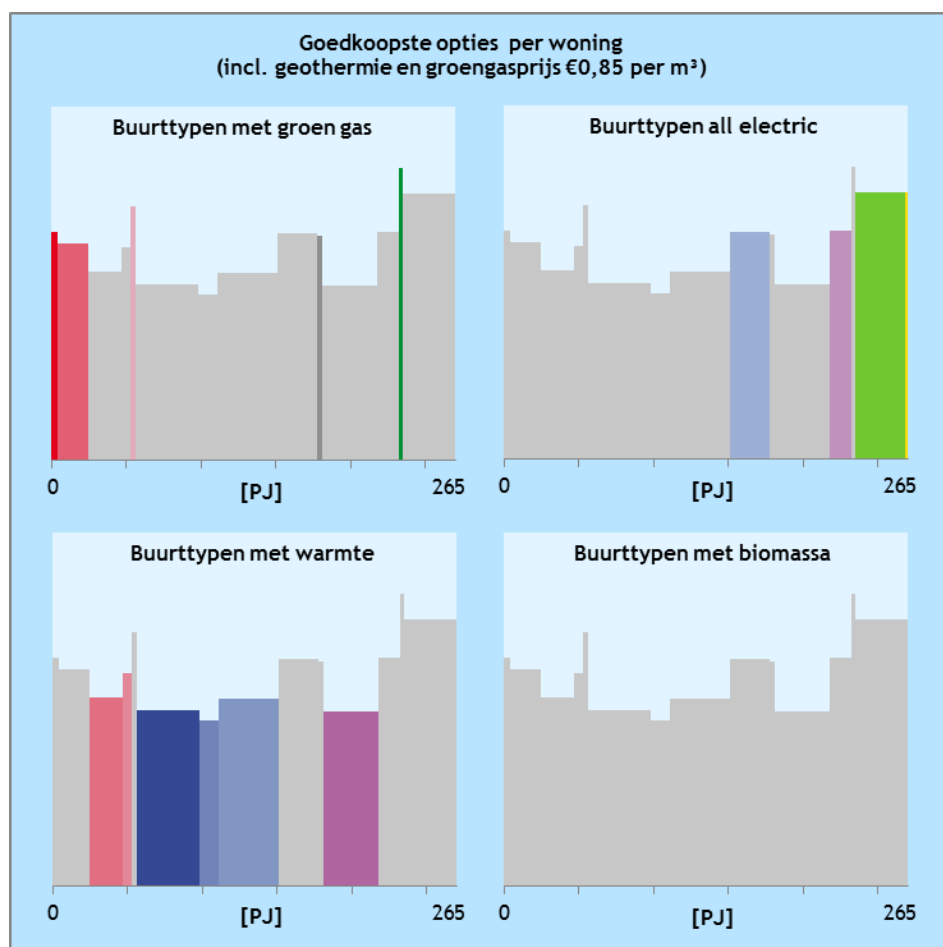
Hieruit kan geconcludeerd worden dat áls er een collectieve warmtebron aanwezig is, gebruik hiervan bij de meeste buurttypen de beste oplossing voor klimaatneutrale woningen is.

Ook voor deze optie geldt dat we uitgaan van een beperkte beschikbaarheid van groen gas, van ongeveer 1 miljard kubieke meter. Bij bovenstaande optie (incl. geothermie en een groengasprijs van € 0,75 per m³), is er 3,6 miljard m³ groen gas nodig. Als er meer nodig is dan beschikbaar, stijgt de prijs. Bij een groengasprijs van € 0,85 per m³, zullen andere opties goedkoper worden dan de groengasopties, en is er nog maar 1 miljard m³ groen gas benodigd. Resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 28 en Figuur 29.

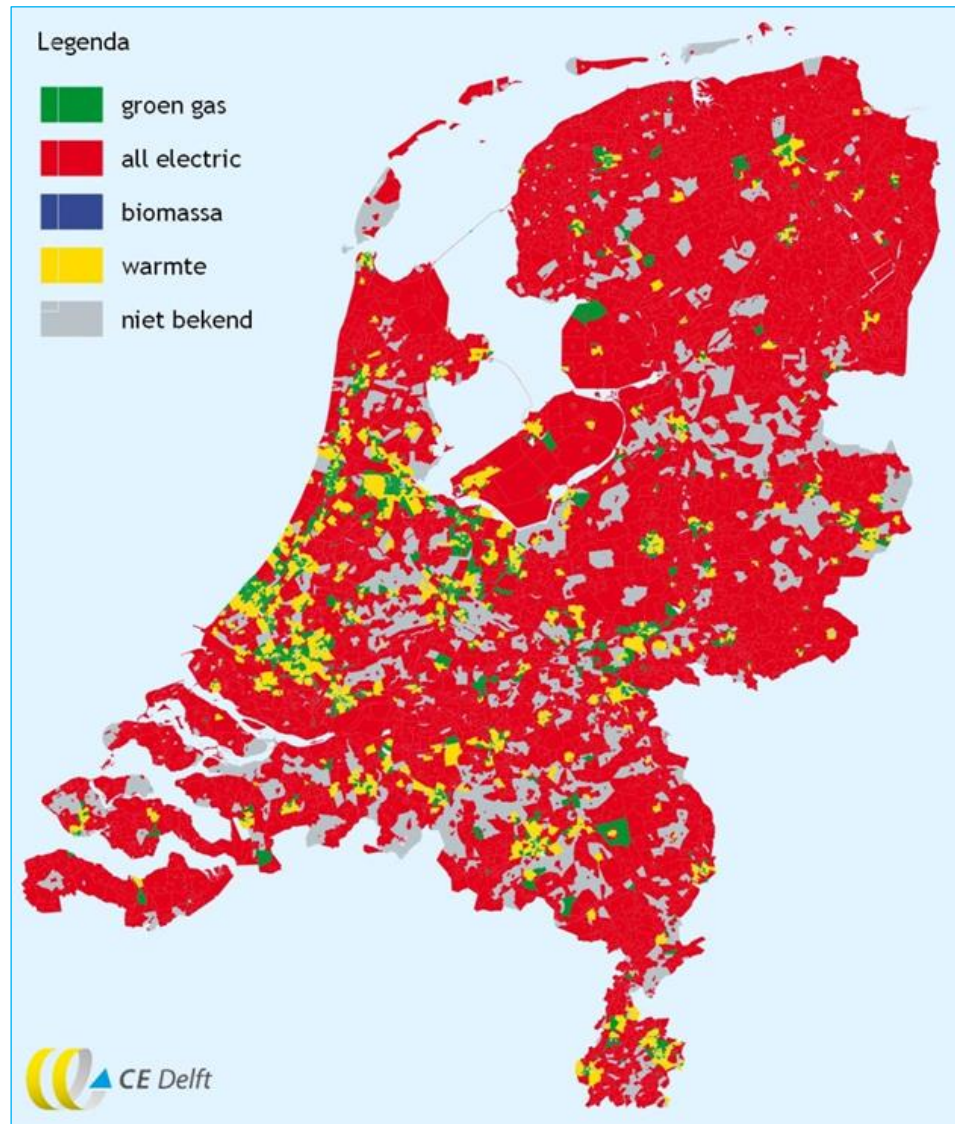
Figuur 28 Effecten van de beschikbaarheid van een goedkope, collectieve warmtebron (kosten o.b.v. geothermie) en een groengasprijs van € 0,85 per m³



Figuur 29 Financieel meest voordelige energiedragers voor de woningbouw per buurttype (inclusief geothermie en groengasprijs van € 0,85 per m³)



Figuur 30 Verdeling energiedragers woningbouw over heel Nederland (incl. geothermie en groengasprijs van € 0,85 per m³)



Een belangrijk aandachtspunt bij het toepassen van restwarmte is dat het succes hiervan sterk afhankelijk is van de lokale omstandigheden. In werkelijkheid is het niet altijd mogelijk om de restwarmte nuttig toe te passen, omdat er mogelijk problemen zijn met het temperatuurniveau, met het moment van beschikbaar zijn of door andere praktische belemmeringen. Daarnaast is geothermie niet overal in Nederland mogelijk. Hierdoor kan de situatie ontstaan, dat voor een locatie industriële restwarmte beschikbaar is, maar dat geothermie niet mogelijk is. Mocht die restwarmte uit een fossiele bron komen, dan moet dit op termijn worden vervangen door een hernieuwbare optie als geothermie. Als dit niet mogelijk blijkt, dan is er een negatieve *lock-in* ontstaan door de aanleg van de warmte-infrastructuur. Dit betekent dus dat er op voorhand goed gekeken moet worden naar de langetermijnmogelijkheden voor de klimaatneutrale voorziening op locatie.

Onderdeel van de huidige collectieve systemen is een installatie voor de piekvraag en/of back-up. Op dit moment worden deze in bijna alle gevallen ingevuld door gasketels. Ondanks ontwikkelingen op het vlak van thermische opslag en *smart thermal grids*, is de verwachting dat deze installaties ook in de toekomst nodig zullen zijn. Hoewel niet op voorhand te zeggen is wat de omvang van deze optie gaat zijn, of welke energiebron hierbij wordt toegepast (ook bio-olie is een optie), kan groen gas ook bij de collectieve opties een belangrijke rol blijven spelen voor de piekvraag/back-up.

6.5 De aardgastransitie

6.5.1 De rol van (aard)gas

Het antwoord op de vraag welke rol gas kan spelen in een klimaatneutrale gebouwde omgeving is afhankelijk van vele facetten. In deze studie is een eerste aanzet gemaakt bij het in kaart brengen deze facetten.

Aardgas uitfasen en vervangen door groen gas is de makkelijkste en goedkoopste optie als groen gas tegen kosten van 0,75 €/m³ (exclusief belastingen) geproduceerd kan worden. Deze verhoging van de energiekosten zorgt weliswaar overal tot een besparing bij gebouwen door extra isolatie, maar zorgt er nog niet voor dat alternatieven significant goedkoper worden. Wel leidt het vervangen van aardgas door groen gas tot een erg hoge vraag naar groen gas, hoger dan in Nederland geproduceerd kan worden. Als wordt aangenomen dat voor de gebouwde omgeving 2 bcm groen gas beschikbaar is, kan vervolgens worden gesteld dat voor de woningbouw de helft beschikbaar is. In dat geval is bij een prijs van 1,10 €/m³ de vraag en het aanbod in balans. Groen gas wordt dan enkel nog toegepast in de hoogstedelijke, vooroorlogse buurten en hoogstedelijke wederopbouwbuurten. De andere buurten verschuiven vooral naar all electric-opties met warmtepompen. In omgevingen waar de negatieve effecten van biomassaverbranding (zoals fijnstofemissie) niet tot problemen leiden⁷, kan biomassa als energiedrager worden toegepast. Met deze restrictie, is deze optie enkel het goedkoopst in gebiedstype 'dorskernen'.

Indien in hoogstedelijke en matig stedelijke gebieden een goedkope warmtebron aanwezig is in de vorm van (industriële) restwarmte of geothermie, dan is een systeem van collectieve warmtelevering voor woningen in veel gevallen de optie met de laagste totale kosten. Dit geldt in het geval van een groengasprijs van € 0,75/m³ voor de hoog- en matig stedelijke gebieden in een bloemkoolwijk en recente nieuwbouw. Daarnaast is de optie met de restwarmtebron het goedkoopst in buurttype 4, een wederopbouwwijk met stedelijkheid 3 (matig stedelijk). De andere buurttypen behouden in deze situatie de voorkeur voor groen gas of all electric (buurttype 14 en 15). Bij een groengasprijs van 0,75 €/m³ levert dit een groengasvraag van 3,6 bcm op voor enkel de woningbouw. Bij een kostprijs van 0,85 €/m³ is dit gedaald naar rond de 1 bcm. Op dat moment vindt in buurttypen 1, 2, 5, 10 en 13 nog gaslevering plaats. In buurttypen 9, 12, 14 en 15 is all electric in dat geval de goedkoopste optie. Voor de overige buurten geldt restwarmte als goedkoopste optie.

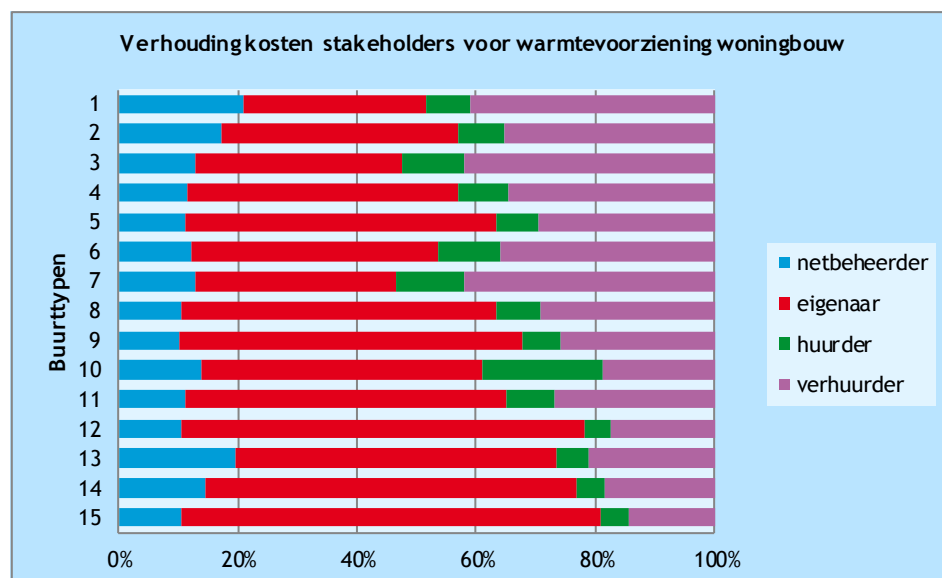
⁷ Dit zijn de landelijke buurttypen met een stedelijkheid van 4 of 5.



6.5.2 De rol van financiering

Uit de voorgaande paragrafen blijkt, dat ondanks het nemen van besparingsmaatregelen, de kosten van de gehele keten van de warmtevoorziening toe zullen nemen in een klimaatneutrale toekomst. Dit betekent dat voor alle betrokken stakeholders keuzes moeten worden gemaakt in hoe de transitie naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving wordt gefinancierd en hoe de lasten worden verdeeld. Deze studie doet geen uitspraken over de optimale verdeling van deze lasten over de stakeholders of hoe de financiering van de transitie vorm kan krijgen. Wel is het mogelijk om op basis van de berekeningen inzichtelijk te maken hoe de verdeling van de jaarlijkse kosten per buurttype is. In Figuur 31 wordt dit weergegeven. Hierin is te zien dat de kosten redelijk gelijk verdeeld zijn over de diverse stakeholders. Uiteraard zijn er verschillen, maar geen enkele stakeholder draait aanzienlijk meer voor de kosten op dan de ander. De verschillen in de verdeling van de kosten per buurttype komen onder andere door een andere verdeling van koop- en huurwoningen (een groot aandeel koopwoningen betekent een groot aandeel in de jaarlijkse kosten van het betreffende gebied).

Figuur 31 Verdeling van de directe kosten van de warmtevoorziening

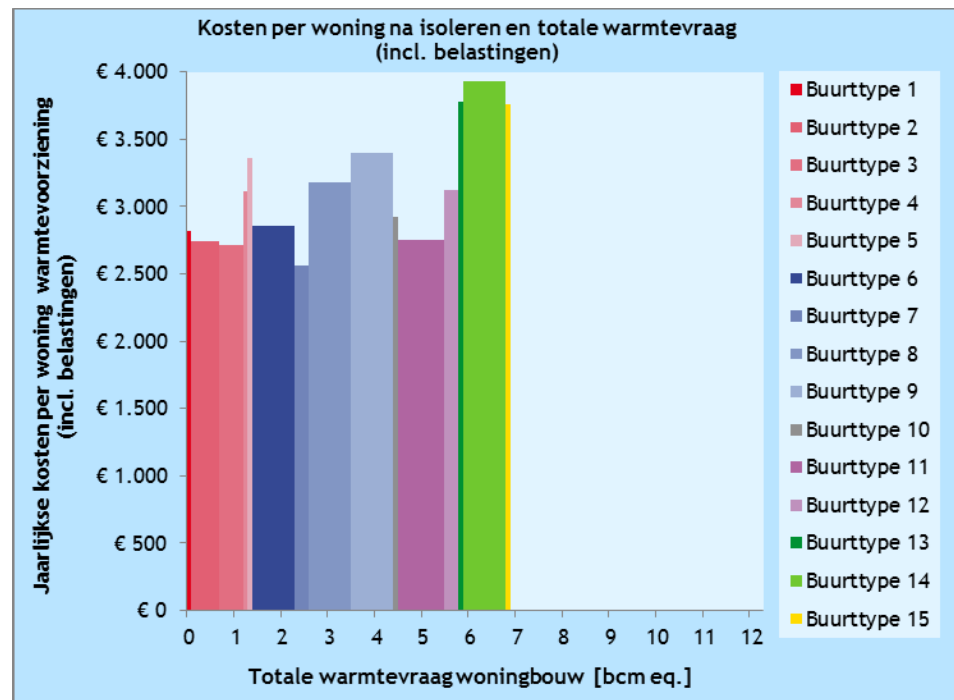


Hoewel Figuur 31 een indicatie van de *directe* kostenplaatsen geeft, vallen uiteindelijk alle kosten bij de eindgebruiker. Deze zal *indirect* ook opdraaien voor de hogere kosten van de netbeheerder of de verhuurder.

6.5.3 De rol van belastingen

De berekeningen zijn in eerste instantie uitgevoerd zonder rekening te houden met de belastingen (energiebelasting, ODE of BTW). Wanneer deze echter wel mee worden genomen, dan wordt duidelijk dat er nog meer bespaard gaat worden, omdat de energiekosten per gebouw nog hoger zijn. De onderstaande figuur laat dezelfde situatie zien als Figuur 17, maar dan met belastingen. Hierin is duidelijk te zien dat de kosten toenemen, maar de totale vraag tegelijkertijd afneemt.

Figuur 32 Kosten warmtevoorziening per woning en totale warmtevraag (inclusief belastingen)



Door het meenemen van de belastingen, worden vooral de gas- en elektra-opties duurder, omdat op deze twee energiedragers een extra belasting komt. Door voor de all electric-optie met elektrische warmtepomp te kiezen, is dit effect veel minder groot, omdat het rendement van de elektrische pomp veel hoger is dan dat van de gasopties. Het gevolg is dat deze optie relatief goedkoper wordt ten opzichte van de gasopties. In dit scenario, waarbij belastingen worden meegerekend, zijn in gebied 10, 12, 14 en 15 dan ook de all electric-opties goedkoper dan de gasopties. Gebied 13 verandert van een groengasoptie naar een optie met biomassa & houtkachel. In totaal blijft er 5 bcm aan groengasvraag over en 2 bcm overige energiedragers (1,9 bcm elektra en 0,1 bcm biomassa).

6.6 Meenemen van utiliteit

Bij de gebouwde omgeving speelt utiliteit ook een grote rol. In veel buurten met woningen is ook utiliteit aanwezig. Gebouwen met utiliteitsfuncties, zoals kantoren, winkels en ziekenhuizen, hebben ook een warmtevraag die op dit moment voor het grootste gedeelte wordt ingevuld door aardgas. Bij een volledig klimaatneutrale gebouwde omgeving, moet ook dit aardgas worden uitgefaseerd.

In dit onderzoek is naast het onderzoeken van het vervangen van de fossiele brandstoffen voor de warmtevraag in de woningbouw, ook onderzocht wat de goedkoopste opties zijn voor vervanging van aardgas in de utiliteit. Dit kan afzonderlijk worden bekeken, maar logischer is het om te zoeken naar de gecombineerde goedkoopste opties voor woningen en utiliteit samen. Het is namelijk vaak het handigst om een bepaalde energiedrager in de gehele buurt te gebruiken, zodat er maar één energienet voor warmte hoeft te worden aangelegd. In Bijlage A zijn de resultaten weergegeven voor alle buurttypen van de situatie waarin zowel woningbouw als utiliteit in acht wordt genomen.

7 Warmtevraag-transitie

In de voorgaande hoofdstukken is uitgewerkt wat de mogelijke eindbeelden per buurttype zijn. Deze eindbeelden geven aan hoe de gebouwen over 35 jaar klimaatneutraal verwarmd kunnen worden, maar zeggen weinig over de periode tussen dan en nu. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op deze periode, waarbij respectievelijk de volgende vragen worden beantwoord: Welke keuzes kunnen of moeten gemaakt worden? Wanneer moeten deze keuzes worden gemaakt? En door wie? Het hoofdstuk sluit af met een stappenplan voor de komende decennia.

7.1 De keuzes

Bij de investeringen in de energietransitie van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving zijn twee soorten natuurlijke investeringsmomenten te onderscheiden: vanuit de *gebouwen* (vraagzijde) en vanuit de *energie-infrastructuur* (aanbodzijde). Daarnaast geeft het *beleid* richting aan de transitie, zoals naar klimaatneutraal of naar energieneutraal. Omdat het beleidsdoel meestal ook aan een specifiek jaar is gekoppeld, zoals 2040 of 2050, bepaalt het doel uiteindelijk ook het tempo dat gemaakt moet worden. Via een proces van ‘backcasting’ ontstaat antwoord op de vraag of het doel kan worden bereikt met alleen investeringen op natuurlijke investeringsmomenten of niet.

Natuurlijke investeringsmomenten vanuit de energie-infrastructuur zijn de momenten waarop vervangingsinvesteringen zijn gepland. Natuurlijke investeringsmomenten vanuit de gebouwen zijn de momenten waarop grootschalige gebouwschilrenovaties zijn gepland of de gebouwinstallaties aan vervanging toe zijn. Voor zowel energie-infrastructuren als de schil van een gebouw geldt dat de levensduur in de ordegrootte van 50 jaar of meer ligt. Voor een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050 is het dus van het grootste belang om op die investeringsmomenten de goede keuze te maken. In de komende paragrafen wordt ingegaan op deze aspecten van de keuzes.

7.1.1 De gebouwen (vraagzijde)

Voor de gebouwen hebben de keuzes te maken met de reductie van de vraag naar fossiele energie. Enerzijds kan dit door besparende maatregelen te treffen, zoals isolatie. Anderzijds door het toepassen van efficiëntere installaties of installaties die gebruik maken van een andere energiedrager. Beide opties zijn sterk verstrengd met de keuzes voor de energie-infrastructuur.

Vraagbeperking door isolatie is in deze studie vormgegeven in drie besparings-niveaus: beperkt, ruim en maximaal. De berekeningen in deze studie laten zien welk niveau het beste scoort per buurttype. Hiermee wordt de opdracht voor een klimaatneutrale gebouwde omgeving min of meer gedefinieerd: bij meer dan zeven miljoen woningen maatregelen treffen vóór 2050. Gemiddeld 200.000 per jaar⁸. Hiermee lijkt het dan ook wenselijk en logisch dat de keuzes die worden gemaakt in één keer goed zijn, waarbij een goede match wordt gemaakt tussen de bouwmaatregelen, de installaties en de energie-infrastructuur.

⁸ In de Nationale Energieverkenning 2014 wordt uitgegaan van woningverbeteringen bij 225.000 woningen per jaar (bij vastgesteld beleid) (ECN, 2014).



Hoewel 2050 ver weg lijkt, worden nu al langjarige onderhoudsplannen gemaakt door woningcorporaties, die verder kijken dan 2050 en worden investeringen gedaan in grootschalige renovatie. Hierbij hebben deze aanpassingen aan de schil van de woning een levensduur van circa 50 jaar en reiken dus verder dan 2050. En niet alleen bij corporaties, maar ook eigenaarsbewoners voeren langetermijnaanpassingen door aan hun woning. Dit gebeurt weliswaar minder planmatig dan bij corporaties, maar bijvoorbeeld een uitbouw of het vervangen van het dak hebben een levensduur die de 50 jaar overstijgt.

Als nu een verkeerde keuze wordt gemaakt, dan wordt het risico gelopen dat voor 2050 een correctie plaats moet vinden om alsnog te komen tot een klimaatneutrale situatie. Dit kost extra tijd, energie en vooral geld. Voor eigenaar/bewoners geldt min of meer dezelfde situatie, alleen hebben zij meestal een aanzienlijk kortere zichthorizon en is hun keuzevrijheid meer beperkt door hun mogelijkheden en de aanwezige energie-infrastructuur. Deze keuzevrijheid komt eveneens terug bij de keuzes omtrent de installaties. Doordat de gemiddelde gebouwgebonden installatie een levensduur heeft van 15 jaar, kunnen nog twee of drie generaties van installaties worden toegepast, voordat een definitieve keuze gemaakt moet worden in 2050. Dit betekent bijvoorbeeld dat een gebouweigenaar nog twee keer een HR-ketel kan aanschaffen voor dat deze over moet schakelen op bijvoorbeeld een lucht/water-warmtepomp. Als gevolg hiervan hoeft de definitieve keuze voor de installatie nog niet genomen te worden. Tenzij de energie-infrastructuur of energiebesparingsniveau hiertoe dwingt. Wanneer deze keuze echter geheel vrij wordt gelaten aan de eindgebruiker, dan laat een studie uit het Verenigd Koninkrijk zien, dat de eindgebruikers voor de meest eenvoudige oplossing kiezen. Dit zou betekenen dat in dat geval in 2050 het grootste deel van de Nederlandse woningen nog voorzien zal zijn van een warmte-installatie op gas (Delta Energy & Environment, 2012).

Los van de langetermijnplanningen naar 2050 en verder, is het ook van belang nu al na te denken over de te nemen stappen. Het is niet mogelijk om voor alle woningen tot 2049 te wachten met het nemen van besparende maatregelen. De grote schaal waarop dit moet plaatsvinden wordt sterk beïnvloed door de capaciteit die de markt heeft voor het oppakken van deze uitdaging en spreiding van de werkzaamheden tot 2050 is dan ook noodzakelijk om de benodigde aantallen überhaupt te halen.

7.1.2 De energie-infrastructuur (aanbodzijde)

Ruim 95% van de gebouwen in Nederland heeft op dit moment een elektriciteits- en gasaansluiting. De elektriciteitsaansluiting is over het algemeen gedimensioneerd op de elektriciteitsvraag voor apparatuur, verlichting en ventilatie. De gasaansluiting op de warmtevraag voor tapwater en ruimteverwarming. Beide netten hebben in Nederland bijna een 100% bedrijfszekerheid (Netbeheer Nederland, 2014) en (Netbeheer Nederland, 2014)) en voorzien gebouwen daarmee dus ten alle tijden van de energie die nodig is. Deze betrouwbaarheid dient ook aanwezig te zijn in een klimaatneutrale toekomst en tijdens de route daar naar toe⁹.

Voor deze klimaatneutrale toekomst zijn in deze studie tien verschillende technische opties bekeken (zie Paragraaf 4.3). Per optie verschillen deze op de benodigde energie-infrastructuur. Hoewel de gebouwen in de toekomst allen een elektriciteitsaansluiting behouden (voor apparatuur, verlichting,

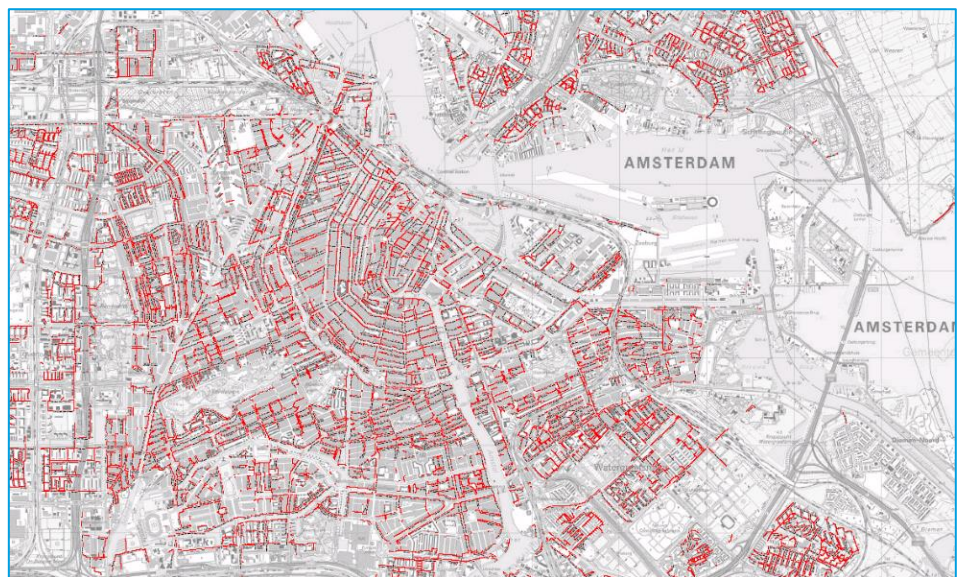
⁹ Dit hoeft niet alleen gefaciliteerd te worden door de energienetwerken, maar de gehele infrastructuur, waaronder ook opslag, buffering en smart grids kunnen deze betrouwbaarheid op peil houden.



et cetera) varieert de benodigde infrastructuur voor de warmtevraag. De opties met groen gas behouden een gasnet, maar bij all electric- en warmteopties wordt dat vervangen door respectievelijk een verzwaarde elektriciteitsaansluiting en/of een warmteaansluiting. Bij de biomassaopties verdwijnt het distributienet (voor de warmtevraag) helemaal en wordt bijvoorbeeld vervangen door distributie met auto's of vrachtwagens (transport van houtpellets of haardhout). Hiermee ligt de uitdaging voor de toekomst dus primair bij de veranderingen in de infrastructuur die nodig is voor de thermische vraag: blijft het gasnet liggen, wordt het vervangen of wordt het verwijderd? En sluit deze aan bij de ontwikkelingen aan de vraagkant? Deze vragen komen met name op, op het moment dat de netbeheerder de infrastructuur in een bepaalde buurt moet vervangen. Twee belangrijke drijfveren voor het vervangen van de infrastructuur zijn enerzijds de aanwezigheid van leidingen van brosse materiaalsoorten zoals grijs gietijzer en asbest cement en anderzijds het aantal verstoringen/lekkages in een bepaalde buurt.

Alle netbeheerders hebben recent saneringsplannen opgesteld om deze brosse leidingen te vervangen. Het leeuwendeel hiervan vindt tot 2040 plaats (SodM, 2010). Aan de hand van risicoanalyses bepalen de netbeheerders waar dit wanneer gebeurt. Hierdoor hebben zij voor een aantal specifieke gebieden in Nederland een goed beeld waar op korte termijn gewerkt gaat worden aan de gasinfrastructuur. Figuur 33 geeft een overzicht van de aanwezigheid van grijs gietijzeren leidingen in Amsterdam. Door dit soort informatie te combineren met de uitkomsten van deze studie, kan inzichtelijk worden gemaakt waar de keuze niet per definitie hoeft te vallen op het 1-op-1 vervangen van het oude gasnet door een nieuw gasnet¹⁰¹¹.

Figuur 33 Ligging grijs gietijzer in Amsterdam



Bron: (Liander, 2014).

¹⁰ Hier komt bij dat de huidige materialen voor gasleidingen 50 tot 100 of zelfs 300 jaar meegaan en dus voor een zéér lange tijd in de grond kunnen liggen.

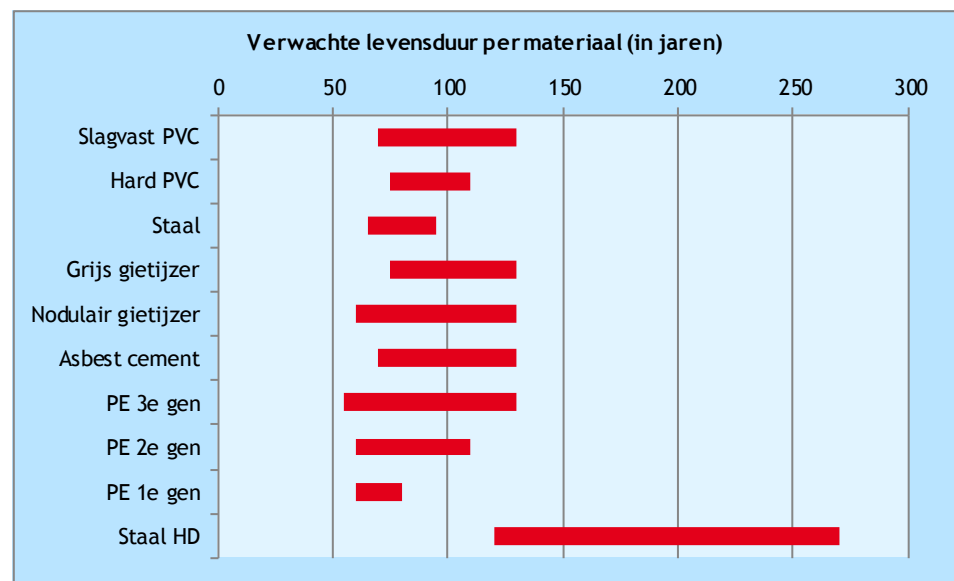
¹¹ Naast de technische levensduur van de materialen, is er de regulatorische afschrijvings-termijn. Voor hogedruknetten bedraagt die 55 jaar en voor lagedruk 45 jaar. Deze termijnen worden vastgesteld door de ACM (ACM, 2013).

Bij een toenemend aantal verstoringen of lekkages in de leidingen wordt door de netbeheerder een risicoanalyse gemaakt, aan de hand waarvan wordt gekeken of het nodig is om het net te vervangen. En hoewel een gasnet gemiddeld over 45 jaar wordt afgeschreven, verschilt de technische levensduur sterk per gebied in Nederland. Zo kan de technische levensduur van een net in gebied A vele jaren langer zijn dan in gebied B. Zelfs als ze van hetzelfde materiaal zijn. Door de invloed van bijvoorbeeld de bodem of externe invloeden (zoals bouwwerkzaamheden) wordt de levensduur sterk beïnvloed. Figuur 34 geeft ter indicatie de levensduren van de verschillende materialen weer die worden of werden gebruikt voor gasleidingen.

De huidige werkwijze van de netbeheerders leidt er toe dat in Nederland maar zeer beperkt een proactief vervangingsbeleid wordt gevoerd, maar veel meer een reactief beleid: risicoafwegingen bij brosse leidingen en storingen of lekkages leiden er toe dat bepaalde delen vervangen worden. Bij de netbeheerders wordt daarmee dus beperkt (geografisch) planmatig gewerkt en weten zij dus niet op voorhand waar over 20 jaar de netten vervangen zullen worden.

Het grijze gietijzer vormt hier enigszins een uitzondering op. Hiervoor zijn dus door alle netbeheerder saneringsplannen opgesteld en is bekend waar dus binnen nu en 15-25 jaar vervanging plaats moet vinden. Vanaf het begin van de vorige eeuw tot aan de jaren '70 van de vorige eeuw is grijs gietijzer gebruikt als gasleiding. Omdat deze op de lange termijn onvoldoende kwaliteit hebben, worden deze vervangen. Op basis van risicoanalyses wordt bepaald welke gebieden eerst aan de beurt zijn. Hierdoor is dus wel bekend welke specifieke gebieden binnen nu en een paar jaar aangepakt worden, maar niet welke specifieke gebieden over 10 of 20 jaar aan de beurt zijn.

Figuur 34 Levensduur gasleidingen



Bron: (Enexis, 2014).

Het vervangingsmoment van de gasinfrastructuur is dus bij uitstek het moment om te heroverwegen of het gasnet wordt vervangen door een nieuw gasnet of door een alternatieve infrastructuur.

Uit de resultaten van de studie blijkt dat met name in de oude stedelijke buurten de gasinfrastructuur in combinatie met groen gas de optie met de laagste kosten blijft. Bij de andere buurttypen worden bij stijgende

groengasprijzen en de beschikbaarheid van goedkope hernieuwbare warmte, de all electric en warmtelevering de opties met de laagste overal. Mocht in de oude stedelijke buurttypen een vervangingsmoment aantreden, dan kan in deze buurten worden gekozen het gasnet te vernieuwen. Voor deze buurten wordt het aardgas in de leidingen naar 2050 geleidelijk vervangen door groen gas. Voor de andere buurttypen kan worden overwogen om over te schakelen naar all electric of warmtedistributie. Dit laatste is dus met name interessant wanneer een goedkope (rest)warmtebron beschikbaar is. Hierbij zijn twee fasen mogelijk, waarbij in eerste instantie de restwarmtebron wordt aangesloten. De tweede fase kan dan bestaan uit het aansluiten van een hernieuwbare of klimaatneutrale bron op het warmtenet, zoals geothermie. Dat er uitzicht is op een toekomstige hernieuwbare of klimaatneutrale bron is hierbij wel essentieel. Indien dit uitzicht er niet is, is een klimaatneutrale toekomst zeer onzeker in deze situatie en is een warmte-infrastructuur aangelegd welke niet de beste oplossing is¹².

7.1.3 De beleidsdoelen

De derde categorie van keuzes komt niet voort uit technische of economische vragen, maar uit politieke of sociale. Keuzes die voortvloeien uit de beleidsdoelen van bijvoorbeeld gemeenten, sturen in sterke mate de toekomstbeelden die worden nagestreefd. Op dit moment wil een groot aantal Nederlandse gemeente klimaat- of energieneutraal worden. Hiervoor worden verschillende termijnen gehanteerd, zoals 2030, 2040 of 2050. In deze studie is inzichtelijk gemaakt wat de *klimaatneutrale* eindbeelden voor 2050 zijn. Een gemeente die dezelfde doelstelling heeft kan hierbij dus aansluiten. Gemeenten die een kortere zichthorizon ambiëren kunnen dit ook, maar zullen de alle keuzes eerder in de tijd moeten nemen. Dit kan vervolgens leiden tot hogere kosten, doordat bijvoorbeeld onderdelen van de warmtevoorziening vervangen moeten worden die nog niet aan vervanging toe waren. Gemeenten die andere doelen hebben, zoals energieneutraal, moeten op voorhand goed nagaan of zij binnen hun grenzen in staat zijn de benodigde hoeveelheid hernieuwbare energie te produceren. Is er voldoende capaciteit voor groen gas, vaste biomassa, zon-PV, windturbines, aquifers of geothermie aanwezig? Een overschot of tekort aan deze mogelijkheden beïnvloedt in vergaande mate de keuzes die een dergelijke gemeente kan/moet maken voor het behalen van de beleidsdoelen.

7.2 Wanneer?

Het plaatsen van de keuzes in de tijd is op voorhand complexe zaak. De keuzes zijn vaak locatiespecifiek en zijn daarmee niet generiek op te stellen voor alle buurttypen in Nederland. Wel kan indicatief worden aangegeven wanneer keuzemomenten zich voor kunnen doen en wanneer de relevante stakeholders moeten anticiperen op deze momenten. Wat wel duidelijk is, is dat de keuzes niet gratis naar achteren geschoven kunnen worden. Vandaag worden besluiten genomen die tot ver na 2050 reiken en de uitvoeringscapaciteit om de maatregelen (infra, gebouw, installatie) te treffen biedt voor de toekomst weinig ruimte om de keuzes uit te stellen.

In de komende paragrafen wordt voor de keuzes uit de voorgaande paragraaf toegelicht welke momenten er zijn en hoe deze opgepakt kunnen worden. Gegeven de complexiteit en omvang van de keuzes, worden deze nooit door slechts één stakeholder gemaakt, maar altijd in samenspraak met andere

¹² Geothermie is bijvoorbeeld niet overal mogelijk als gevolg van de structuur van de diepe ondergrond.



stakeholders. De afsluitende paragraaf benoemd hiervoor de relevante aspecten.

7.2.1 De energie-infrastructuur

Het in de tijd plaatsen van de keuzes voor de energie-infrastructuur is met name relevant voor het moment dat vervanging van het gasnet op de planning staat. Hiervoor zijn twee belangrijke drijfveren. Zoals in de voorgaande paragraaf is beschreven vindt bij de netbeheerders een proces van risico-analyses plaats voor het bepalen waar wanneer bepaalde delen van het gasnet vervangen moeten worden op basis van storingen, gebruikte materialen en andere parameters. Daarnaast moeten de komende decennia de gasleidingen van grijs gietijzer en asbest cement worden vervangen. Een aantal netbeheerders geeft ook aan dat de vervangingsactiviteiten tevens afhangen van de activiteiten van derden, zoals het ‘meeliften’ op het moment dat riolering of waterleidingen worden vervangen.

Door deze complexiteit van factoren is een locatiespecifieke langetermijn-planning van de vervanging van het gasnet niet aanwezig bij de netbeheerders. Dit betekent dat voor het afstemmen van de plannen en het mogelijk doorvoeren van een nieuwe energie-infrastructuur in een bepaalde buurt, het lastig is om dit meer dan een paar jaar van te voren aan te geven¹³. Op basis van de vervanging van de energie-infrastructuur kan dus slechts een beperkt aantal jaren in de toekomst worden gekeken.

Op het gebied van de energie-infrastructuur kan een mogelijk voordeel zijn dat de technische levensduur van de gebruikte materialen langer is dan de economische (regulatorische) levensduur. Hiermee ontstaat er dus een kans dat afgeschreven netten tegen een beperkt financieel risico in gebruik kunnen blijven tot dat zij worden vervangen door een alternatieve infrastructuur, indien nodig.

7.2.2 De gebouwen

De tijdsaspecten rond de besparings- en de installatiemaatregelen zijn op voorhand weliswaar niet eenduidiger te bepalen dan bij de infrastructuur, maar doordat de levensduur van de technieken over het algemeen korter is dan de tijdspanne waarnaar gekeken wordt, kan een inschatting worden gemaakt wanneer bepaalde aanpassingen *uiterlijk* gemaakt moeten zijn, om het eindbeeld te behalen. Hierbij moet een onderscheid worden gemaakt in de individuele en collectieve warmteopties. Bij individuele opties zijn er meer vrijheden in de keuzes en momenten dan bij collectieve opties.

Het treffen van besparingsmaatregelen staat hierbij deels los van de installatiemaatregelen. Besparing kan te allen tijde plaatsvinden, maar is in sommige gevallen gekoppeld aan de eigenschappen van een warmtetechniek (zo werkt lagetemperatuurverwarming alleen goed als het gebouw goed geïsoleerd is). Hierbij is het uiteraard wel van belang, gezien de grote aantallen gebouwen die aangepakt moeten worden, dat niet alle buurten van Nederland deze handeling zo ver mogelijk naar achteren schuiven, omdat zelfs een lineaire verdeling van de aan te pakken gebouwen (200.000 per jaar voor 35 jaar lang) al tot grote uitdagingen leidt.

Gas-technieken

Voor de buurttypen waarbij het gebruik van groen gas de beste oplossing is, is er eigenlijk geen sprake van een keuzemoment. In deze buurten wordt de gasinfrastructuur gehandhaafd en kunnen de gebouweigenaren kiezen uit een diverse set van technieken. Van HR-ketels, tot gaswarmtepompen en micro-

¹³ In de Kwaliteits- en Capaciteitsdocumenten (KCD) wordt door de netbeheerders aangegeven wat zij op de korte termijn verwachten te doen aan vervanging en uitbreiding. Dit gaat echter niet verder dan 3 jaar in de toekomst.

WKK's. Tot aan 2050 kunnen nog twee à drie generaties van deze technieken worden toegepast en ook na 2050 kunnen deze technieken een invulling geven aan de klimaatneutrale gebouwde omgeving op basis van groen gas¹⁴.

All electric

Een overgang naar all electric kan in principe op ieder moment gebeuren, wanneer de woning daar geschikt voor gemaakt is en de elektrische infrastructuur voldoende capaciteit heeft. De keuzemomenten voor het toepassen van bijvoorbeeld een elektrische warmtepomp is daarmee relatief vrij en individueel te maken. Als een gebouweigenaar weet dat het eindbeeld in 2050 voor zijn/haar buurt all electric is in 2050, dan zijn er op gebouw-niveau geen belemmeringen om dit in 2015 al uitgevoerd te hebben, inclusief de besparingsmaatregelen.

Indien de volledige buurt overstapt op all electric dienen dus wel aanpassingen aan de elektriciteitsinfrastructuur te worden gemaakt. Door het hoge elektrisch vermogen van een warmtepomp en de grote gelijktijdigheid is een verzwarende van de kabels nodig om er voor te zorgen dat de elektriciteitslevering gegarandeerd blijft. Deze verzwarende kan mogelijk ook al worden uitgevoerd aan de hand van een andere drijfveer: teruglevering door zon-PV¹⁵. Omdat bij deze optie en de biomassaoptie het gasnet geleidelijk steeds minder wordt gebruikt, moet er een zogenaamde 'exit strategie' worden ontwikkeld voor het gasnet, waarbij vragen worden beantwoord hoe ook de laatste aangesloten klanten adequaat van gas te voorzien, hoe de kosten van de instandhouding van het net worden verrekend over een steeds kleiner aantal klanten, et cetera. Op dit moment worden bij de netbeheerders de eerste gedachtes over een dergelijke strategie ontwikkeld. Op dit moment is er nog geen (grootschalige) ervaring met deze situatie.

Warmtetechnieken

Buurtten waar het gasnet wordt vervangen door een warmtenet moeten wel keuzes maken. Het aanleggen van een warmtenet in de bestaande bouw neemt al snel een periode van 5-10 jaar in beslag, inclusief de planontwikkeling. Hier komt bij dat gedurende deze periode de gebouweigenaren nog wel moeten voorzien in hun warmtebehoefte en zij in een 'worst case situatie' (bijvoorbeeld bij het kapot gaan van een CV-ketel) een nieuwe gebouwinstallatie moeten aanschaffen, die niet veel later overbodig wordt omdat het gasnet verdwijnt. Als gevolg hiervan is de kans groot dat er in deze situatie altijd installaties versneld afgeschreven moeten worden en de kosten van deze optie daarmee hoger zijn.

Daarnaast is een warmtenet alleen klimaatneutraal als de bron van dat net dat is. Dit betekent, dat in aanloop naar 2050, de warmtebronnen klimaatneutraal moeten zijn of gemaakt moeten worden. Zo duurt het ontwikkelen van een geothermiebron ongeveer 4 jaar (GeoDH, 2014), wat betekent dat uiterlijk in 2045 de eerste stappen genomen moeten worden, wil een dergelijk bron in 2050 operationeel zijn. Hierbij moet tevens wel rekening worden gehouden met de plan- en uitvoeringscapaciteit. Het aantal parallel ontwikkelen geothermiebronnen zal beperkt zijn, waardoor het nodig is om niet te wachten met het verduurzamen van alle warmtenetten tot 2045.

¹⁴ Hierbij is het wel nodig om het achterhoofd te houden, dat door de hogere kosten van groen gas de totale kosten van de warmtevoorziening stijgen. Besparingsmaatregelen kunnen dit deels mitigeren.

¹⁵ Zon-PV-systemen hebben mogelijk een nog groter vermogen en gelijktijdigheid dan warmtepompen, waardoor de kans groot is dat de elektriciteitsnetten eerder verzwaard moeten worden voor een hoge penetratiegraad van zon-PV dan voor elektrische warmtepompen.



Biomassa

De biomassaopties behelzen technieken die geen infrastructuur voor een thermische energiebron nodig hebben. De benodigde biomassa wordt per auto of vrachtwagen vervoerd naar de locatie. Overschakelen naar dit systeem kan relatief eenvoudig en geleidelijk door uiterlijk vanaf 2035 de bestaande HR-ketels te vervangen door pellet- of houtkachels. Zodra de HR-ketel is afgeschreven kan dit plaatsvinden.

Wel ontstaan hier dezelfde vragen als bij all electric met betrekking tot de exit van het gasnet.

7.2.3 De beleidsdoelen

De invloed van de beleidsdoelen kan zeer groot zijn, met betrekking tot de timing van de keuzes. Indien een gemeente eerder dan 2050 klimaatneutraal zijn, dan worden alle keuzemomenten naar voren geschoven. Zo wil een aantal gemeenten in Nederland in 2030 al klimaat- of energieneutraal zijn.

Dat betekent dus eigenlijk dat vanaf 2015 gekozen moet worden voor de definitieve warmteoptie die wordt toegepast en dat er vanaf dan dus ook al 'exit plannen' voor het gasnet beschikbaar moeten zijn, voor die buurten die niet op groen gas verder gaan. Omdat deze plannen nog niet bestaan in Nederland wordt het opstellen hiervan zeer urgent, tenzij dat wordt geaccepteerd dat veel individuele installaties en veel netwerken versneld of niet geheel afgeschreven worden, voordat de eindsituatie ingevuld moet zijn. Daarnaast moeten ook voor de besparingsmaatregelen versnellingspaden worden ontwikkeld, omdat een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2030 betekent dat jaarlijks 100-150% méér gebouwen aangepakt moeten worden. Meer dan een verdubbeling, waarbij ieder jaar dat vanaf nu die aantallen niet worden gehaald extra zwaar op de doelstelling drukt.

Voor het bereiken van een klimaatneutrale gebouwde omgeving zijn aanvullende beleidsinspanningen nodig om de huidige initiatieven te versnellen en om aanvullende initiatieven op te starten, om uiteindelijk, in 2050 het eindbeeld gehaald te hebben.

7.2.4 Samenwerking

Gegeven de afhankelijkheden van een zeer grote en diverse groep stakeholders per buurt, is het noodzakelijk dat in de komende jaren voor het 'transitietraject op buurtniveau' nieuwe overleg-, plan- en management-systemen worden ontwikkeld. Hierbij moet in multilateraal overleg tussen gemeenten, beheerders van infrastructuur, gebouweigenaren, energie-bedrijven en andere stakeholders worden gekeken naar de verwachte ontwikkelingen en de afstemming daarvan. Dit om te voorkomen dat niet iedere partij zijn eigen stappen gaat zetten, waarmee het eindbeeld mogelijk niet bereikt gaat worden. Of anders gezegd, het voorkomen van negatieve lock-ins.

In deze samenwerking moeten onder andere de volgende aspecten besproken worden:

- Vaststellen eindbeelden voor de buurt.
- Afstemming tussen onder- en bovengrondse werkzaamheden.
- Voorbereidingstijd voor gebouweigenaren.
- Keuzemogelijkheden voor gebouweigenaren.
- Afstemming over de uiterste momenten dat keuzes genomen moeten worden.
- Plannen van de 'tijdsvolgordelijkheid' van de keuzes: wat moet eerst, wat komt daarna?



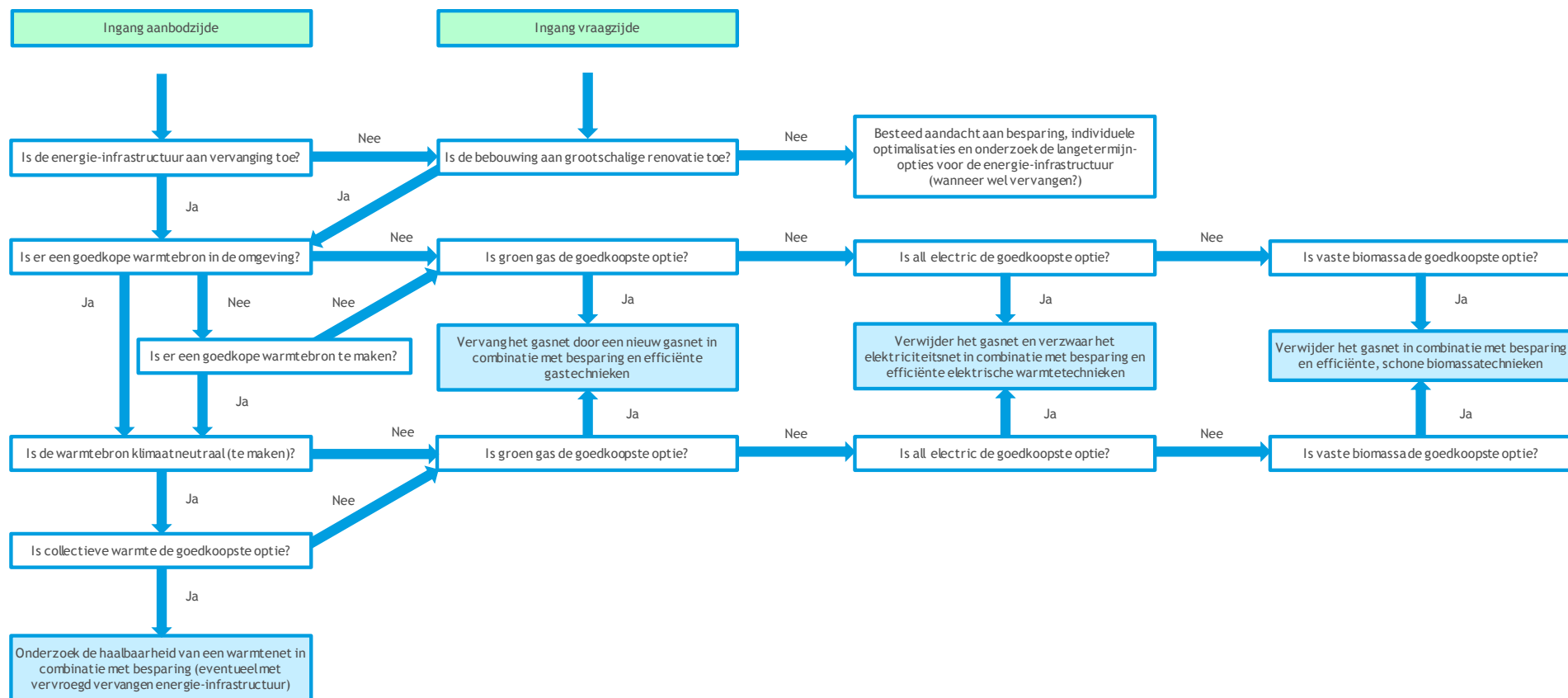
7.3 Stappenplan

Hoewel de transitie naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving niet langs een vooropgezet pad kan verlopen, zijn in het proces en op basis van deze studie wel een aantal generieke stappen te identificeren welke doorlopen kunnen worden door de betrokken stakeholders. Hierbij kan op twee niveaus een stappenplan onderscheiden worden. Een stappenplan voor 'waar' de keuzes zich mogelijk het eerst voor gaan doen. Dit zijn de gebieden waarbij de keuzes relatief eenvoudig zijn en waar goede proposities zijn ontwikkeld voor het klimaatneutraal maken van de woningen. Het tweede stappenplan is van toepassing op de gebieden waar de uitdaging groter is. In Figuur 35 en Figuur 36 worden deze stappenplannen respectievelijk weergegeven.

Figuur 35 Stappenplan voor de eerste meters



Figuur 36 Stappenplan buurten zonder duidelijke propositie



8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Het doel van het onderzoek was om een beeld te schetsen van de eindsituatie (en stappen er naar toe) van de gebouwde omgeving in 2050, wanneer alle buurten in Nederland een klimaatneutrale warmtevoorziening hebben. Hierbij is allereerst gefocust op de woningbouw. Het optimale eindbeeld is gebaseerd op de laagste jaarlijkse kosten per woning per buurttype.

Voor het toepassen van klimaatneutrale energiedragers zijn de kosten op dit moment gemiddeld hoger dan aardgas voor het verwarmen van een woning als wordt gekeken naar de gehele keten van infrastructuur, gebouwaanpassingen, installatie en energiekosten. Om de totale kosten per woning met klimaatneutrale warmtevoorziening zo laag mogelijk te houden, zal eerst extra geïsoleerd moeten worden. Bij het kiezen van de goedkoopste alternatieven voor aardgas, in combinatie met extra isolatie, wordt de warmtevraag teruggebracht van 11 bcm aardgas naar 9 bcm aardgasequivalenten.

De overgebleven warmtevraag kan worden ingevuld met groen gas, duurzame elektriciteit, biomassa of duurzame (rest)warmte.

Welke optie in welke buurt de beste oplossing is, hangt van een aantal factoren af. Uit welk jaar stammen de gebouwen? Wat is de dichtheid van het gebied? En welke gebouwfuncties staan er voornamelijk? Op grond van deze factoren is een buurtindeling gemaakt om zo op buurtniveau te kunnen bepalen welke klimaatneutrale optie in welke buurt het meest geschikt is. Uit het onderzoek blijkt dat het voor de meeste buurttypen het goedkoopst is om al het aardgas te vervangen door groen gas. Wanneer er echter industriële restwarmte of geothermie beschikbaar is, winnen deze opties het in de jongere, stedelijke gebieden qua kosten van de opties met groen gas. Restwarmte is echter lang niet altijd beschikbaar, en zeker niet in niet-stedelijke gebieden. Daarnaast wordt verondersteld dat de beschikbaarheid van groen gas voor de woningen in Nederland beperkt blijft tot ongeveer 1 bcm. Bij een grotere vraag naar groen gas, stijgt de groengasprijs, waardoor andere opties goedkoper worden. Vooral de all electric-opties winnen het hierdoor in een aantal buurttypen van de groengasopties.

Bij het vervangen van aardgas door een andere energiedrager, zijn verschillende stakeholders betrokken. De investeringskosten die noodzakelijk zijn voor de transitie, zijn verdeeld over de diverse partijen. Samenwerking tussen de partijen is noodzakelijk voor een goede afstemming en implementatie van de klimaatneutrale energievoorziening tegen de laagste kosten. Deze samenwerking is met name relevant op de route naar 2050 toe. Doordat er verschillende 'aanvliegroutes' zijn om te komen tot een klimaatneutrale gebouwde omgeving (aanbodzijde via de energie-infrastructuur en vraagzijde via besparing en installaties) en afstemming tussen deze routes noodzakelijk is om tot een optimale route te komen, is tijdig overleg en delen van plannen, kennis en mogelijkheden essentieel voor een soepel verloop van de transitie. Zelfs met deze samenwerking is de uitdaging nog enorm, zonder de samenwerking wordt de uitdaging praktisch onmogelijk.

Een belangrijk onderdeel van de samenwerking is het opstellen van gunstige marktproposities voor de diverse mogelijkheden die er zijn voor woningen en utiliteitsgebouwen. Hierbij moeten de belangen van de diverse stakeholders



tot hun recht komen en moet een gelijke verdeling van de lasten worden nagestreefd.

8.2 Aanbevelingen

- De resultaten van het onderzoek zijn gebaseerd op een gemiddelde buurt per buurttype. Dit geeft een goede indicatie van de goedkoopste vraag-techniek combinatie per buurt en biedt houvast voor beleidsontwikkeling, maar concrete implementatie van de beste oplossing hangt toch ook altijd samen met lokale omstandigheden. Binnen het onderzoek zijn gegevens verzameld van alle buurten in Nederland en in de toekomst is het mogelijk om aan de hand van deze gegevens locatiespecifieke oplossingsrichtingen aan te duiden. Hiermee zouden de uitkomsten van de studie nog beter op de gemeente- of corporatiespecifieke situatie kunnen worden toegepast.
- Per buurt of gemeente moet een projectmatige aanpak worden opgezet waarbij de relevante partijen concrete plannen ontwikkelen om te komen tot de transitie. Hierbij kunnen de projecten in de tijd worden geplaatst, waarbij de ene buurt eerder en de andere later de transitie ondergaat. Hierbij kan rekening worden gehouden met de natuurlijke momenten die onderdeel zijn van de langjarige infrastructuurplannen in Nederland.
- In de huidige studie is gewerkt met een tiental technische opties die kunnen bijdragen aan een klimaatneutrale gebouwde omgeving. Hoewel veranderingen in de gebouwde omgeving zeer langzaam verlopen, staat de techniekontwikkeling niet stil en vinden de komende decennia nog diverse innovaties plaats die een bijdrage aan het eindbeeld in 2050 kunnen geven. In de stakeholdersconsultatie gedurende deze studie is hiervoor reeds een aantal handreikingen gedaan. Het verdient de aanbeveling om te kijken of nieuwe innovaties ook een plek kunnen krijgen in de kwantitatieve onderbouwing voor de beleidsontwikkeling rond klimaatneutrale gebouwen en gebieden.
- Hoewel in deze studie zowel berekeningen zijn uitgevoerd met en zonder belastingen en de verschillen tussen de twee situaties zichtbaar zijn, is het verstandig nader te kijken naar de gevolgen van de belastingen, en dan met name de energiebelasting. Het gaat daarbij in mindere mate om de huidige systematiek van belasting, maar eerder om toekomstige veranderingen die plaats gaan vinden als gevolg van energiebesparing en substitutie naar andere energiedragers als gevolg van de transitie.
- In het onderzoek is gekeken of het mogelijk is om concrete paden te ontwikkelen voor de route naar klimaatneutraal. Een essentieel onderdeel hiervan zijn de vragen rondom de energie-infrastructuur. Er is gebleken dat op dit onderwerp op dit moment nog maar weinig bekend is en dat vragen hoe, waar, wanneer en wat de kosten zijn voor het verwijderen van energie-infrastructuur op grote schaal nog onvoldoende worden gesteld in Nederland. En dat de antwoorden niet aanwezig zijn. De komende jaren zullen deze vragen en antwoorden aandacht moeten krijgen, als de juiste keuzes gemaakt moeten kunnen worden voor de faciliterende infrastructuur.



Bibliografie

ACM. (2013). *Regulatorische Accountingregels voor Regionale Netbeheerders*. Den Haag: Autoriteit Consument en Markt (ACM) (vml. NMa).

CBS. (2014). *Statline*. Opgeroepen op mei 2014, van <http://statline.cbs.nl>

CE Delft. (2011). *Functioneel ontwerp Vesta*. Delft: CE Delft.

CE Delft. (2013). Bepaling gasbesparing door HR-ketel en schilverbetering op basis van statistieken. (B. Schepers, Samensteller) Delft: CE Delft.

CE Delft. (2013). *Maatlat voor zuinige warmtetechnieken*. Delft: CE Delft.

CE Delft. (2013). *Vesta 2.0 - Uitbreidingen en dataverificaties*. Delft: CE Delft.

Delta Energy & Environment. (2012). *2050 Pathways for Domestic Heat*. Edinburgh, Schotland: Delta Energy & Environment.

ECN. (2013). *Eindadvies basisbedragen SDE+ 2014*. Petten: ECN.

ECN. (2013). *Verbetering referentiebeeld utiliteitssector*. Petten: ECN.

ECN. (2014). *Nationale Energieverkenning 2014*. Petten: ECN.

Enexis. (2014). *Kwaliteits- en capaciteitsdocument Gas 2014-2023*. 's-Hertogenbosch: Enexis.

GeoDH. (2014). *Financing Geothermal District Heating*. Opgeroepen op september 2014, van Geothermal District Heating (GeoDH): <http://geodh.eu/factsheet-on-financing-geothermal-district-heating/>

Groen Gas Forum. (2014). *Routekaart hernieuwbaar gas*. s.i.: De Gemeyn, ECN, Groen Gas Nederland, RVO.

Liander. (2014, mei 22). Gasveiligheid, gewoon grootschalig saneren? (K. v. Maas, Samensteller) Den Haag: Liander Asset Management.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2014). *Klimaatmonitor*. Opgeroepen op september 2014, van <http://klimaatmonitor.databank.nl>

Netbeheer Nederland. (2014). *Betrouwbaarheid van elektriciteitsnetten in Nederland - Resultaten 2013*. Den Haag: Netbeheer Nederland.

Netbeheer Nederland. (2014). *Betrouwbaarheid van gasdistributienetten in Nederland - Resultaten 2013*. Den Haag: Netbeheer Nederland.

Richters, C. (2013). *Inzending Aardrode aardwarmte*. Opgeroepen op oktober 2014, van BNA Gebouw van het jaar 2013: http://gebouwwanhetjaar.nl/prijsvraag/preview.php?prijsvraag_name=prijsvraag18&id=2990

RVO. (2011). *Voorbeeldwoningen 2011 Bestaande bouw*. Sittard: Agentschap NL.



RVO. (2014). *Database*. Opgeroepen op september 2014, van <http://senternovem.databank.nl>

SER. (2013). *Energieakkoord voor duurzame groei*. Den Haag: Sociaal Economische Raad (SER).

SodM. (2010). *Rapport van het onderzoek van SodM naar de saneringsplannen voor brosse leidingen door de gasnetbeheerders*. Den Haag: Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).



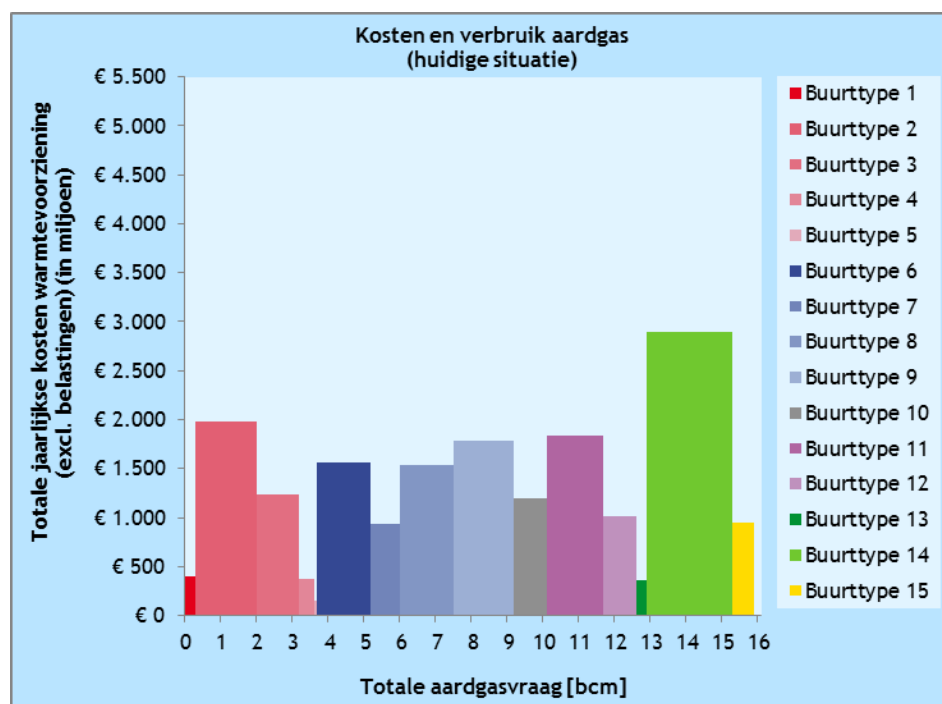
Bijlage A Resultaten totale gebouwde omgeving

A.1 Aardgas wordt groen gas

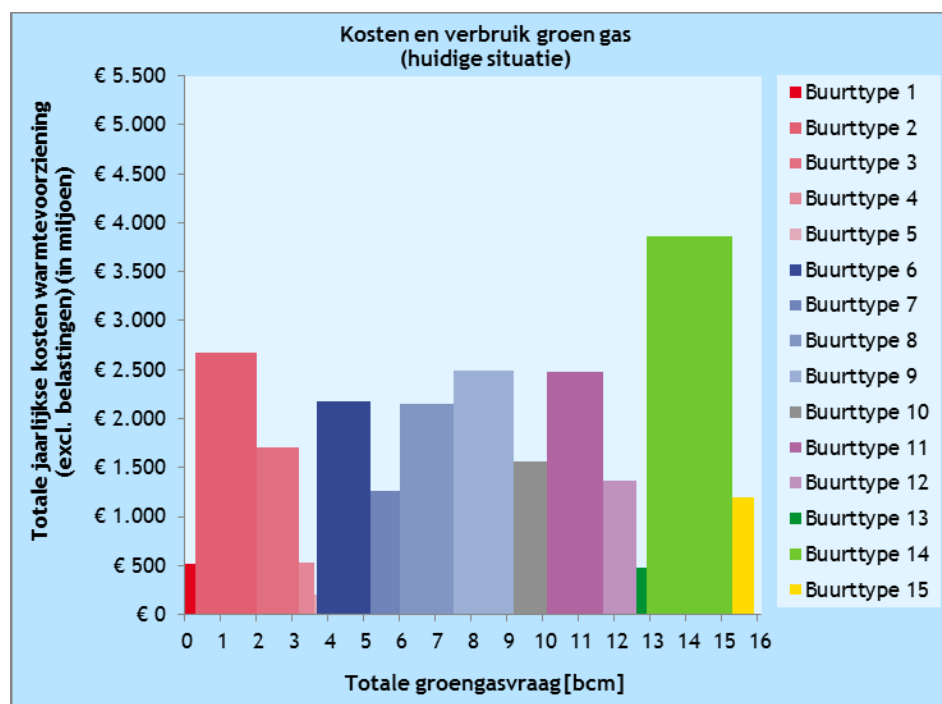
De makkelijkste optie voor het klimaatneutraal maken van de gebouwde omgeving is het 1-op-1 vervangen van aardgas door groen gas. Door deze hernieuwbare en CO₂-vrije energiebron te gebruiken, in plaats van aardgas, zijn minimale aanpassingen nodig aan de infrastructuur en installaties. Daarnaast biedt het de mogelijkheid om recente innovaties als de micro-WKK (Stirling of brandstofcel), gaswarmtepomp of hybride HR/warmtepomp toe te passen. En omdat deze technieken een verwachte levensduur van 15-20 jaar hebben, worden hiervan tot 2050 nog enkele generaties toegepast en kunnen eventuele veranderingen in de samenstelling van het gas (tijdens de overgang van 100% aardgas naar 100% groen gas) geleidelijk worden ondervangen.

Hoewel deze transitie naar groen gas ogenschijnlijk eenvoudig lijkt, liggen de kosten van de productie van groen gas wel aanzienlijk hoger dan voor aardgas. Door een directe substitutie van aardgas, leidt het gebruik van groen gas dus ook tot een stijging van de totale kosten van de warmtevoorziening. De volgende figuren geven dit weer (Figuur 37 en Figuur 38).

Figuur 37 Totale kosten warmtevoorziening en hoeveelheid aardgasverbruik per buurttype (woningen en utiliteit)



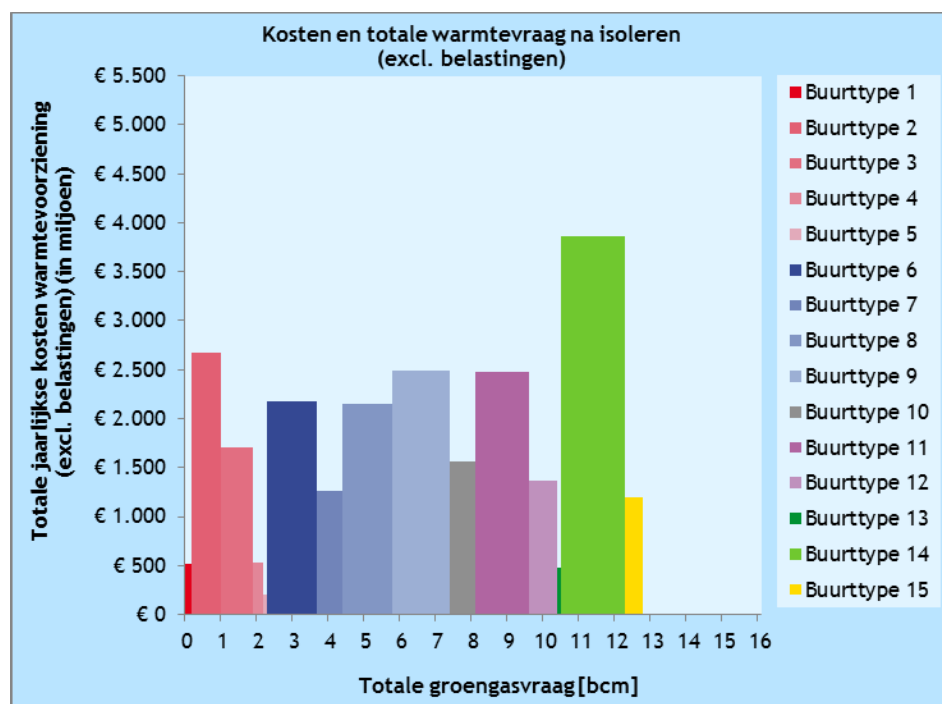
Figuur 38 Totale kosten warmtevoorziening bij substitutie naar groen gas (woningen en utiliteit)



Deze stijgende kosten hebben als eerste-orde-effect dat er rendabele besparing plaats gaat vinden. Hierdoor daalt de totale vraag naar gas. Bij overwegend ‘beperkte’ besparingsmaatregelen¹⁶ betekent dit dat het huidige verbruik van 15-16 bcm naar 12-13 bcm groen gas daalt (zie Figuur 39). De figuur laat zien dat bij hogere kosten voor groen gas, rendabele besparingsmaatregelen worden getroffen, zodat de totale kosten in de keten lager zijn.

¹⁶ Ter indicatie: woningen komen uit op een D-label.

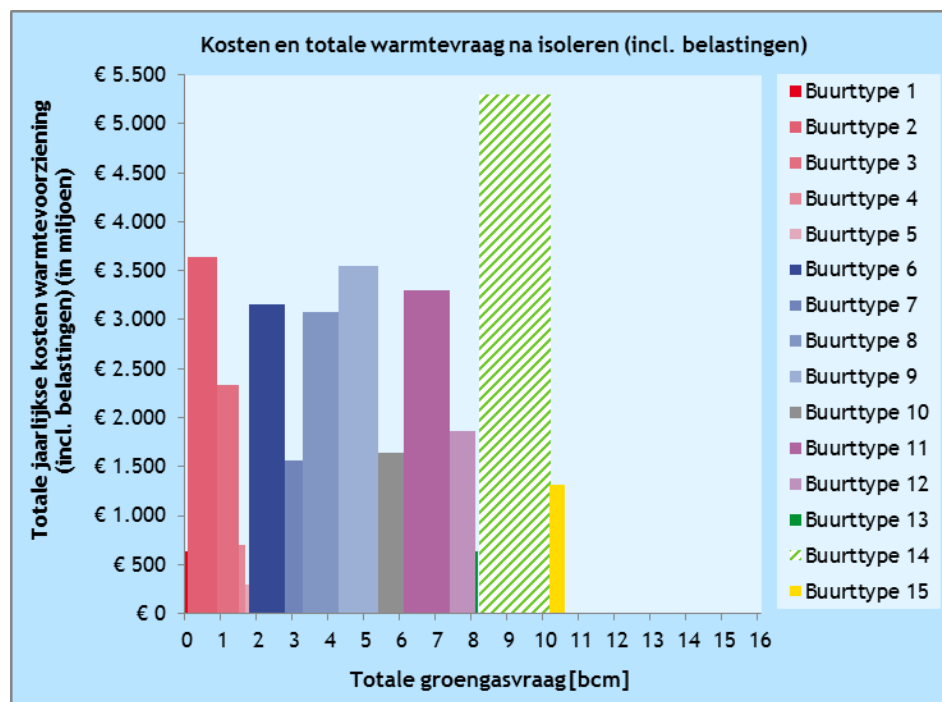
Figuur 39 Totale kosten warmtevoorziening en groengasverbruik na besparing (woningen en utiliteit)



Een tweede-orde-effect is dat alternatieven interessanter worden naarmate de groengasopties duurder worden. Deze alternatieven vereisen vergeleken met de gas-opties hogere investeringen, maar kennen lagere exploitatiekosten. Daarnaast speelt de beschikbaarheid van groen gas een rol. Nederland heeft zelf maar een beperkte capaciteit voor de productie en zal bij een grote vraag dus sterk afhankelijk zijn van de wereldmarkt, waar de beschikbaarheid ook niet eindeloos is. Er mag dan ook aangenomen worden dat naarmate de vraag naar groen gas hoger is, de prijs daarvan ook stijgt.

De berekeningen zijn in eerste instantie uitgevoerd zonder rekening te houden met de belastingen. Wanneer deze echter wel mee worden genomen, dan wordt duidelijk dat er nog meer bespaard gaat worden, omdat de energiekosten per gebouw nog hoger zijn. De onderstaande figuur laat dezelfde situatie zien als Figuur 39, maar dan met belastingen. Hierin is duidelijk te zien dat de kosten toenemen, maar de totale vraag tegelijkertijd afneemt.

Figuur 40 Totale kosten warmtevoorziening en groengasverbruik na besparing (inclusief belastingen) (woningen en utiliteit)



Opmerking: Buurrtype 14 verandert door het meenemen van de belastingen in all electric.

Variaties op de basissituatie

In deze *basissituatie* wordt gerekend met een HR-ketel, maar variaties met andere individuele technieken zijn ook mogelijk. Dit leidt echter niet altijd tot een verbetering van de situatie. Zo leidt het toepassen van een brandstofcel-WKK weliswaar tot meer energiebesparing (hogere investeringskosten, waardoor meer isoleren rendabel wordt), maar stijgt de vraag naar groen gas harder dan er bespaard wordt, door het lagere thermische rendement van de brandstofcel. En hoewel er door de brandstofcel een grote hoeveelheid elektriciteit wordt geproduceerd, weegt dit niet op tegen de hogere kosten van het groen gas¹⁷. Het toepassen van een brandstofcel voor gezamenlijke productie van warmte en kracht is weliswaar energetisch het gunstigst, maar het is financieel steeds minder interessant, doordat de kosten van aard- of groen gas en elektriciteit steeds verder uit elkaar gaan lopen. Een mogelijke uitzondering hierop is het combineren van buurten met WKK-opties met buurten met all electric-opties, waarbij de ene buurt de andere buurt van elektriciteit voorziet. Dit is echter niet met het huidige model te bepalen.

A.2 Belemmerende factoren

Uit diverse studies blijkt dat het potentieel voor de productie van groen gas in Nederland en de wereld beperkt is. In de Routekaart hernieuwbaar gas (Groen Gas Forum, 2014) wordt de potentiële, nationale productie geschat op 2,2 bcm groen gas in 2030. Voor de berekeningen in deze studie nemen we aan dat het potentieel en de kosten van groen gas in deze bandbreedte liggen.

¹⁷ De groen gas kosten in €/GJ liggen hoger dan die van elektriciteit, dus op iedere geproduceerde kWh wordt 'verlies' geleden.

Figuur 39 in de voorgaande paragraaf laat zien wat de vraag naar groen gas is bij het kiezen van de financieel meest rendabele opties, uitgaande van een prijsniveau van 0,75 €/m³. Dit komt neer op een hoeveelheid van 12-13 bcm. Dit is aanzienlijk meer dan het berekende potentieel voor Nederland¹⁸.

Aangezien het potentieel in belangrijke mate aanbodgestuurd is en wordt bepaald door de beschikbaarheid van geschikte grondstoffen. Dit leidt er toe dat de kosten nog verder zullen toenemen. Een alternatief kan de import van groen gas zijn.

Aan de hand van het technisch potentieel van 2 bcm, wordt in de volgende paragrafen bepaald voor welke prijs van groen gas er een markt is in Nederland en wanneer alternatieven interessant(er) worden.

A.3 Interessante alternatieven

Door een stijgende prijs van groen gas worden alternatieven interessanter. In deze studie is berekend wat de totale kosten van alle opties zijn. Er is bepaald bij welke prijs van groen gas de totale kosten van deze alternatieve opties lager worden dan de groen gas-optie. Echter, aangezien het overstappen naar een nieuwe energievoorziening met veel onzekerheden gepaard gaat (en gegeven de bandbreedtes in de berekeningen), moet een alternatieve optie wel significante meerwaarde bieden ten opzichte van de huidige situatie, wil de optie worden ingevoerd. De alternatieve optie moet dus als het ware eerst een drempelwaarde over, voordat deze daadwerkelijk 'beter' is dan de groen gas-optie¹⁹.

Uit de voorgaande paragraaf leren we dat groen gas, bij een prijs van 0,75 €/m³ (exclusief belastingen), bij alle buurttypen de voorkeursoptie is: De totale kosten van alternatieven zijn hoger of komen niet over de drempelwaarde. Dit leidt echter wel tot een vraag die vele malen hoger is dan het technische potentieel voor de productie van groen gas in Nederland. Met het model kan nu inzichtelijk worden gemaakt bij welk prijsniveau de vraag en het aanbod in balans zijn. Figuur 41 laat het verloop van de prijs en de vraag naar groen gas zien. Hieruit komt naar voren dat bij een kostprijs van 1,10 €/m³ (exclusief belastingen) de vraag naar groen gas vanuit de gebouwde omgeving rond het technisch potentieel van 2 bcm uitkomt. Het naar beneden brengen van het verbruik van groen gas, wordt enerzijds bereikt door aanvullende besparingen (door de hogere kosten) en anderzijds door substitutie naar alternatieven.

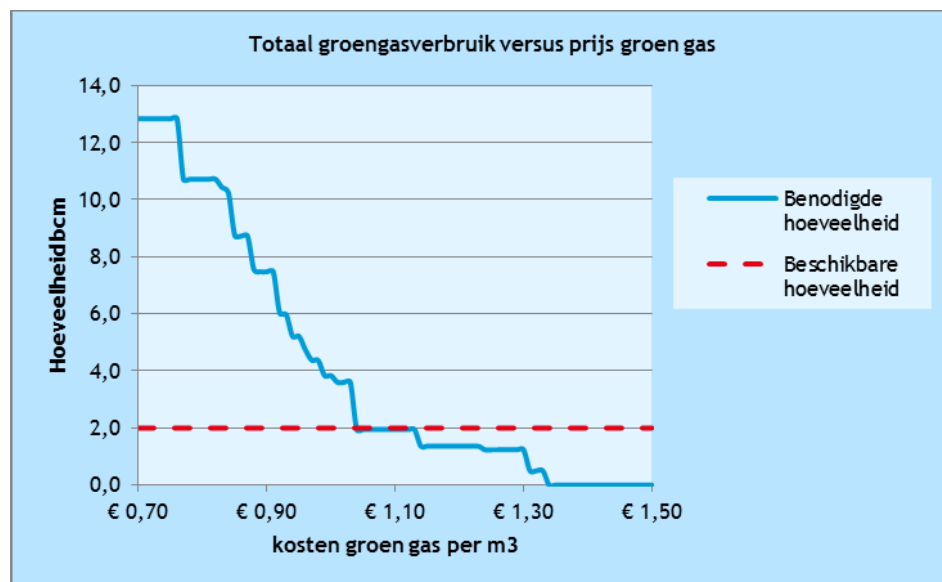
Allereerst worden de grafieken getoond van de situatie waar groen gas € 0,75 per m³ kost (Figuur 42 en Figuur 43). Dit zijn dezelfde uitkomsten als die eerder dit hoofdstuk zijn weergegeven, maar dan met de warmtevraag weergegeven in PJ. Zo kan de warmtevraag die wordt ingevuld door de verschillende energiedragers beter met elkaar worden vergeleken.

¹⁸ Daarnaast wordt in de studie van Groen Gas Forum ook rekening gehouden met een vraag naar groen gas vanuit de sectoren industrie en vervoer.

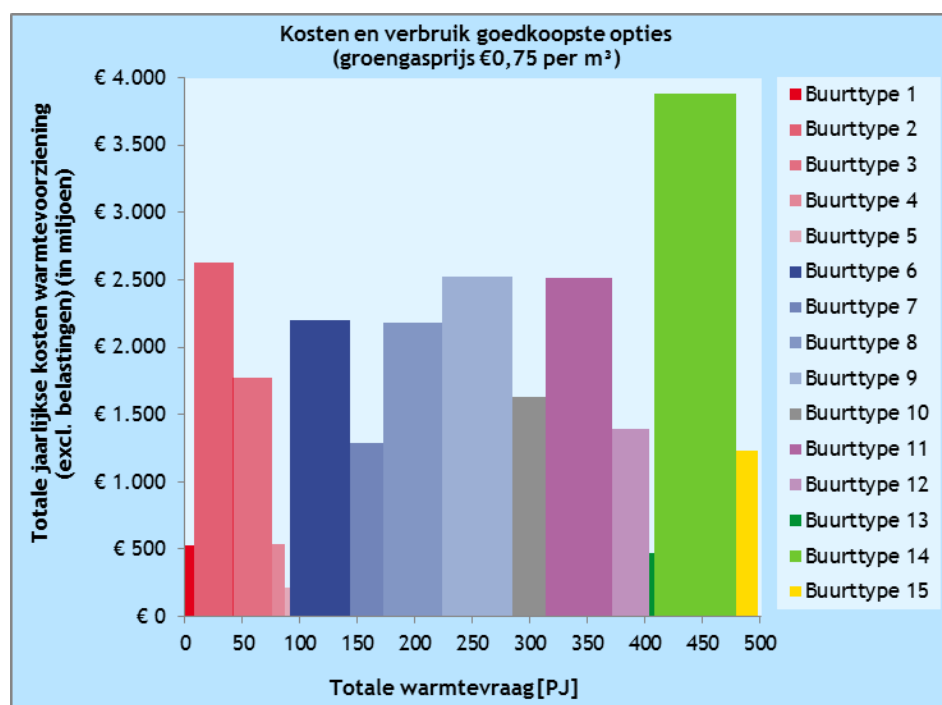
¹⁹ In deze studie is voor gebouwen aangenomen dat de jaarkosten minimaal € 100,00 lager moeten zijn, wil de optie mogelijk worden. Hiermee wordt tevens gecorrigeerd voor eventuele onzekerheden in de berekeningen en de verschillen tussen de berekende en werkelijke gebruiken.

Figuur 41 geeft informatie over de kosten en de warmtevraag per buurttype. Figuur 42 laat zien welke energiedragers in welk gebied de goedkoopste opties zijn. De twee grafieken worden gevolgd door een afbeelding waarin de verdeling van energiedragers in heel Nederland wordt weergegeven.

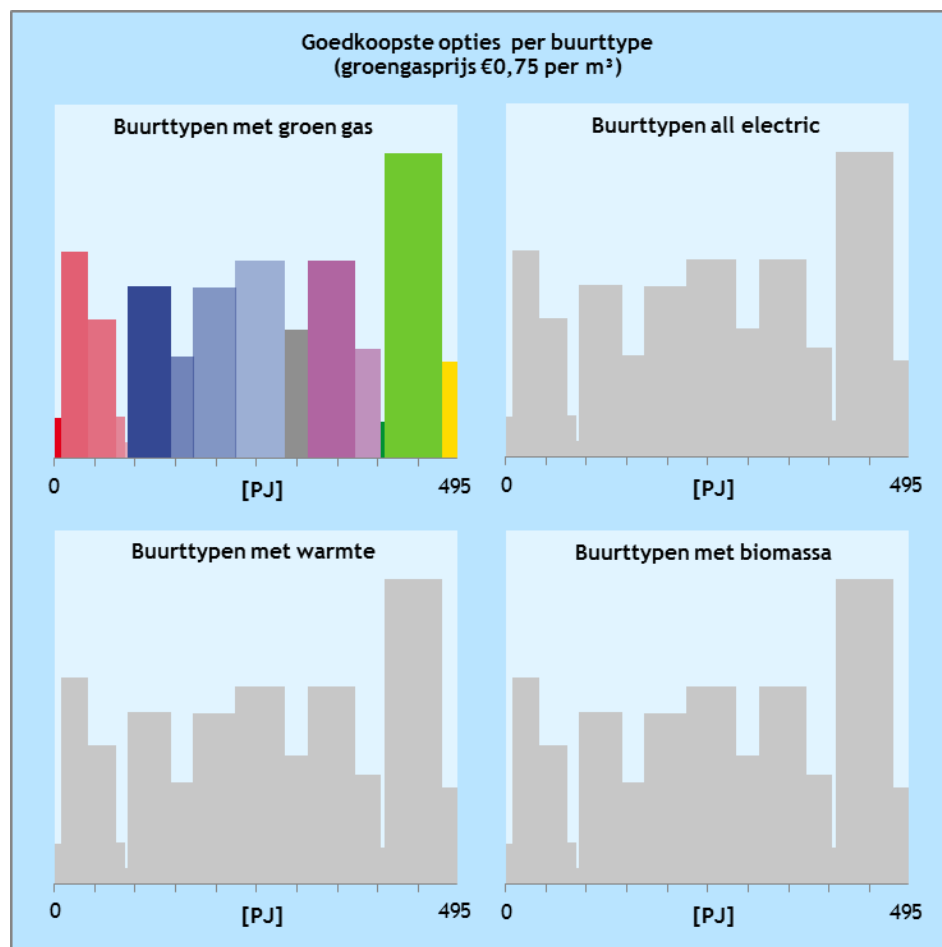
Figuur 41 Verloop vraag groen gas per prijsniveau



Figuur 42 Kosten na isoleren en warmtevraag in PJ per buurttype (groengasprijs € 0,75 per m³) (woningen en utiliteit)



Figuur 43 Financieel meest voordelige energiedragers per buurttype (groengasprijs van € 0,75 per m³) (woningen en utiliteit)

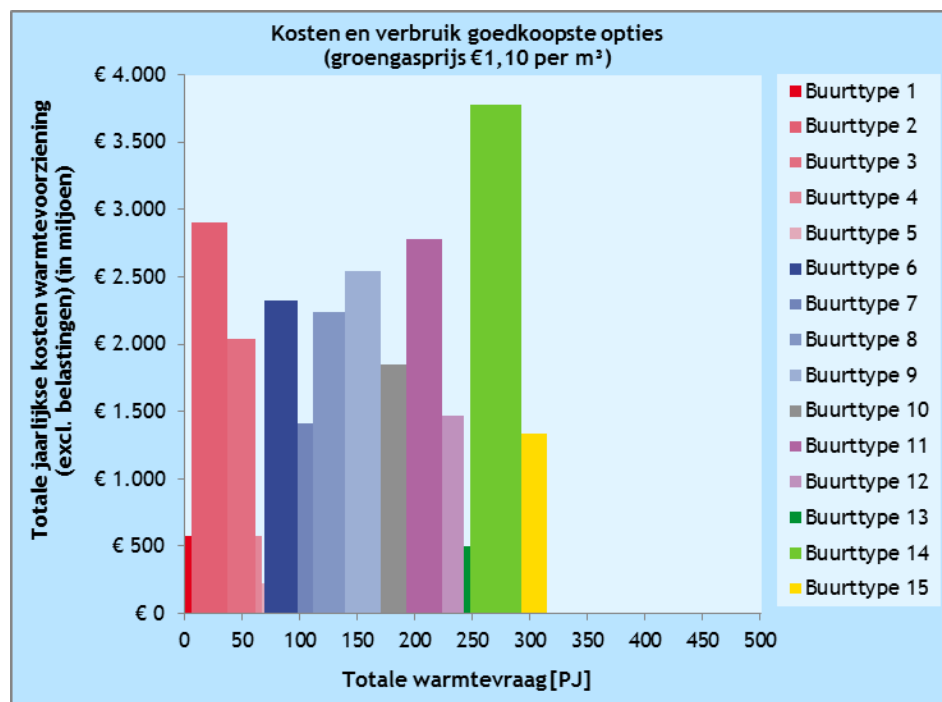


Figuur 44 Verdeling energiedragers over heel Nederland (groengasprijs van € 0,75 per m³) (woningen en utiliteit)

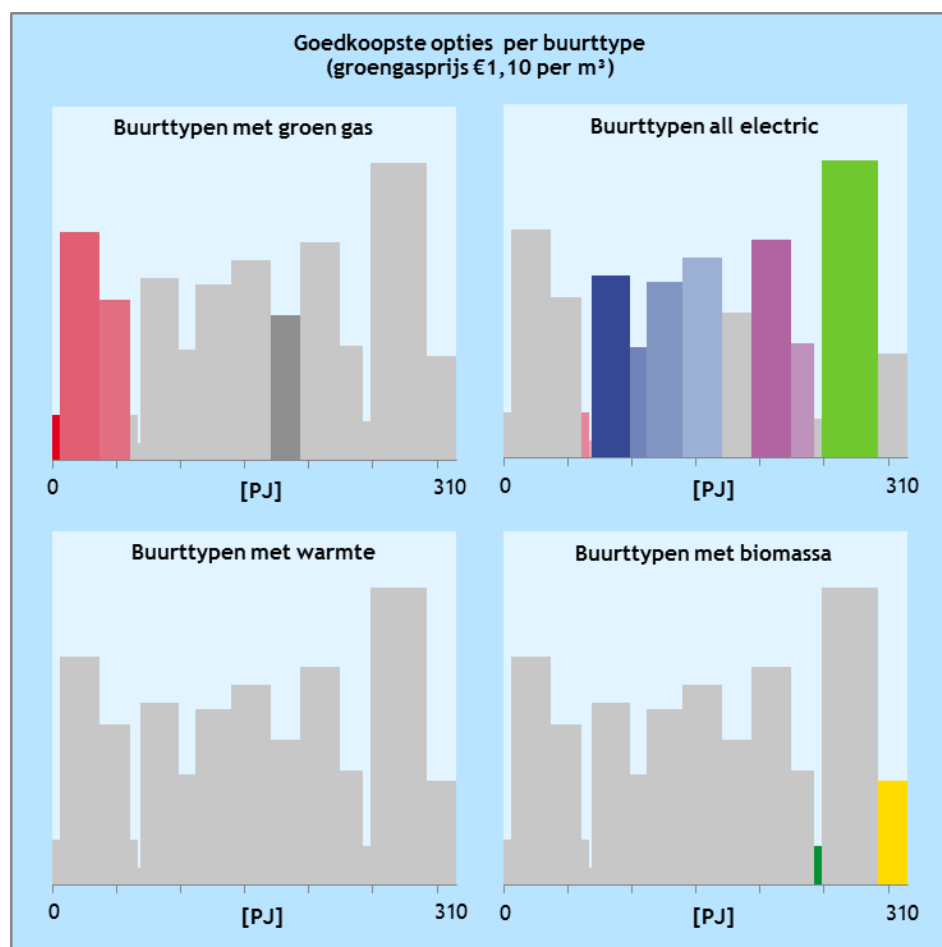


In de volgende grafieken (Figuur 45 en Figuur 46) wordt weergegeven wat de effecten zijn van de verhoging van de groengasprijs doordat de vraag groter is dan het aanbod. Duidelijk is te zien, dat groen gas in bepaalde gebieden aanwezig blijft, maar dat met name de all electric-optie en ook vaste biomassa in de andere buurttypen goedkoper worden.

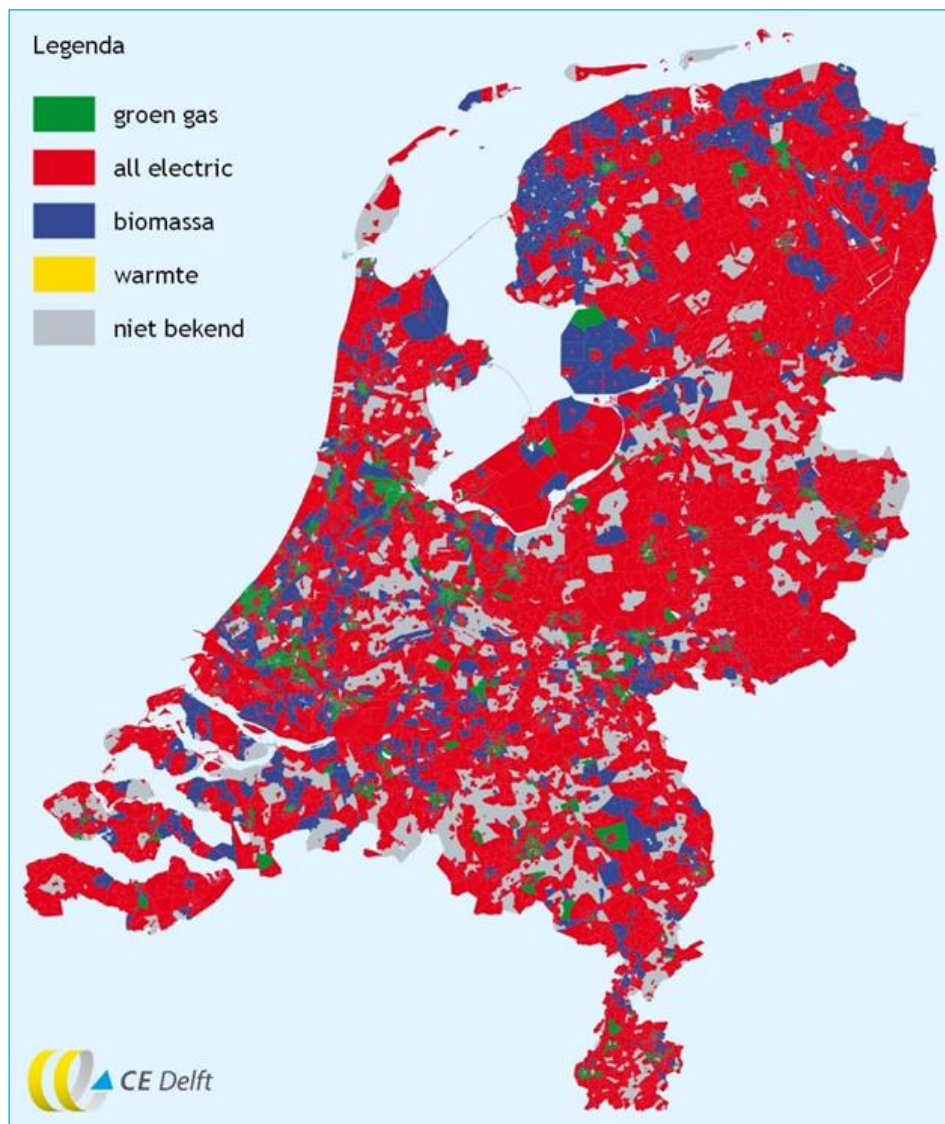
Figuur 45 Kosten na isoleren en warmtevraag in PJ per buurttype (groengasprijs € 1,10 per m³) (woningen en utiliteit)



Figuur 46 Financieel meest voordelige energiedragers per buurttype (groengasprijs van € 1,10 per m³) (woningen en utiliteit)



Figuur 47 Verdeling energiedragers over heel Nederland (groengasprijs van € 1,10 per m³) (woningen en utiliteit)



A.4 Kansrijke omstandigheden voor alternatieven

In de voorgaande berekeningen is per buurttype uitgegaan van de zogenaamde basissituatie voor de instellingen/parameters in de modelberekening. Dit betekent dat de berekeningen zijn uitgevoerd met instellingen die voor iedere buurt in Nederland mogelijk zijn. Dit is met name een relevante keuze voor de collectieve warmteopties. In de basissituatie wordt gerekend met een wijk-WKK op groen gas, omdat deze optie zo goed als overal toepasbaar is.

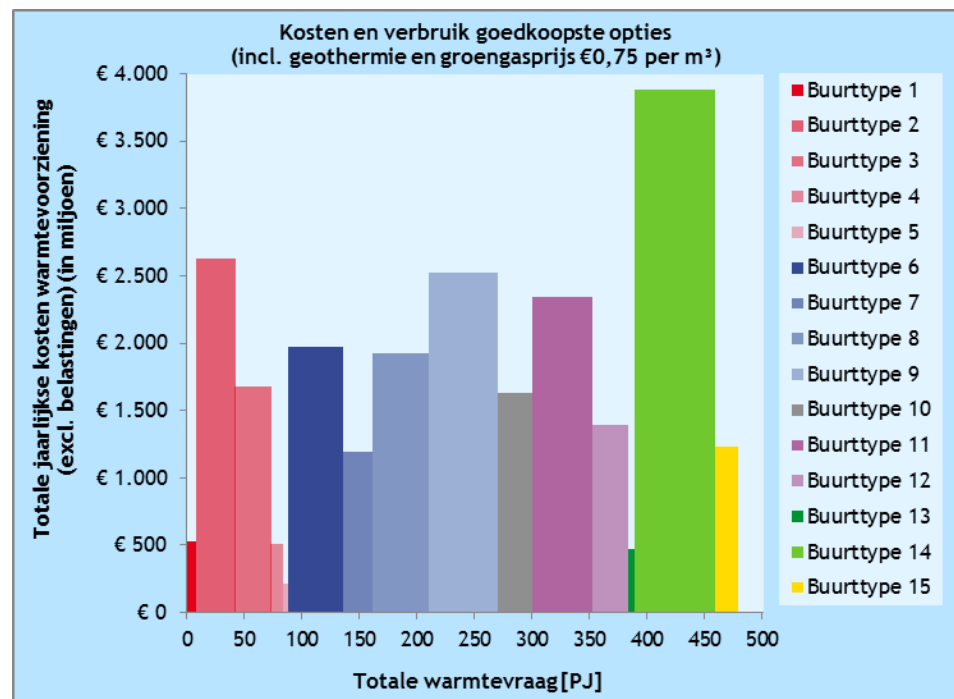
In Nederland zijn er echter ook andere bronnen voor collectieve warmte beschikbaar, zoals (industriële) restwarmte of geothermie. Op voorhand is echter niet bekend of en waar deze opties beschikbaar zijn en toegepast kunnen worden bij een buurttype en daarom worden zij niet meegenomen in de basissituatie.

In het algemeen kan worden aangenomen dat collectieve restwarmtebronnen zich voornamelijk rond stedelijk gebied bevinden. In dit onderzoek wordt deze aanname vertaald naar een optionele collectieve warmtebron voor buurttypen met een stedelijkheid van 1-3. De gebieden waar zo'n restwarmtebron al aanwezig is, zijn namelijk het meest geschikt voor het gebruik van collectieve warmte.

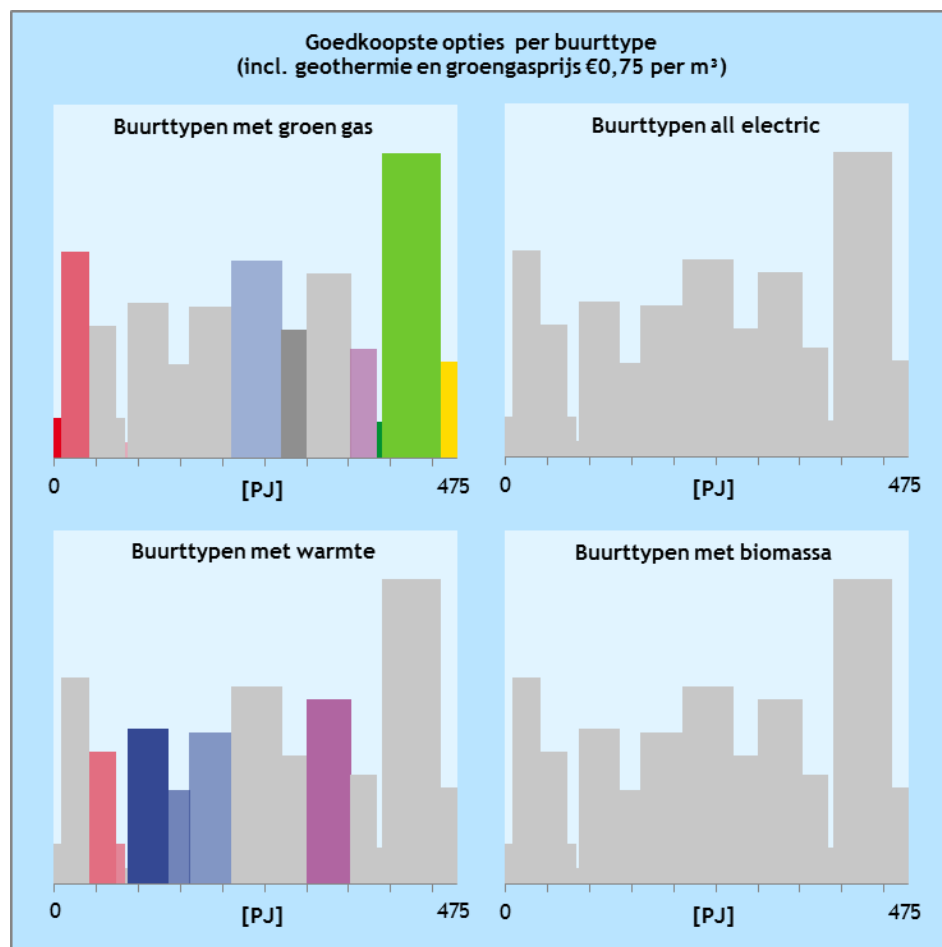
Restwarmte uit de industrie komt echter vaak van fossiele brandstoffen en wordt dus niet gezien als een klimaatneutrale warmtebron. Op den duur zullen de buurten die op fossiele restwarmte worden aangesloten, uiterlijk in 2050 geothermie als warmtebron moeten krijgen. In de berekeningen wordt daarom uitgegaan van de kosten voor geothermie. Deze liggen in dezelfde range als de kosten voor restwarmte uit de industrie.

Er is bepaald wat het effect van deze goedkope bronnen is op de uitkomsten voor de buurttypen. Figuur 48 laat zien dat als er een goedkope warmtebron beschikbaar is voor en buurttype, het voor de meeste stedelijke buurten de goedkoopste optie wordt om deze te benutten voor de warmtevraag van de gebouwen. De buurten buiten de stedelijke omgeving zijn, net als in de basissituatie, aangewezen op de wijk-WKK's, die niet goedkoper zijn dan de andere opties.

Figuur 48 Effecten van de beschikbaarheid van een goedkope, collectieve warmtebron(kosten o.b.v. geothermie) en een groengasprijs van € 0,75 per m³ (woningen en utiliteit)



Figuur 49 Financieel meest voordelige energiedragers per buurttype (incl. geothermie en groengasprijs van € 0,75 per m³) (woningen en utiliteit)



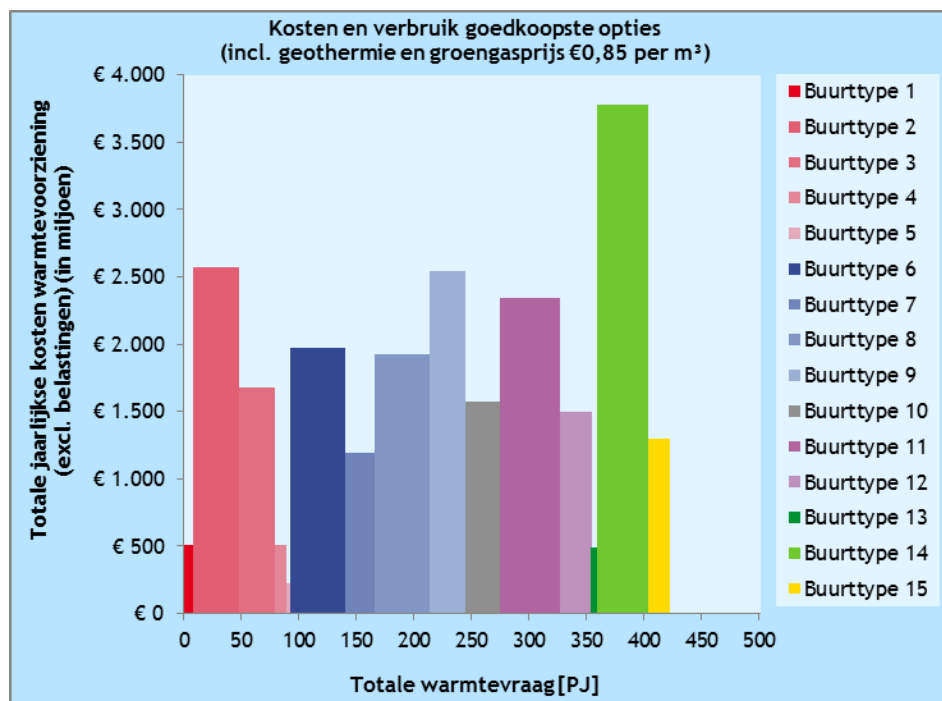
Figuur 50 Verdeling energiedragers over heel Nederland (incl. geothermie en groengasprijs van € 0,75 per m³) (woningen en utiliteit)



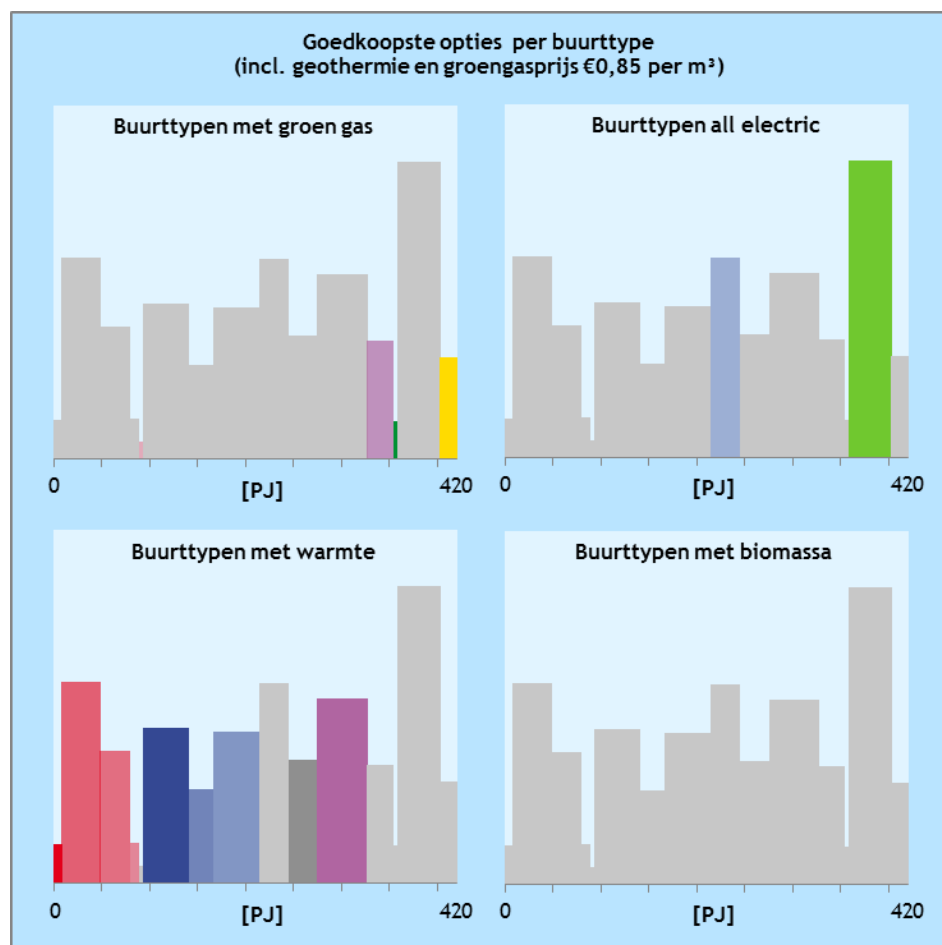
Hieruit kan geconcludeerd worden dat als er een collectieve warmtebron aanwezig is, gebruik hiervan bij de meeste buurttypen de beste oplossing voor een klimaatneutrale gebouwde omgeving is.

Ook voor deze optie geldt dat we uitgaan van een beperkte beschikbaarheid van groen gas, van ongeveer 2 miljard kubieke meter. Bij bovenstaande optie (incl. geothermie en een groengasprijs van € 0,75 per m³), is er 6 miljard m³ groen gas nodig. Als er meer nodig is dan beschikbaar, stijgt de prijs. Bij een groengasprijs van € 0,85 per m³, zullen andere opties goedkoper worden dan de groengasopties, en is er nog maar 2 miljard m³ groen gas benodigd. Resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 51 en Figuur 52.

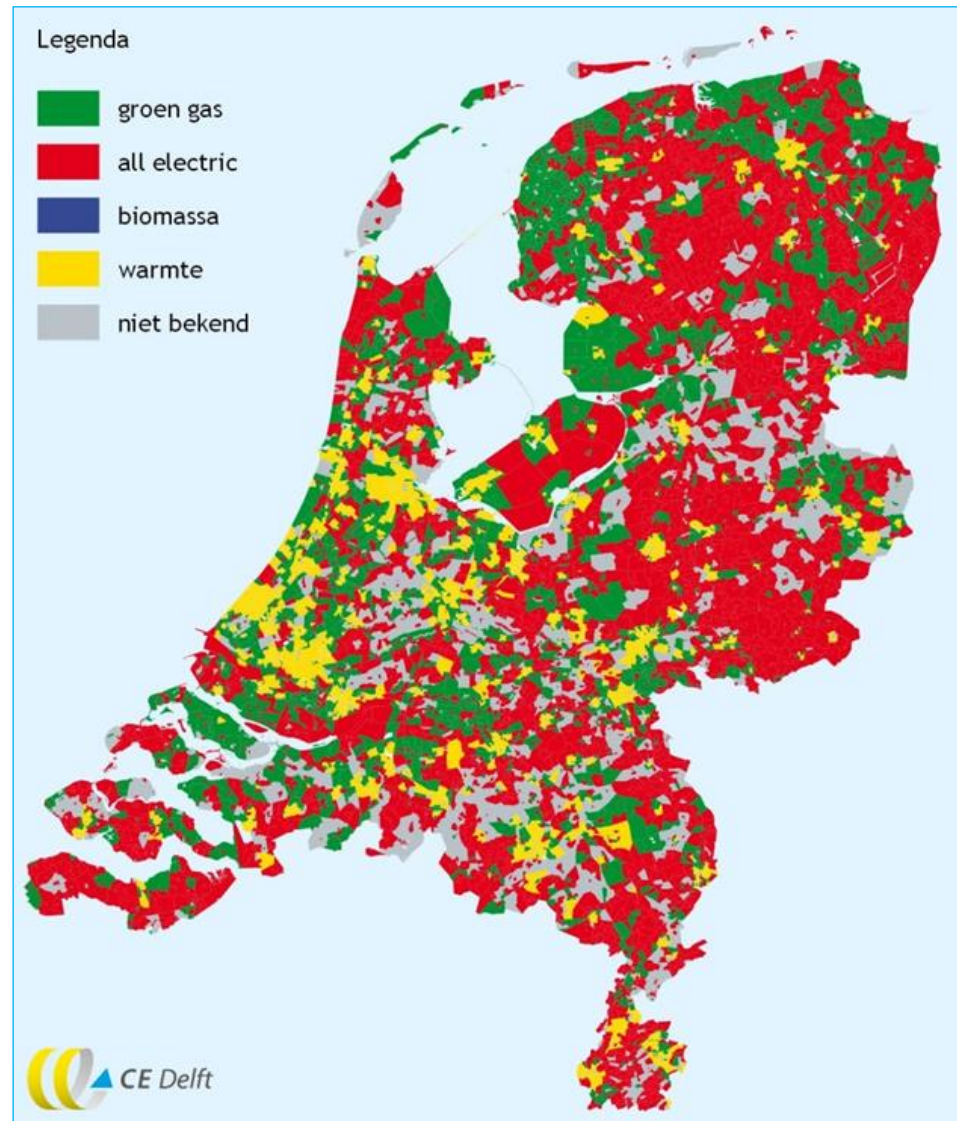
Figuur 51 Effecten van de beschikbaarheid van een goedkope, collectieve warmtebron (kosten o.b.v. geothermie) (woningen en utiliteit) en een groengasprijs van € 0,85 per m³



Figuur 52 Financieel meest voordelige energiedragers per buurttype (incl. geothermie en groengasprijs van € 0,85 per m³) (woningen en utiliteit)



Figuur 53 Verdeling energiedragers over heel Nederland (incl. geothermie en groen gasprijs van € 0,85 per m³) (woningen en utiliteit)



Een belangrijk aandachtspunt hierbij is echter wel dat het succes hiervan sterk afhankelijk is van de lokale omstandigheden. In werkelijkheid is het niet altijd mogelijk om de restwarmte nuttig toe te passen, omdat er mogelijk problemen zijn met het temperatuurniveau, met het moment van beschikbaar zijn of door andere praktische belemmeringen. Daarnaast is geothermie niet overal in Nederland mogelijk. Hierdoor kan de situatie ontstaan, dat voor een locatie industriële restwarmte beschikbaar is, maar dat geothermie niet mogelijk is. Mocht die restwarmte uit een fossiele bron komen, dan moet dit op termijn worden vervangen door een hernieuwbare optie als geothermie. Als dit niet mogelijk blijkt, dan is er een negatieve *lock-in* ontstaan door de aanleg van de warmte-infrastructuur. Dit betekent dus dat er op voorhand goed gekeken moet worden naar de langetermijnmogelijkheden voor de klimaatneutrale voorziening op locatie.

Onderdeel van de huidige collectieve systemen is een installatie voor de piekvraag en/of back-up. Op dit moment worden deze in bijna alle gevallen ingevuld door gasketels. Ondanks ontwikkelingen op het vlak van thermische opslag en *smart thermal grids*, is de verwachting dat deze installaties ook in de toekomst nodig zullen zijn. Hoewel niet op voorhand te zeggen is wat de omvang van deze optie gaat zijn, of welke energiebron hierbij wordt toegepast (ook bio-olie is een optie), kan groen gas ook bij de collectieve opties een belangrijke rol blijven spelen voor de piekvraag/back-up.

A.5 De aardgastransitie

A.5.1 De rol van (aard)gas

Het antwoord op de vraag welke rol gas kan spelen in een klimaatneutrale gebouwde omgeving is afhankelijk van vele facetten. In deze studie is een eerste aanzet gemaakt bij het in kaart brengen deze facetten.

Aardgas uitfasen en vervangen door groen gas is de makkelijkste en goedkoopste optie als groen gas tegen kosten van 0,75 €/m³ (exclusief belastingen) geproduceerd kan worden. Deze verhoging van de energiekosten zorgt weliswaar overal tot een besparing bij gebouwen door extra isolatie, maar zorgt er nog niet voor dat alternatieven significant goedkoper worden. Wel leidt het vervangen van aardgas door groen gas tot een erg hoge vraag naar groen gas, hoger dan in Nederland geproduceerd kan worden. Als wordt aangenomen dat voor de gebouwde omgeving 2 bcm groen gas beschikbaar is, dan is bij een prijs van 1,10 €/m³ de vraag en het aanbod in balans. Groen gas wordt dan enkel nog toegepast in de hoogstedelijke, vooroorlogse buurten en hoogstedelijke wederopbouwbuurten en de 'overige' buurten (type 15, industriegebieden). De andere buurten verschuiven vooral naar all electric opties met warmtepompen. In omgevingen waar de negatieve effecten van biomassaverbranding (zoals fijnstofemissie) niet tot problemen leiden²⁰, wordt biomassa als energiedrager toegepast. In kantoorgebieden (type 10) schakelen de woningen en utiliteitsgebouwen over op WKO.

Indien in hoogstedelijke gebieden een goedkope warmtebron aanwezig is in de vorm van (industriële) restwarmte of geothermie, dan is een systeem van collectieve warmtelevering altijd de optie met de laagste totale kosten. Deze optie kan eventueel gecombineerd worden met een WKO of koeling met hogetemperatuurwarmte²¹. De andere buurttypen behouden in deze situatie de voorkeur voor groen gas. Bij een groengasprijs van 0,75 €/m³ levert dit een vraag van 6 bcm. Bij een kostprijs van 0,90 €/m³ is dit gedaald naar rond de 2 bcm. Op dat moment vindt in buurttypen 5, 12, 13 en 15 nog gaslevering plaats. In de buurttypen 9 en 14 is all electric de goedkoopste optie.

²⁰ Dit zijn de landelijke buurttypen met een stedelijkheid van 4 of 5.

²¹ Voor buurttype 2 geldt hierbij een uitzondering, dat warmtelevering weliswaar lagere kosten heeft, maar dat deze niet de drempelwaarde halen om de verandering in gang te zetten.



Bijlage B Uitgangspunten basissituatie



Tabel 8 Uitgangspunten voor basissituatie woningen

Techniekoptie	Besparings-niveau	Basissituatie					Add on	Alternatieven
		Ruimte	Tapwater	Koeling	Ventilatie	Afgifte		
1. Gas (HT)	Beperkt	HR-ketel	HR-ketel	Geen	Natuurlijk	HT-radiatoren		Gaswarmtepomp (l/b), micro-WKK (Stirling/brandstofcel), hybride HR/warmtepomp
	Ruim	HR-ketel	HR-ketel	Geen	Mechanisch	HT-radiatoren	WTW	
	Maximaal	HR-ketel	HR-ketel	Splitsysteem	Balans	HT-radiatoren	WTW, PV, ZoBo	
2. Gas (LT)	Beperkt	Gaswarmtepomp (lucht)	Gaswarmtepomp (lucht)	Geen	Natuurlijk	LT-radiatoren		HR-ketel, GWP (b), micro-WKK (Stirling/brandstofcel), hybride HR/warmtepomp
	Ruim	Gaswarmtepomp (lucht)	Gaswarmtepomp (lucht)	Geen	Mechanisch	LT-radiatoren	WTW	
	Maximaal	Gaswarmtepomp (lucht)	Gaswarmtepomp (lucht)	Splitsysteem	Balans	Vloer/wand	WTW, PV, ZoBo	
3. All electric	Beperkt	Lucht/water-wp	Elektrische boiler	Geen	Natuurlijk	LT-radiatoren		Water/water-wp
	Ruim	Lucht/water-wp	Elektrische boiler	Geen	Mechanisch	LT-radiatoren	WTW	
	Maximaal	Lucht/water-wp	Elektrische boiler	Vloerkoeling	Balans	Vloer/wand	WTW, PV, ZoBo	
4. All electric	Beperkt	Weerstandsverwarming	Elektrische boiler	Geen	Natuurlijk	N.v.t.		Infraroodpanelen
	Ruim	Weerstandsverwarming	Elektrische boiler	Geen	Mechanisch	N.v.t.	WTW	
	Maximaal	Weerstandsverwarming	Elektrische boiler	Splitsysteem	Balans	N.v.t.	WTW, PV, ZoBo	
5. Warmte (HT)	Beperkt	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Geen	Natuurlijk	HT-radiatoren		AVI, industriële restwarmte, geothermie, biomassacentrale
	Ruim	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Geen	Mechanisch	HT-radiatoren	WTW	
	Maximaal	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Splitsysteem	Balans	HT-radiatoren	WTW, PV, ZoBo	
6. Warmte (LT)	Beperkt	Wijk-WKK	Elektrische boiler	Geen	Natuurlijk	LT-radiatoren		AVI, industriële restwarmte, geothermie, biomassacentrale
	Ruim	Wijk-WKK	Elektrische boiler	Geen	Mechanisch	LT-radiatoren	WTW	
	Maximaal	Wijk-WKK	Elektrische boiler	Splitsysteem	Balans	Vloer/wand	WTW, PV, ZoBo	
7. WKO	Beperkt	Collectieve warmtepomp	Warmtepompboiler	Geen	Natuurlijk	LT-radiatoren		Individuele warmtepomp
	Ruim	Collectieve warmtepomp	Warmtepompboiler	Geen	Mechanisch	LT-radiatoren	WTW	
	Maximaal	Collectieve warmtepomp	Warmtepompboiler	Vloerkoeling	Balans	Vloer/wand	WTW, PV, ZoBo	
8. Warmte & koude (HT)	Beperkt	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Geen	Natuurlijk	HT-radiatoren		
	Ruim	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Geen	Mechanisch	HT-radiatoren	WTW	
	Maximaal	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Sorptie	Balans	HT-radiatoren	WTW, PV, ZoBo	
9. Biomassa haard	Beperkt	Houtkachel	Elektrische boiler	Geen	Natuurlijk	N.v.t.		
	Ruim	Houtkachel	Elektrische boiler	Geen	Mechanisch	N.v.t.	WTW	
	Maximaal	Houtkachel	Elektrische boiler	Splitsysteem	Balans	N.v.t.	WTW, PV, ZoBo	
10. Biomassa CV	Beperkt	Pelletkachel	Elektrische boiler	Geen	Natuurlijk	HT-radiatoren		
	Ruim	Pelletkachel	Elektrische boiler	Geen	Mechanisch	HT-radiatoren	WTW	
	Maximaal	Pelletkachel	Elektrische boiler	Splitsysteem	Balans	HT-radiatoren	WTW, PV, ZoBo	

Tabel 9 Uitgangspunten voor basissituatie utiliteit

Techniekoptie	Besparings-niveau	Basissituatie					Add on	Alternatieven
		Ruimte	Tapwater	Koeling	Ventilatie	Afgifte		
1. Gas (HT)	Beperkt	HR-ketel	HR-ketel	Splitsysteem	Mechanisch	HT-radiatoren		Gaswarmtepomp (l/b), micro-WKK (Stirling/brandstofcel), hybride HR/warmtepomp
	Ruim	HR-ketel	HR-ketel	Splitsysteem	Mechanisch	HT-radiatoren		
	Maximaal	HR-ketel	HR-ketel	Splitsysteem	Balans	HT-radiatoren	PV	
2. Gas (LT)	Beperkt	Gaswarmtepomp (bodem)	Gaswarmtepomp (bodem)	Splitsysteem	Mechanisch	LT-radiatoren		HR-ketel, GWP (l), micro-WKK (Stirling/brandstofcel), hybride HR/warmtepomp
	Ruim	Gaswarmtepomp (bodem)	Gaswarmtepomp (bodem)	Splitsysteem	Mechanisch	LT-radiatoren		
	Maximaal	Gaswarmtepomp (bodem)	Gaswarmtepomp (bodem)	Splitsysteem	Balans	Vloer/wand	PV	
3. All electric	Beperkt	Lucht/water-wp	Elektrische boiler	Vloerkoeling	Mechanisch	Vloer/wand		Water/water-wp
	Ruim	Lucht/water-wp	Elektrische boiler	Vloerkoeling	Mechanisch	Vloer/wand		
	Maximaal	Lucht/water-wp	Elektrische boiler	Vloerkoeling	Balans	Vloer/wand	PV	
4. All electric	Beperkt	Weerstandsverwarming	Elektrische boiler	Splitsysteem	Mechanisch	N.v.t.		Infraroodpanelen
	Ruim	Weerstandsverwarming	Elektrische boiler	Splitsysteem	Mechanisch	N.v.t.		
	Maximaal	Weerstandsverwarming	Elektrische boiler	Splitsysteem	Balans	N.v.t.	PV	
5. Warmte (HT)	Beperkt	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Splitsysteem	Mechanisch	HT-radiatoren		AVI, industriële restwarmte, geothermie, biomassacentrale
	Ruim	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Splitsysteem	Mechanisch	HT-radiatoren		
	Maximaal	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Splitsysteem	Balans	HT-radiatoren	PV	
6. Warmte (LT)	Beperkt	Wijk-WKK	Elektrische boiler	Splitsysteem	Mechanisch	LT-radiatoren		AVI, industriële restwarmte, geothermie, biomassacentrale
	Ruim	Wijk-WKK	Elektrische boiler	Splitsysteem	Mechanisch	LT-radiatoren		
	Maximaal	Wijk-WKK	Elektrische boiler	Splitsysteem	Balans	Vloer/wand	PV	
7. WKO	Beperkt	Collectieve warmtepomp	Warmtepompboiler	Vloerkoeling	Mechanisch	Vloer/wand		Individuele warmtepomp
	Ruim	Collectieve warmtepomp	Warmtepompboiler	Vloerkoeling	Mechanisch	Vloer/wand		
	Maximaal	Collectieve warmtepomp	Warmtepompboiler	Vloerkoeling	Balans	Vloer/wand	PV	
8. Warmte & koude (HT)	Beperkt	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Sorptie	Mechanisch	HT-radiatoren		
	Ruim	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Sorptie	Mechanisch	HT-radiatoren		
	Maximaal	Wijk-WKK	Wijk-WKK	Sorptie	Balans	HT-radiatoren	PV	
9. Biomassa haard	Beperkt	Houtkachel	Elektrische boiler	Splitsysteem	Mechanisch	N.v.t.		
	Ruim	Houtkachel	Elektrische boiler	Splitsysteem	Mechanisch	N.v.t.		
	Maximaal	Houtkachel	Elektrische boiler	Splitsysteem	Balans	N.v.t.	PV	
10. Biomassa CV	Beperkt	Pelletkachel	Elektrische boiler	Splitsysteem	Mechanisch	HT-radiatoren		
	Ruim	Pelletkachel	Elektrische boiler	Splitsysteem	Mechanisch	HT-radiatoren		
	Maximaal	Pelletkachel	Elektrische boiler	Splitsysteem	Balans	HT-radiatoren	PV	

Bijlage C Beschrijving model

Om tot resultaten te komen in dit onderzoek, is een model opgezet. Dit model is gemaakt in Excel en alle berekeningen die hebben geleid tot de resultaten die zijn weergegeven in het rapport, staan in dit model. In deze bijlage worden de belangrijkste inputgegevens en uitgangspunten beschreven. Het model is echter zeer uitgebreid, en zal niet tot in detail worden beschreven.

C.1 Gebiedsindeling

Allereerst hebben we op grond van bestaande gegevens van het CBS en de BAG, een gebiedsindeling gemaakt. Dit is gedaan op grond van:

- functies gebouwen (BAG);
- bouwjaar (BAG);
- stedelijkheid (CBS).

De volgende gegevens hebben we daarnaast gebruikt om een zo compleet mogelijk beeld van de verschillende buurten te krijgen en de berekeningen zo specifiek mogelijk per buurt te kunnen uitvoeren:

- aantal inwoners (CBS);
- aantal woningen (CBS);
- percentage gestapeld (CBS);
- percentage grondgebonden (CBS);
- percentage koop (CBS);
- percentage in bezit woningcorporatie (CBS);
- percentage in bezig overige verhuurders (CBS);
- oppervlakte per functie (BAG);
- oppervlakte per buurt (CBS).

Het model leent zich ervoor per buurttype andere parameters te kunnen invoeren, zodat de resultaten op buurtniveau kunnen worden verkregen.

C.2 Modelopbouw

Per buurttype zijn 30 verschillende opties doorgerekend. De kosten voor 10 technieken, eerder uitgelegd in het rapport, en voor drie verschillende isolatieniveaus, zijn berekend. De verschillende isolatieniveaus komen later aan bod in deze bijlage.

Per buurttype is een verdeling gemaakt per type kosten. De verdeling bestaat uit de volgende onderdelen:

- distributie;
- productie;
- installaties;
- bouwmaatregelen;
- belastingen.

Per buurttype is ook een verdeling gemaakt naar woningbouw en utiliteit. Doordat gegevens over functies per oppervlak bekend zijn, is deze splitsing goed te maken.

Ook is het bekend wat het percentage stapelbouw en grondgebonden gebouwen is. Hier is rekening mee gehouden in de berekening voor isolatie en het beschikbare oppervlak op het dak voor add-ons.

C.3 Uitgangspunten

C.3.1 Kosten

Voor alle onderdelen zijn de kosten bepaald. Dit zijn in eerste instantie kosten exclusief BTW. Ook de kosten voor energiedragers zijn bepaald exclusief BTW en belastingen. De belastingen worden apart doorgerekend, zodat de daadwerkelijke kosten (exclusief belastingen) in beeld kunnen worden gebracht. De hoogte van belastingen is variabel en kan worden aangepast door de regering. De invloed van de belastingen kan goed in kaart worden gebracht door de resultaten te vergelijken inclusief en exclusief belastingen.

De berekende kosten worden omgerekend naar jaarlijkse kosten. Dit is gedaan omdat verschillende onderdelen verschillende levensduren hebben. Met behulp van een discontovoet van 5,5%, zijn de jaarlijkse kosten berekend. Op deze manier is een goede vergelijking te maken tussen de verschillende opties.

Installaties

Voor de woningbouw zijn eerst de kosten berekend per woning en voor utiliteit per eenheid utiliteit. Dit is gedaan om een goede kostenschatting te kunnen maken van de kosten van de installaties bij de utiliteit. Er is vanuit gegaan dat de kosten van de installaties bij een groter utiliteitsgebouw een meervoud zijn van de kosten van een klein kantoor. Er zullen niet tig keer zoveel installaties worden geplaatst, maar de installaties zijn wel groter, en daarmee nemen ook de kosten toe.

In het model is een woning gelijkgesteld aan 100 m² utiliteit, wat inhoudt dat de kosten van de installaties in een woning gelijk worden verondersteld aan de kosten van dezelfde installaties in 100 m² utiliteit. Bij een oppervlak van 200 m² utiliteit, nemen de kosten toe met een factor twee.

Nadat de kosten per woning en 100 m² utiliteit zijn berekend, worden ze vermenigvuldigd met het aantal woningen en het utiliteitsoppervlak/100. Zo worden de kosten per buurttype verkregen.

Bij de kosten van de installaties is ook rekening gehouden met onderhoudskosten. Deze liggen tussen de 2% en 5%, afhankelijk van het type installatie.

Energienetwerk

De verschillende energiedragers moeten worden vervoerd naar de gebouwen die er gebruik van maken. Hiervoor wordt vaak een energienetwerk gebruikt. De jaarlijkse kosten per pand van een energienetwerk verschillen per buurttype. Wanneer de stedelijkheid lager is, liggen gebouwen verder uit elkaar, en zijn de leidingen gemiddeld langer per gebouw. Daarnaast hebben historische buurten kostprijsverhogende fysieke eigenschappen voor bijvoorbeeld de infrastructuur. Daarom wordt er een ouderdomsfactor toegepast op de kosten van het energienetwerk. Voor de oude binnensteden en de dorpskernen is deze factor 2 en voor 1^e ring bebouwing 1½.

De kosten van een energienetwerk bestaan jaarlijks uit een vast deel en een variabel deel. Dit vaste deel zijn de onderhoudskosten en is voor elke gebouw gelijk. Het variabele deel hangt af van de stedelijkheid en ouderdom van de buurt. De kosten voor een elektra-aansluiting en gasaansluiting zijn gebaseerd op een gemiddelde van drie netbeheerders Stedin, Enexis en Alliander. Daarnaast wordt er vanuit gegaan dat er bij 'all electric' opties dikkere elektrakabels nodig zijn. Voor deze opties worden de kosten van het elektranet vermenigvuldigd met een factor 1,5.

Voor de kosten van de netwerken van verschillende warmtebronnen, is gebruik gemaakt van formules uit het rapport 'Functioneel ontwerp Vesta' van CE Delft (CE Delft, 2011). Voor de kosten van de verschillende warmtebronnen is daarnaast gebruik gemaakt van Vesta 2.0.

De volgende aansluitwaarden zijn aangehouden:

– Grondgebonden bebouwing	9 kW/woning
– Gestapelde bebouwing	6 kW/woning
– Utiliteit	0,05 kW/m ²

C.3.2 Energiegegevens

Woningbouw

De energiegegevens voor de woningbouw zijn afkomstig van het CBS. Met behulp van de totale warmtevraag en het aantal woningen is per buurttype bepaald wat de gemiddelde jaarlijkse warmtevraag per woning is. Dit is vervolgens gesplitst in een warmtevraag voor de verwarming van het huis en een warmtevraag voor de verwarming van warm tapwater. Er is hiervoor aangenomen dat de warmwatervraag per persoon 4 GJ is. Met de gegevens van het CBS over het gemiddeld aantal personen per huishouden, is berekend hoeveel GJ van de warmtevraag per woning nodig is voor de verwarming van tapwater.

Het gemiddelde elektriciteitsverbruik per woning is ook afkomstig van het CBS. Voor de berekening was het nodig om dit verbruik te splitsen in een deel voor hulpenergie, voor ventilatie en voor verlichting & apparaten. Inschattingen voor de hulpenergie, ventilatie en verlichting zijn gedaan op basis van kengetallen uit het rapport 'Maatlat voor zuinige warmtetechnieken' (CE Delft, 2013). Voor het elektriciteitsverbruik van apparaten is het overig energieverbruik genomen. Er wordt vanuit gegaan dat er een koudevraag bijkomt zodra een woning wordt geïsoleerd naar energielabel A+. Deze is gesteld op 0,05 GJ/m² BVO.

Utiliteitsbouw

Voor utiliteit is gebruik gemaakt van data uit SWING (RVO, 2014). SWING heeft de energiegegevens uitgesplitst naar diverse onderdelen. De data uit de subcategorieën waaruit dit model bestaat, zijn teruggebracht naar de in het model onderscheiden gebouw-functies; dezelfde als BAG onderscheidt. Ook konden de energiegegevens worden verdeeld over de voor het model gebruikte onderdelen (ruimteverwarming, warm tapwater, ruimtekoeling, hulpenergie, ventilatie en apparatuur & verlichting).

Aan de hand van het oppervlak per utiliteitsfunctie, kan hiermee een gemiddelde waarde worden bepaald voor de warmtevraag en de elektriciteitsvraag per gebied.

C.4 Energetische schil verbeteren

Woningbouw

Voor het model is uitgegaan van drie verschillende isolatieniveaus voor de woningbouw, namelijk:

- beperkt (indicatief naar energielabel D; EI = 1,80);
- ruim (indicatief naar energielabel B; EI = 1,18);
- maximaal (indicatief naar energielabel A+; EI = 0,60).

Per niveau is bepaald wat de kosten zijn om de besparing te realiseren en hoeveel energie er hiermee wordt bespaard.

Beperkt en ruim

Voor de opties ‘beperkt isoleren’ en ‘ruim isoleren’, is voor de energiebesparing en investeringskosten uitgegaan van de gegevens uit ‘Voorbeeldwoningen 2011, bestaande bouw’ (RVO, 2011). RVO heeft per type woning en bouwjaar bepaald wat het per woning kost om een bepaald energielabel te bereiken. Gemiddeld kom je met het isolatiemaatregelen-pakket uit op een energielabel B.

Voor het GasTerra-model zijn de verschillende gebouwtypen ingedeeld naar bouwjaar. Daarmee worden gebouwen met een soortgelijke schil geclusterd en kunnen de gemiddelde kosten per m² worden berekend per type gebouw en vervolgens de kosten per MJ besparing. Deze verschilt per bouwjaar; van C naar B isoleren kost gemiddeld meer dan van F naar E, daarom zijn de gemiddelde kosten per MJ besparing voor oude gebouwen lager dan voor nieuwbouw.

Per buurttype is bepaald wat de huidige EI-waarde is aan de hand van de gegevens van Agentschap NL. De energiebesparing die moet worden behaald is hiermee bepaald. Het aantal grondgebonden en gestapelde woningen is ook meegenomen in de berekening. Met de kosten per MJ besparing zijn de gemiddelde kosten per woning berekend.

Maximaal

Om vervolgens naar een maximale besparing te gaan, lopen de kosten per MJ besparing flink op. Deze liggen een stuk hoger dan de kosten per MJ besparing om naar energielabel B te gaan. Voor de bepaling van die kosten, is gebruik gemaakt van de gegevens uit het Vesta-model (CE Delft, 2011). Om deze gegevens te vertalen naar de benodigde gegevens voor de verschillende buurten is ook hier gekeken naar het bouwjaar en het percentage grondgebonden en gestapeld.

Utiliteitsbouw

Voor de energiebesparing in de utiliteitsbouw door extra isolatie toe te passen, is gekeken naar drie verschillende terugverdientijden, namelijk:

- 5 jaar;
- 10 jaar;
- 20 jaar.

Het potentieel aan besparen bij een bepaalde terugverdientijd, is bepaald door Sipma in het ECN-rapport ‘Verbetering referentiebeeld utiliteitssector’ (ECN, 2013). Met behulp van figuur 30: Besparingspotentieel op gas, ingezoomd, WmB segment, zijn de kosten per terugverdientijd bepaald. Het oppervlak van het WmB segment is 60% van het totale oppervlak aan utiliteitsbouw. Er wordt vanuit gegaan dat het besparingspotentieel van de



overige gebouwen gelijk kan worden verondersteld aan dat van WmB gebouwen.

De kosten kunnen op basis van de gebruikte grafiek alleen worden bepaald per PJ besparing voor de gehele utiliteitssector. Er wordt geen onderscheid gemaakt per utiliteitsfunctie. In werkelijkheid zijn hier verschillen in, maar voor het GasTerra-model is deze aanpak voldoende.

C.4.1 Add-ons

Naast het verbeteren van de energetische schil, kunnen er ook add-ons gebruikt worden om energie op te wekken of te besparen. Voor dit onderzoek zijn de volgende add-ons meegenomen:

- zon-PV;
- zonneboiler;
- WTW-douche.

In Tabel 10 wordt weergegeven welke add-ons zijn meegenomen in de standaardsituatie.

Tabel 10 Add-ons meegenomen per isolatieniveau woningen en utiliteit

	Woningen			Utiliteit		
	Beperkt	Ruim	Maximaal	Beperkt	Ruim	Maximaal
Zon-PV	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee
Zonneboiler	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
WTW-douche	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Ja

Voor zon-PV wordt uitgegaan van 15 m² per grondgebonden woning met een opbrengst van 2.250 kWh per jaar (8,1 GJ). Per gebied is berekend wat het gemiddelde oppervlak is dat per woning wordt bedekt, rekening houdend met het percentage gestapelde bebouwing. Ook voor de utiliteit wordt uitgegaan van eenzelfde verhouding grondgebonden en gestapeld. Voor utiliteit is uitgegaan van een maximaal bedekt oppervlak aan zon-PV 15 m² per 100 m² BVO.

Bij toepassen van een zonneboiler wordt een halvering van de warmtevraag voor warm tapwater verwacht.

De WTW-douche halveert de warmtevraag van het tapwater ook, maar wanneer er een zonneboiler wordt toegepast, wordt dit pas gehalveerd nadat de warmtevraag al een keer is gehalveerd.

C.4.2 Parameters

In deze paragraaf volgen verschillende parameters die zijn gebruikt bij de berekeningen.

Afschrijftermijnen

- Leidingen 25 jaar
- Collectieve installaties 25 jaar
- Gebouwinstallaties 15 jaar
- Gebouwmaatregelen 25 jaar
- Zonneboiler 20 jaar
- Zonnepanelen 20 jaar

Kosten energiedragers

– Elektriciteit	€ 18,30 €/GJ
– Aardgas	€ 9,78 €/GJ
– Groen gas	€ 21,32 €/GJ
– WKO-warmte	€ 7,73 €/GJ
– Biomassa	€ 20,00 €/GJ
– Warmte geothermie	€ 2,50 €/GJ
– Warmte industrie	€ 2,50 €/GJ
– Warmte afvalverbranding	€ 2,67 €/GJ
– Warmte wijk-WKK	€ 29,80 €/GJ
– Factor lage temperatuur warmte	0,8

Belastingtarieven

Tabel 11 Aangehouden belastingtarieven

Type	Huishoudens	Utiliteit
BTW-tarief	21%	0%
Belasting elektriciteit	€ 33,22/GJ	€ 8,00
Belasting gas	€ 5,42/GJ	€ 4,00
ODE elektriciteit	€ 0,00/GJ	€ 0,00
ODE gas	€ 0,00/GJ	€ 0,00
Belastingteruggaaf	€ 311,84	€ 0,00

Factoren verlies rendement warmtepomp

Er wordt in het onderzoek vanuit gegaan dat wanneer het isolatieniveau lager ligt, het rendement van de warmtepomp ook lager is. De volgende factoren zijn vermenigvuldigd met het maximale rendement, dat is gebruikt voor woningen en overige panden die maximaal zijn geïsoleerd.

- Beperkt isoleren: 0,7
- Ruim isoleren: 0,85
- Maximaal isoleren: 1

C.4.3 Uitkomsten

Per buurttype kan in het model worden bekeken wat de goedkoopste optie is voor de woningbouw, de utiliteitsbouw en de buurt als geheel. Zo kan het voorkomen dat voor woningbouw de goedkoopste optie groen gas is, terwijl dit voor utiliteitsbouw all electric is. Het is meestal echter wenselijker en goedkoper om voor eenzelfde energiedrager te kiezen per gebied.

Wanneer de totale kosten per gebied worden berekend, wordt er dan ook vanuit gegaan dat voor woningen en utiliteit dezelfde energiedrager wordt gebruikt. Wel kan de voordeligste techniekoptie verschillen. Zo kan voor woningen Gas en HT bijvoorbeeld het voordeligst zijn wanneer groen gas de energiedrager is, terwijl dit bij utiliteit Gas en LT is. Aangezien dit alleen betekent dat gebouwinstallaties van elkaar verschillen, is dit geen probleem. In de resultatsheets per buurttype wordt berekend wat de totale kosten zijn per energiedrager en worden de opties gerangschikt naar voordeligst en minst voordelig.

Om de energietransitie geheel door te voeren in de gebouwde omgeving, zou het het gemakkelijkst zijn om al het aardgas te vervangen door groen gas. De infrastructuur zou hierbij namelijk gelijk blijven, waardoor het minst veranderingen optreden. Deze optie wordt daarom ook verkozen bij gelijke kosten en bij kosten met een kleiner verschil dan € 100,00 in het voordeel van een andere energiedrager.

De totale hoeveelheid benodigde energie wordt ook weergegeven in de resultatensheets. Deze is uitgesplitst over de verschillende energiedragers. Zo kun je zien hoeveel elektriciteit, groen gas, warmte en biomassa er in totaal nodig is voor de beste optie per energiedrager. In de samenvattende resultatensheet voor alle buurttypen, wordt berekend hoeveel Terajoule er in totaal nodig is wanneer voor de meest voordelige opties wordt gekozen.

Met het model wordt ook berekend wat de investeringskosten zijn voor verschillende stakeholders. Dat zijn in dit geval:

- netbeheerders;
- eigenaren van woningen/panden;
- huurders;
- verhuurders (zowel woningcorporaties als particuliere verhuurders).

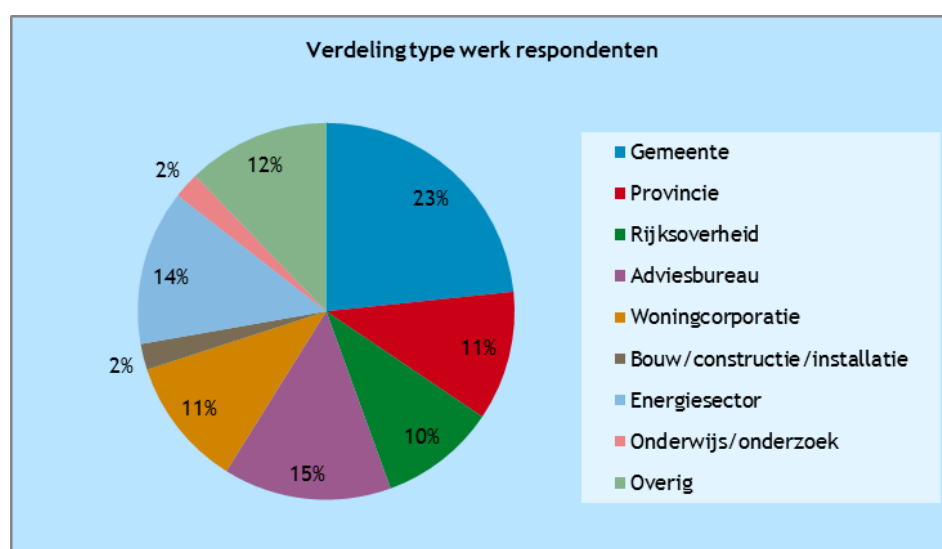
Er wordt vanuit gegaan dat netbeheerders de investeringen voor de distributie maken. Een eigenaar die tevens gebruiker is van een woning/pand, investeert in de productiekosten, de installaties en de gebouwmaatregelen. Als het gaat om enkel gebruikers die een woning/pand huren, investeren zij alleen in de productie van energie. De verhuurder investeert in dat geval in de installaties en gebouwmaatregelen.

Bijlage D Stakeholders

D.1 Web-enquête

In de beginfase van het onderzoek heeft een honderdtal stakeholders een web-enquête ontvangen om een overzicht te krijgen van wat voor deze stakeholders bruikbare resultaten uit het onderzoek zouden zijn. Negentig stakeholders hebben de enquête ingevuld en met behulp van hun antwoorden is onder andere de gebiedsindeling bepaald en de weergave van de resultaten in het onderzoek, zodat deze zo bruikbaar mogelijk zijn voor de stakeholders. De belangrijkste resultaten uit de web-enquête worden hieronder gepresenteerd.

Figuur 54 Verdeling type werk van de respondenten



Voor het maken van de gebiedsindeling, is de stakeholders gevraagd wat zij belangrijke parameters vinden om deze indeling op te baseren. Hiervoor is ze gevraagd een cijfer te geven van 1 tot 5 voor de geschiktheid van de parameter voor het typeren van de gebieden voor de warmtetransitie. De betekenis van de cijfers is als volgt:

1. Zeer ongeschikt.
2. Ongeschikt.
3. Neutraal.
4. Geschikt.
5. Zeer geschikt.

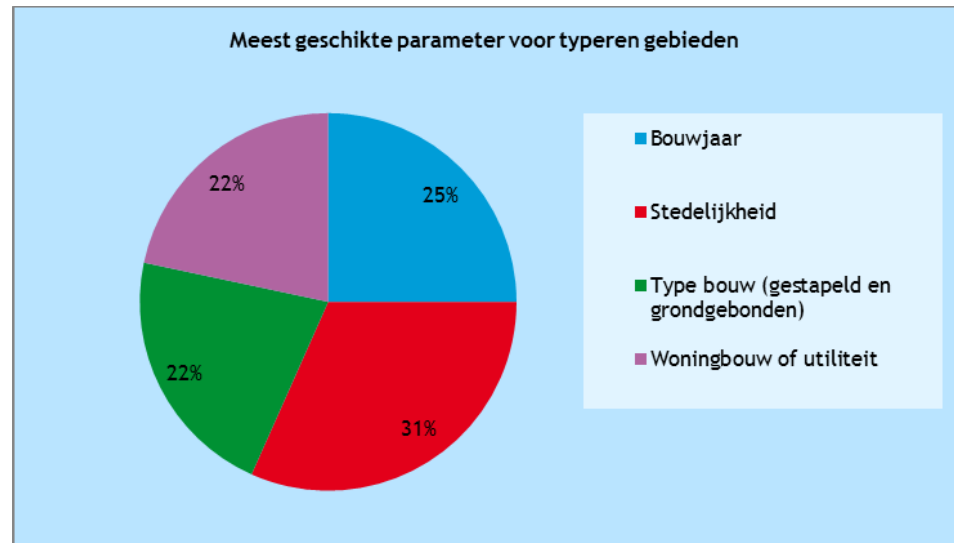
De gemiddelden van de gegeven cijfers zijn weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12 Mate van geschiktheid van parameters voor het typeren van de gebieden

Parameter	Gemiddeld cijfer (1-5)
Bouwjaar	3,8
Mate van stedelijkheid	4,1
Type bouw (gestapeld/grondgebonden)	4,1
Woningbouw of utiliteit	3,9

Op de vraag welke parameters de respondenten het meest geschikt vonden, kwam de volgende verdeling naar voren.

Figuur 55 Meest geschikte parameters voor typeren gebieden



Uit Tabel 12 en Figuur 55 kunnen we concluderen dat alle parameters belangrijk worden gevonden en ook ongeveer in gelijke mate. Wij hebben er in het onderzoek voor gekozen om de gebiedsindeling te maken op grond van bouwjaar, stedelijkheid en functie van de gebouwen (woningbouw of utiliteit). Het type bouw (grondgebonden of gestapeld) is niet meegenomen voor het typeren van de buurten, maar hebben we meegenomen in de berekeningen, omdat dit van invloed is op het energieverbruik en kosten van isolatie en installaties.

Ook is de stakeholders gevraagd wat zij de meest waardevolle informatie vonden als het gaat om het invullen van de warmtevraag. Ze moesten per type invulling aangeven of zij informatie hierover als waardevol beschouwen, waarbij ze een cijfers moesten geven van 1 tot 4. De betekenis van de cijfers is hierbij als volgt:

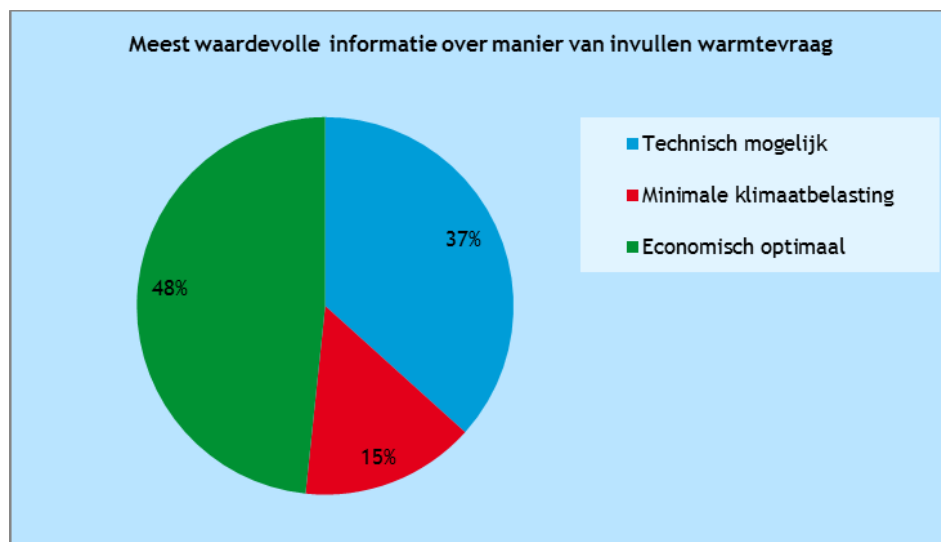
1. Niet waardevol.
2. Enigszins waardevol.
3. Waardevol.
4. Zeer waardevol.

Tabel 13 Mate van waarde van informatie voor de stakeholders

Type informatie	Gemiddeld cijfer (1-4)
Technisch mogelijk	3,3
Minimale klimaatbelasting	3,1
Economisch optimaal	3,5

Vervolgens is de respondenten gevraagd welk van de drie types informatie ze het meest waardevol zouden vinden. Resultaten hiervan zijn te zien in Figuur 56.

Figuur 56 Meest waardevolle informatie voor respondenten wat betreft het invullen van de warmtevraag



Uit Tabel 13 en Figuur 56 blijkt dat alle drie de types informatie op zich waardevol zijn, maar dat de respondenten het meest geïnteresseerd zijn in of de oplossingen economisch optimaal zijn. Daarnaast vinden ze het ook vrij belangrijk om informatie te krijgen over de technische mogelijkheid van de oplossingen.

In het onderzoek hebben wij de resultaten gebaseerd op economisch meest optimale opties. De technische mogelijkheid hebben wij meegenomen door alleen uit te gaan van bekende, in Nederland al meerdere malen toegepaste, opties. Daarnaast hebben wij rekening gehouden met een eventueel beperkte beschikbare hoeveelheid van de verschillende energiedragers. Of een optie in een bepaalde buurt ook daadwerkelijk technisch mogelijk is, zal echter lokaal nog moeten worden bekeken met in acht neming van lokale omstandigheden. Minimale klimaatbelasting wordt ook meegenomen, omdat als uitgangspunt is genomen dat alle opties in 2050 klimaatneutraal moeten zijn. Het verschilt echter per optie hoe de weg naar 2050 toe loopt, waardoor er door het kiezen van sommige opties uiteindelijk wel meer klimaatbelasting is dan bij opties die direct zorgen voor een klimaatneutrale warmtevoorziening.

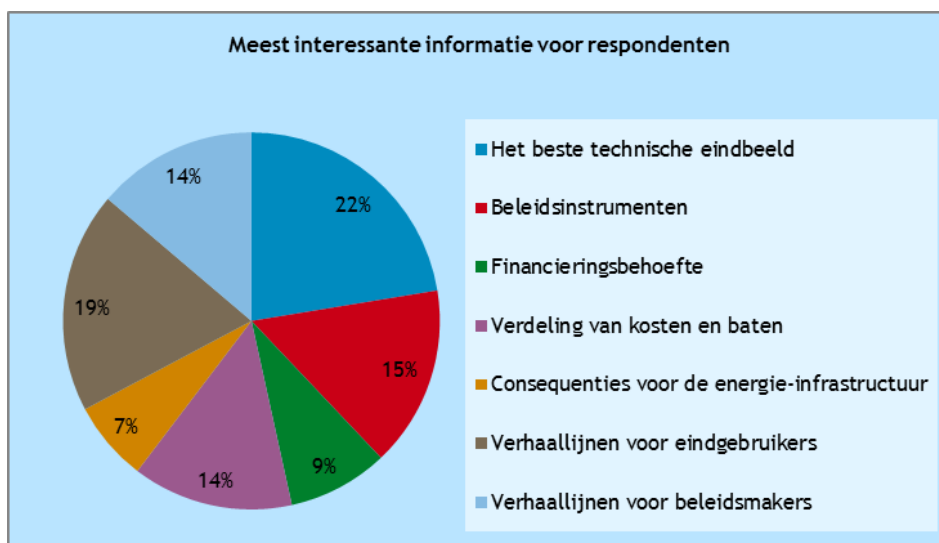
Er is de stakeholders ook gevraagd welke informatieonderdelen ze vooral interessant vinden om terug te zien in het rapport van het onderzoek. In Tabel 14 volgt allereerst per onderdeel de interesse van de respondenten voor de verschillende onderdelen. De cijfers betekenen het volgende:

1. Niet interessant.
2. Enigszins interessant.
3. Neutraal.
4. Interessant.
5. Zeer interessant.

Tabel 14 Mate van interesse bij de stakeholders naar de verschillende onderdelen

Informatie	Gemiddeld cijfer (1-5)
Het beste technische eindbeeld in 2050	3,6
Beleidsinstrumenten om het eindbeeld in 2050 te kunnen realiseren	4,1
Financieringsbehoefte voor de realisatie van het eindbeeld in 2050	4,1
Verdeling van kosten en baten bij het eindbeeld in 2050	4,1
Consequenties voor de energie-infrastructuur van het eindbeeld in 2050	4,2
Verhaallijnen voor eindgebruikers (bijv. waar moet je rekening mee houden?)	4,0
Verhaallijnen voor beleidsmakers (hoe ziet het transitiepad eruit?)	4,1

Figuur 57 Meest interessante informatie voor respondenten



Uit de resultaten van Tabel 14 en Figuur 57 kan worden geconcludeerd dat het type informatie wat voor de verschillende stakeholders interessant is erg uiteenloopt. Over het algemeen wordt het beste technische eindbeeld het laagst gewaardeerd, maar toch wordt het het vaakst bovenaan gezet als wordt gevraagd wat het meest interessant is.

In het onderzoek is geprobeerd om zoveel mogelijk van deze aspecten mee te nemen in het eindrapport. Op het technische eindbeeld in 2050 en de consequenties voor de energie-infrastructuur ligt de nadruk. Ook wordt weergegeven wat de kosten zijn per stakeholder. Daarnaast wordt uitgebreid aandacht besteed aan het pad naar de transitie toe.

D.2 Stakeholdersbijeenkomst

Halverwege het onderzoek is er een stakeholdersbijeenkomst georganiseerd door CE Delft, waarin de voorlopige resultaten van het onderzoek zijn gepresenteerd. Doel van deze bijeenkomst was de mening van de stakeholders te horen over de voor het onderzoek gekozen aanpak en keuzes die tot dan toe waren gemaakt. Daarnaast wilden we graag aanvullende aspecten boven tafel krijgen die nog in ons onderzoek mee konden worden genomen.

In Tabel 15 is de lijst met externe aanwezigen bij de bijeenkomst weergegeven.

Tabel 15 Deelnemers stakeholdersbijeenkomst

Naam	Organisatie
Johan Lako	Gemeente Zoetermeer
Daniël Awater	Nuon
Ronald Schillemans	Ministerie BZK
Arno Harting	Gemeente Utrecht
Louis Hiddes	Mijnwater BV
Kinie Lont	Gemeente 's-Hertogenbosch
Herman Eijdens	Mijnwater BV
Jan-Coen Kruit	Ministerie BZK
Bob Mantel	Gemeente Amsterdam
Theo van Es	Gemeente Apeldoorn
Gerard Martinus	GasTerra
Astrid Madsen	Gemeente Rotterdam
Jasper Schilling	Gemeente Den Haag
Mark Bal	Woonbron
Froukje Anne Karsten	Gemeente Amsterdam

De belangrijkste aandachtspunten die naar voren kwamen tijdens de bijeenkomst waren:

- de beschikbare hoeveelheid biomassa en groen gas voor de gebouwde omgeving;
- de aanwezigheid van verschillende warmtebronnen;
- overige mogelijke technische opties, zoals een bufferoptie voor warmteopslag terugkomen en de optie PCM (Phase Change Materials).

Het eerste punt hebben wij ondervangen door de prijs van groen gas in het model laten variëren, gebaseerd op de totale benodigde hoeveelheid. Voor biomassa was dit niet nodig, omdat de benodigde hoeveelheid volgens het model erg laag ligt.

De aanwezigheid van een warmtebron in een specifieke buurt is erg onzeker. Het is erg locatie afhankelijk, en daarom is besloten om in de standaard-situatie niet uit te gaan van de aanwezigheid van een restwarmtebron. In de standaard-situatie wordt alleen de mogelijkheid van het plaatsen van een wijk-WKK meegenomen.

Over het laatste belangrijke aandachtspunt dat tijdens de bijeenkomst naar voren is gekomen, de mogelijkheid van andere technische opties, is uiteindelijk besloten deze niet mee te nemen in het onderzoek. Het systeem met bufferoptie voor warmteopslag gaat over de buurtgrenzen heen, en is daarom als niet geschikt verklaard voor het onderzoek. De PCM-optie als bufferopslag voor energie, is ook niet meegenomen in het onderzoek, omdat deze optie nog niet ver in ontwikkeling is, en niet kan worden voorspeld hoe de ontwikkeling gaat lopen.

D.3 Interviews

Gedurende het project is met een aantal personen een interview gehouden om meer in diepte-informatie te achterhalen. In Tabel 16 is weergegeven met wie er gedurende het project interviews zijn gehouden.

Tabel 16 Geïnterviewden voor het project

Naam	Organisatie
Martijn Bongaerts	Alliander
Michiel van Heulekom	Enexis
René van Genugten	Aedes



Bijlage E Techniekopties

In deze bijlage worden tabellen weergegeven van alle techniekopties die we hebben meegenomen bij elk van de 10 standaard technieken.



Tabel 17 Overzicht vraag-techniekopties

[illegible]

Tabel 18 Alle keuzeopties per techniek

Techniek 1: Gas & HT		
Installaties	Verwarming ruimte	HR-ketel
		Gaswarmtepomp (bodem)
		Gaswarmtepomp (lucht)
		Micro-WKK/HRe-ketel thermisch
		Micro-WKK/HRe-ketel elektrisch
		Brandstofcel WKK
		Gebouwgebonden WKK
	Warm tapwater	HR-ketel
		Gaswarmtepomp (bodem)
		Gaswarmtepomp (lucht)
		Micro-WKK/HRe-ketel
		Brandstofcel WKK thermisch
		Brandstofcel WKK elektrisch
		Gebouwgebonden WKK
		Stand-alone
	Koeling	Monoblock
		Splitsysteem
		Geen koeling
	Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
		Mechanische ventilatie
		Balansventilatie
Gebouwmaatregelen	Verwarming ruimte	HT-radiatoren
Techniek 2: Gas & LT		
Installaties	Verwarming ruimte	HR-ketel
		Gaswarmtepomp (bodem)
		Gaswarmtepomp (lucht)
		Micro-WKK/HRe-ketel thermisch
		Micro-WKK/HRe-ketel elektrisch
		Brandstofcel WKK
		Gebouwgebonden WKK
	Warm tapwater	HR-ketel
		Gaswarmtepomp (bodem)
		Gaswarmtepomp (lucht)
		Micro-WKK/HRe-ketel
		Brandstofcel WKK thermisch
		Brandstofcel WKK elektrisch
		Gebouwgebonden WKK
		Stand-alone
	Koeling	Monoblock
		Splitsysteem
		Vloerkoeling
		Geen koeling
	Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
		Mechanische ventilatie
		Balansventilatie
Gebouwmaatregelen	Verwarming ruimte	LT-radiatoren
		Vloerverwarming



Techniek 3: All electric & eWP		
Installaties	Verwarming ruimte	Elektrische warmtepomp (lucht/water)
		Elektrische warmtepomp (water/water)
	Warm tapwater	Elektrische boiler
		Warmtepompboiler
	Koeling	Monoblock
		Splitsysteem
		Geen koeling
	Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
		Mechanische ventilatie
		Balansventilatie
Gebouwmaatregelen	Verwarming ruimte	LT-radiatoren
Techniek 4: All electric & eWV		
Installaties	Verwarming ruimte	E-radiatoren
		Infrarood panelen
	Warm tapwater	Elektrische boiler
		Warmtepompboiler
	Koeling	Monoblock
		Splitsysteem
		Vloerkoeling
		Geen koeling
	Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
		Mechanische ventilatie
		Balansventilatie
Gebouwmaatregelen	Verwarming ruimte	Geen
Techniek 5: Warmte HT		
Installaties	Verwarming ruimte	Restwarmte uit afvalverbranding
		Restwarmte uit biomassa
		Geothermie
		Restwarmte uit industrie
		Wijk-WKK
	Warm tapwater	Restwarmte uit afvalverbranding
		Restwarmte uit biomassa
		Geothermie
		Restwarmte uit industrie
		Wijk-WKK
	Koeling	Monoblock
		Splitsysteem
		Vloerkoeling
		Geen koeling
	Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
		Mechanische ventilatie
		Balansventilatie
Gebouwmaatregelen	Verwarming ruimte	HT-radiatoren



Techniek 6: Warmte LT		
Installaties	Verwarming ruimte	Restwarmte uit afvalverbranding
		Restwarmte uit biomassa
		Geothermie
		Restwarmte uit industrie
		Wijk-WKK
	Warm tapwater	Elektrische boiler
		Warmtepompboiler
	Koeling	Monoblock
		Splitsysteem
		Vloerkoeling
		Geen koeling
	Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
		Mechanische ventilatie
		Balansventilatie
Gebouwmaatregelen	Verwarming ruimte	LT-radiatoren
		Vloerverwarming
	Techniek 7: WKO	
Installaties	Verwarming ruimte	WKO
	Warm tapwater	Elektrische boiler
		Warmtepompboiler
	Koeling	Vloerkoeling
		Geen koeling
	Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
		Mechanische ventilatie
		Balansventilatie
Gebouwmaatregelen	Verwarming ruimte	LT-radiatoren
Techniek 8: Warmte HT & koude		
Installaties	Verwarming ruimte	Restwarmte uit afvalverbranding
		Restwarmte uit biomassa
		Geothermie
		Restwarmte uit industrie
		Wijk-WKK
	Warm tapwater	Restwarmte uit afvalverbranding
		Restwarmte uit biomassa
		Geothermie
		Restwarmte uit industrie
		Wijk-WKK
	Koeling	Absorptie
		Adsorptie
		Geen koeling
	Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
		Mechanische ventilatie
		Balansventilatie
Gebouwmaatregelen	Verwarming ruimte	HT-radiatoren



Techniek 9: Biomassa & houtkachel		
Installaties	Verwarming ruimte	Houtkachel
		CV-ketel biomassa
	Warm tapwater	Elektrische boiler
		Warmtepompboiler
	Koeling	Monoblock
		Splitsysteem
		Vloerkoeling
		Geen koeling
	Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
		Mechanische ventilatie
		Balansventilatie
Gebouwmaatregelen	Verwarming ruimte	Geen
Techniek 10: Biomassa & CV		
Installaties	Verwarming ruimte	Houtkachel
		CV-ketel biomassa
	Warm tapwater	Elektrische boiler
		Warmtepompboiler
	Koeling	Monoblock
		Splitsysteem
		Vloerkoeling
		Geen koeling
	Ventilatie	Natuurlijke ventilatie
		Mechanische ventilatie
		Balansventilatie
Gebouwmaatregelen	Verwarming ruimte	HT-radiatoren



Bijlage F Gegevens per buurttype

F.1 Algemeen

In deze bijlage wordt per buurttype aangegeven welke gegevens ten grondslag liggen aan de berekeningen en wat de resultaten zijn. Tabel 19 geeft een overzicht van de 15 door ons gekozen buurttypen met hun bouwjaar en stedelijkheid.

Tabel 19 Overzicht buurttypen

Buurt type	Gebied	Bouwjaar	Stedelijkheid
1	Oude binnensteden	<1900	1 en 2
2	1e ringen, hoogstedelijk	1900-1945	1 en 2
3	Wederopbouw, hoogstedelijk	1945-1965	1 en 2
4	Wederopbouw, matig stedelijk	1945-1965	3
5	Wederopbouw, suburbaan	1945-1965	4
6	Bloemkoolwijk, hoogstedelijk, wonen	1965-1990	1 en 2
7	Bloemkoolwijk, hoogstedelijk, wonen & utiliteit	1965-1990	1 en 2
8	Bloemkoolwijk, matig stedelijk	1965-1990	3
9	Bloemkoolwijk, suburbaan	1965-1990	4
10	Kantorenpark	verschillend	
11	Recente nieuwbouw, hoogstedelijk en matig stedelijk	1990-2010	1, 2 en 3
12	Recente nieuwbouw, suburbaan en niet stedelijk	1990-2010	4 en 5
13	Dorpskernen	< 1945	3,4
14	Niet-stedelijk gebied	< 1990	5
15	Overig	verschillend	

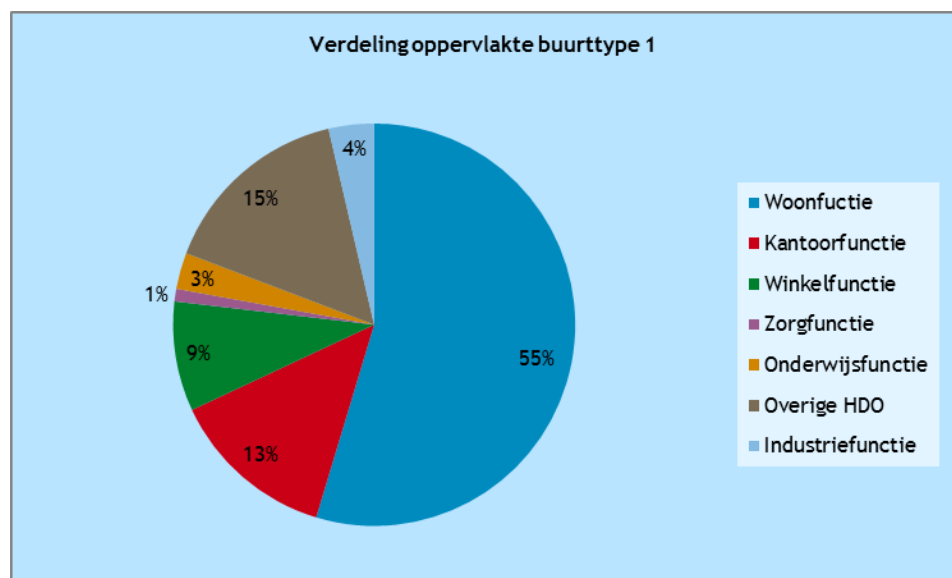
Voor de resultaten is uitgegaan van de situatie waarin alleen in stedelijk gebied restwarmte beschikbaar is en de prijs van groen gas € 0,85 per m³ is. In deze situatie is er ongeveer 2 bcm groen gas nodig.

F.2 Type 1 Oude binnensteden (<1900)

Tabel 20 Algemene gegevens buurttype 1

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	74
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	1,1
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	28
Totaal	[ha]	2.047
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	2.901
Totaal	[n]	214.685
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.702
Totaal	[n]	125.924
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	95
Gemiddeld per buurt	[m ²]	161.870
Totaal	[m ²]	11.978.357
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	61%
Percentage grondgebonden	[%]	39%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	40%
Percentage huur via corporatie	[%]	23%
Percentage particuliere huur	[%]	36%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	134.309
Totaal	[m ²]	9.938.877

Figuur 58 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 1

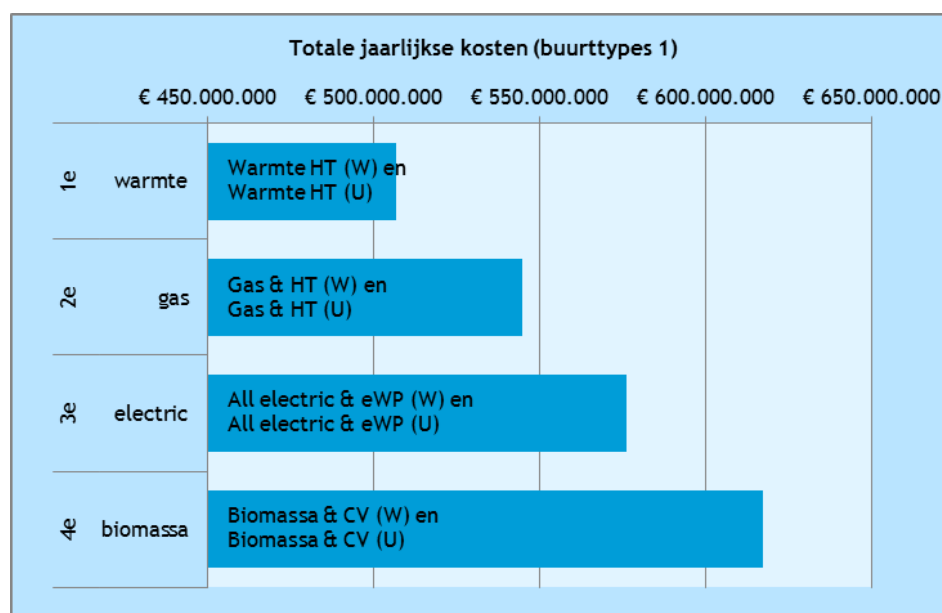


Tabel 21 Energiegegevens per woning buurttype 1

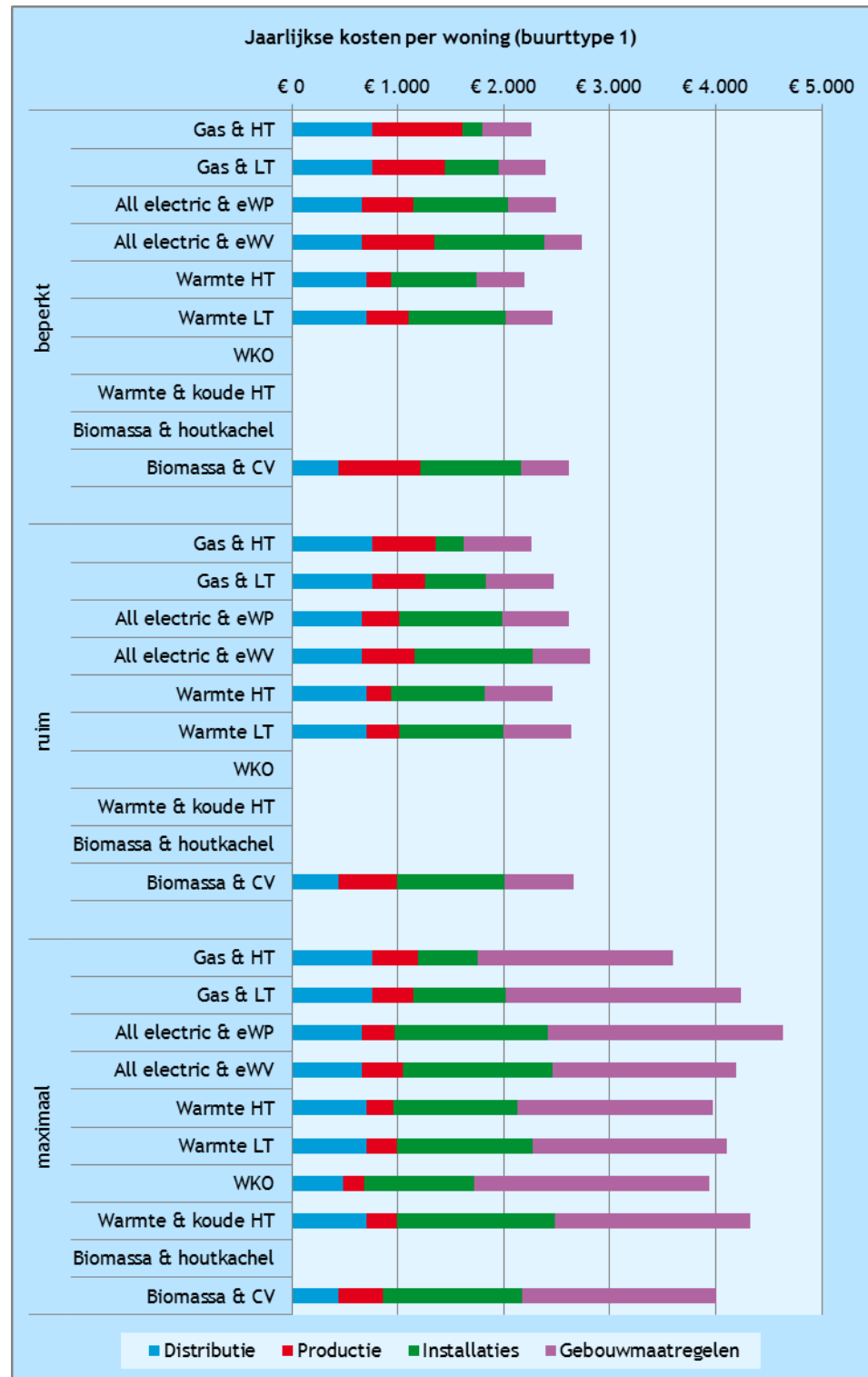
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	910	498	326	166
Warm tapwater	[m ³ gas]	194	194	194	194
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	1.321
Ventilatie	[kWh]	0	0	333	628
Hulpenergie	[kWh]	270	270	270	270
Apparatuur en verlichting	[kWh]	2.275	2.275	2.275	2.275
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-97
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.342

Tabel 22 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 1

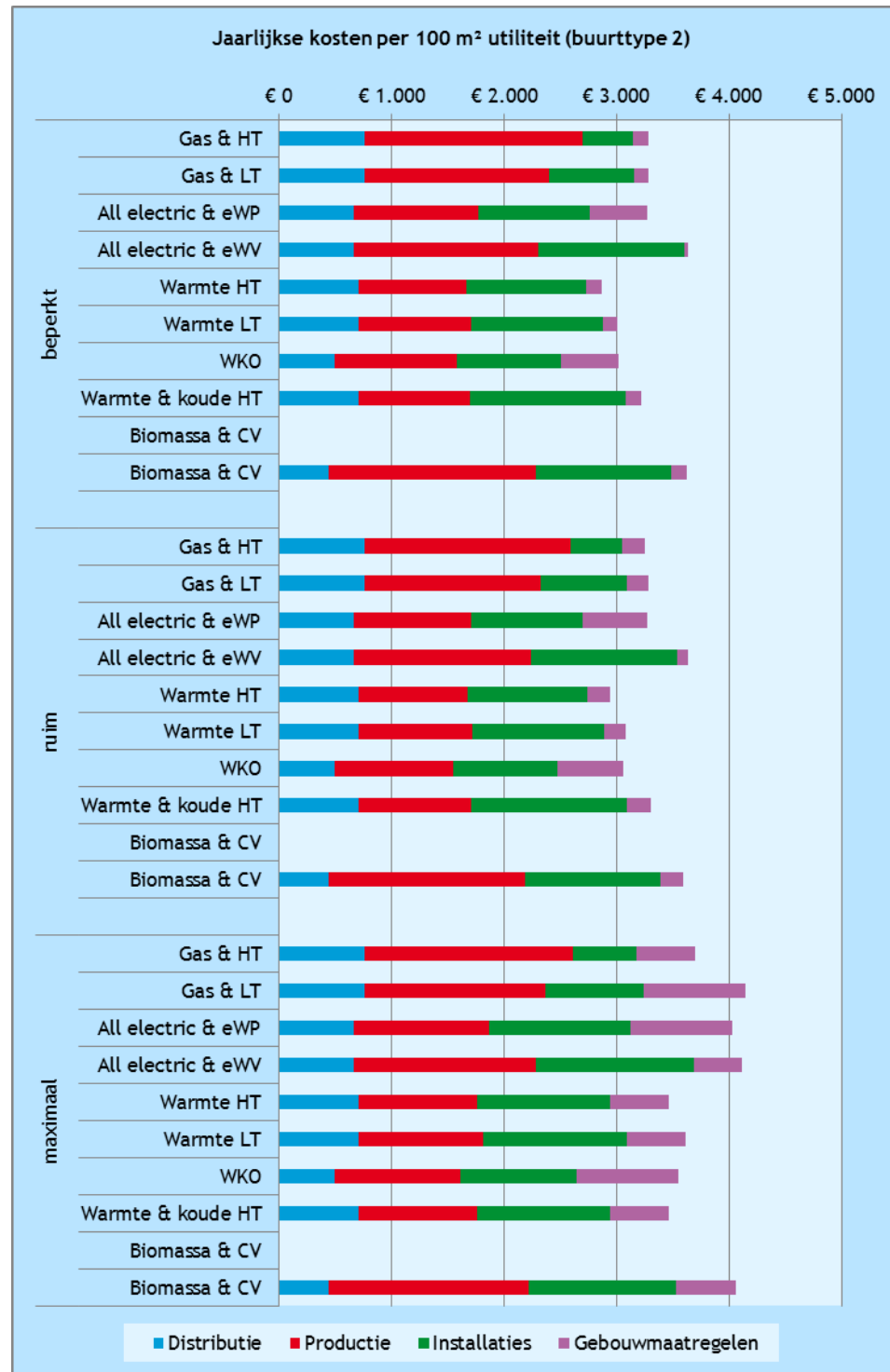
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.349	1.107	966	886
Warm tapwater	[m ³ gas]	71	71	71	71
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	1.043	1.252	1.409	1.565
Ventilatie	[kWh]	682	818	920	1.023
Hulpenergie	[kWh]	318	318	318	318
Apparatuur en verlichting	[kWh]	9.980	9.980	9.980	9.980
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.342

Figuur 59 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 1 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 60 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 1
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 61 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 1 (uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

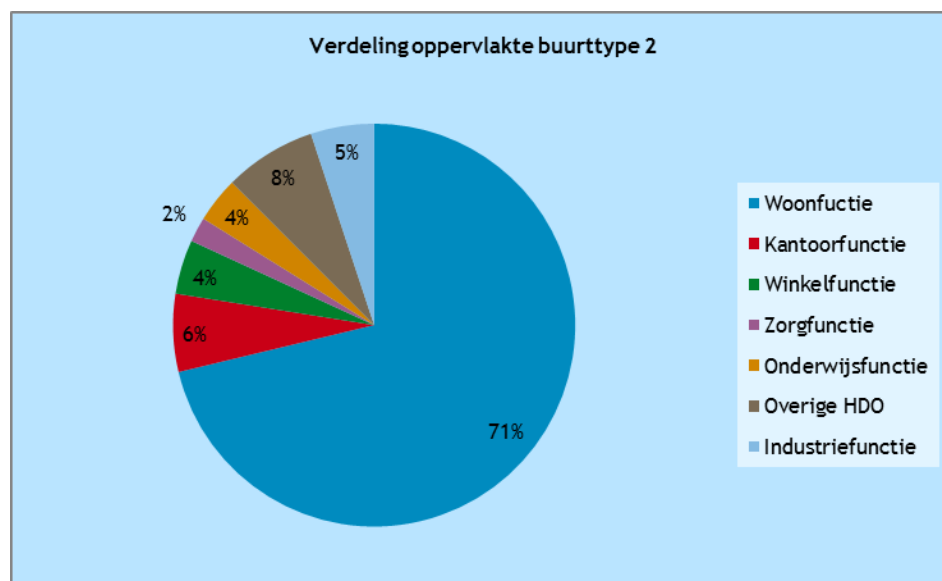


8.3 Type 2 1e ringen, hoogstedelijk (1900-1945)

Tabel 23 Algemene gegevens buurttype 2

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	604
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	1,4
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	43
Totaal	[ha]	26.082
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	3.018
Totaal	[n]	1.823.130
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.492
Totaal	[n]	901.316
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	100
Gemiddeld per buurt	[m ²]	149.511
Totaal	[m ²]	90.304.764
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	42%
Percentage grondgebonden	[%]	58%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	48%
Percentage huur via corporatie	[%]	31%
Percentage particuliere huur	[%]	21%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	60.308
Totaal	[m ²]	36.426.110

Figuur 62 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 2

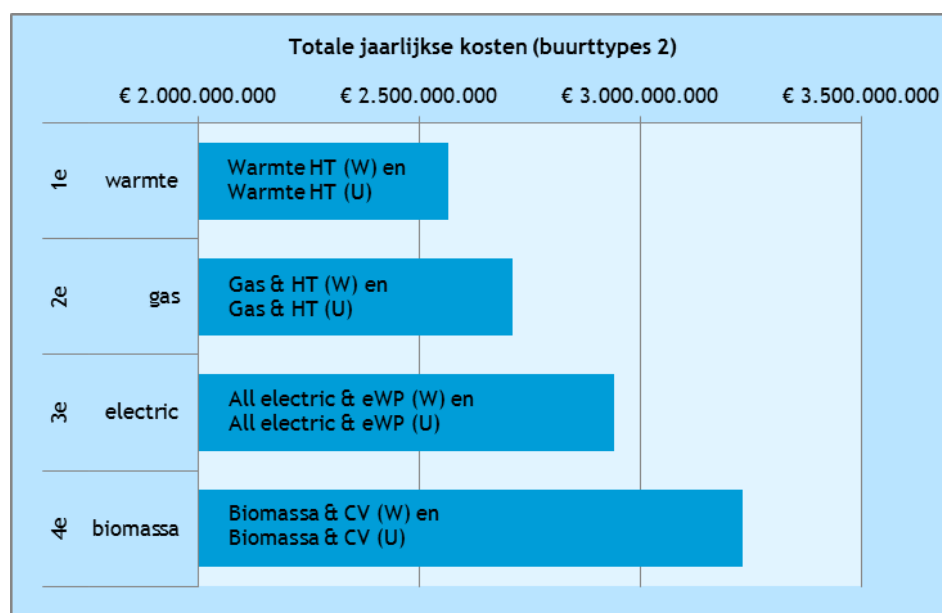


Tabel 24 Energiegegevens per woning buurttype 2

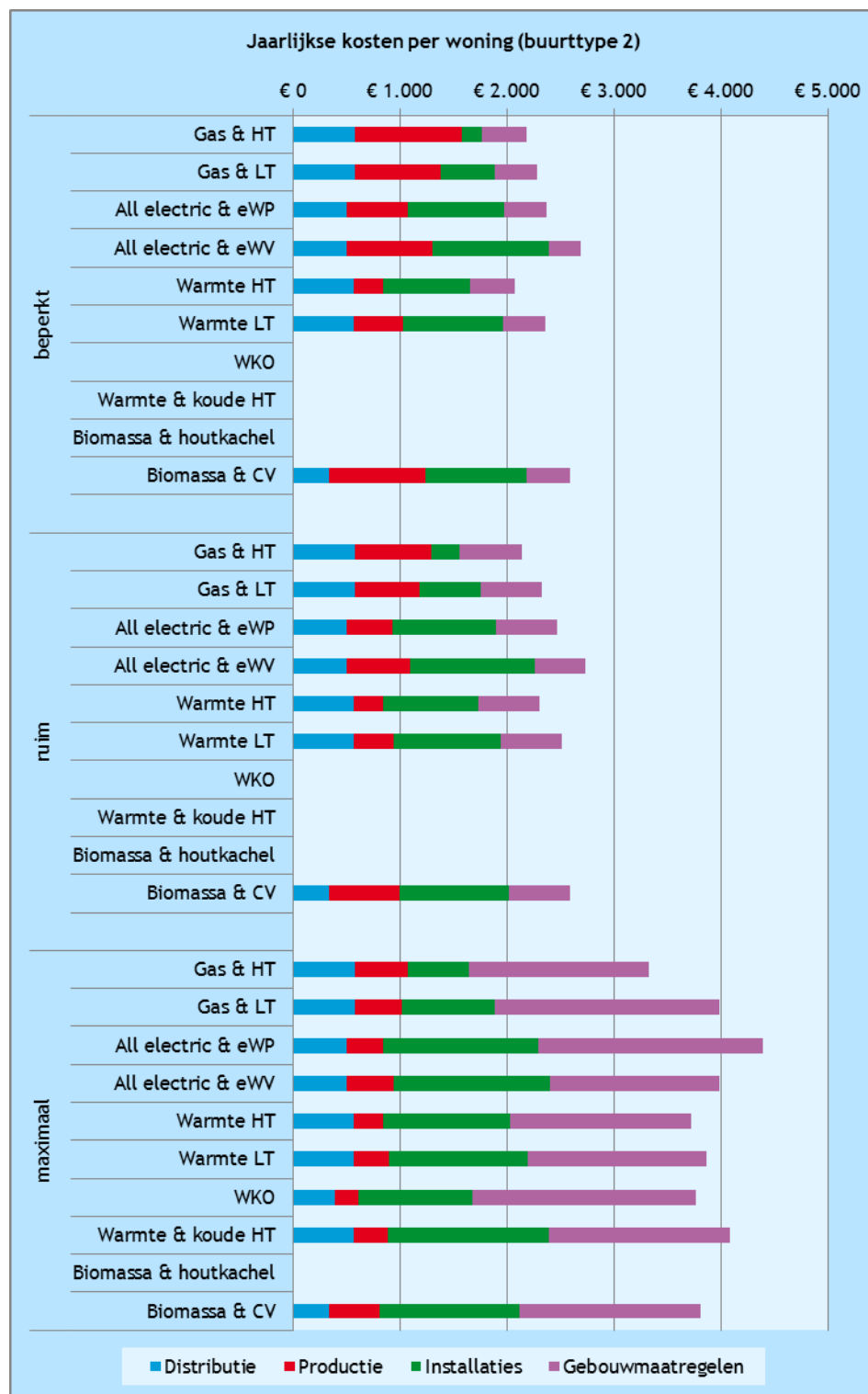
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.067	583	382	194
Warm tapwater	[m ³ gas]	230	230	230	230
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	1.392
Ventilatie	[kWh]	0	0	351	661
Hulpenergie	[kWh]	284	284	284	284
Apparatuur en verlichting	[kWh]	2.663	2.663	2.663	2.663
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-115
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.619

Tabel 25 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 2

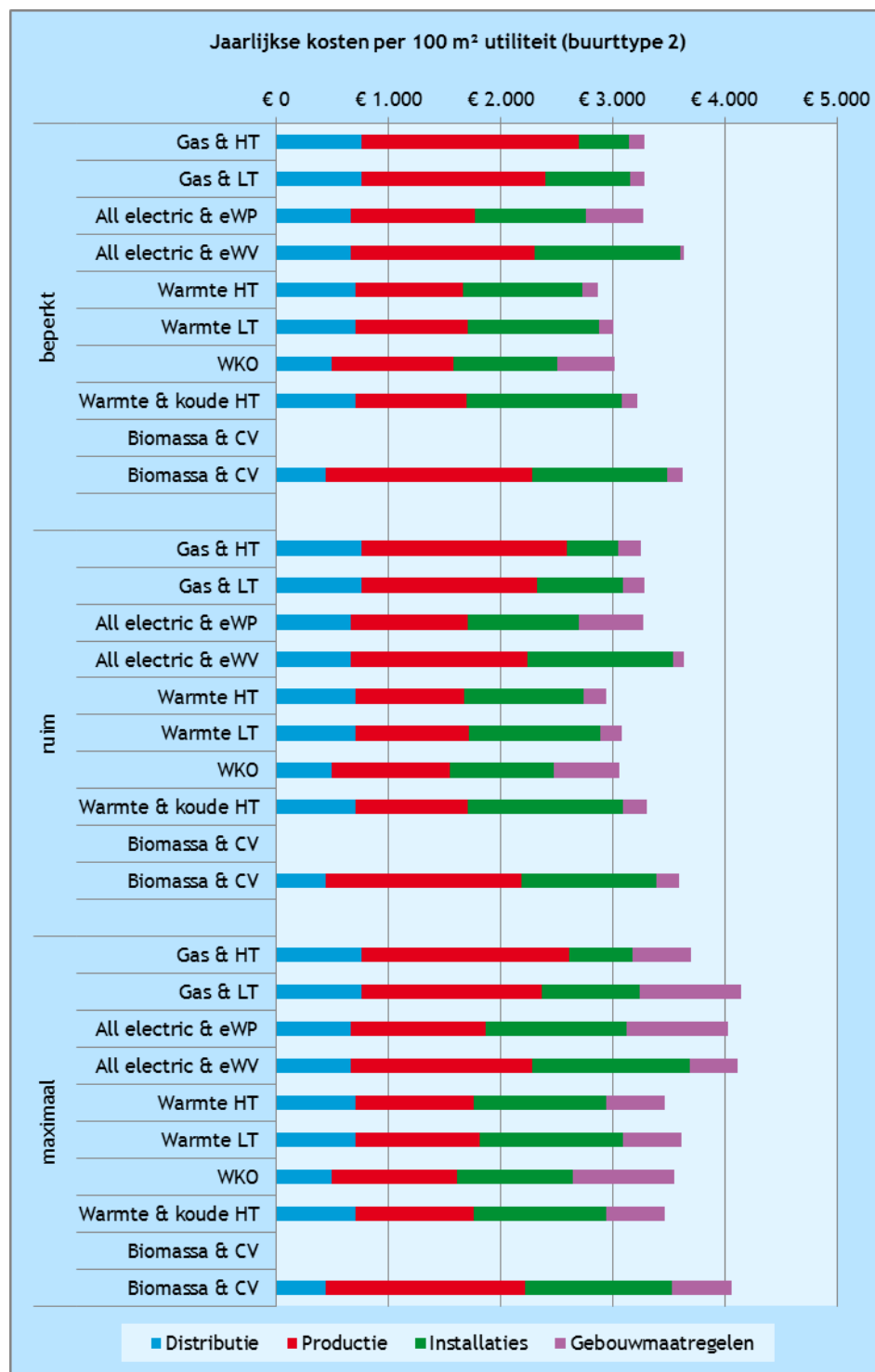
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.328	1.089	950	871
Warm tapwater	[m ³ gas]	74	74	74	74
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	851	1.021	1.149	1.276
Ventilatie	[kWh]	637	765	860	956
Hulpenergie	[kWh]	303	303	303	303
Apparatuur en verlichting	[kWh]	9.077	9.077	9.077	9.077
Add-ons		10.868	11.166	11.389	11.612
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.619

Figuur 63 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 2 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 64 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 2
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 65 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 1 (uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

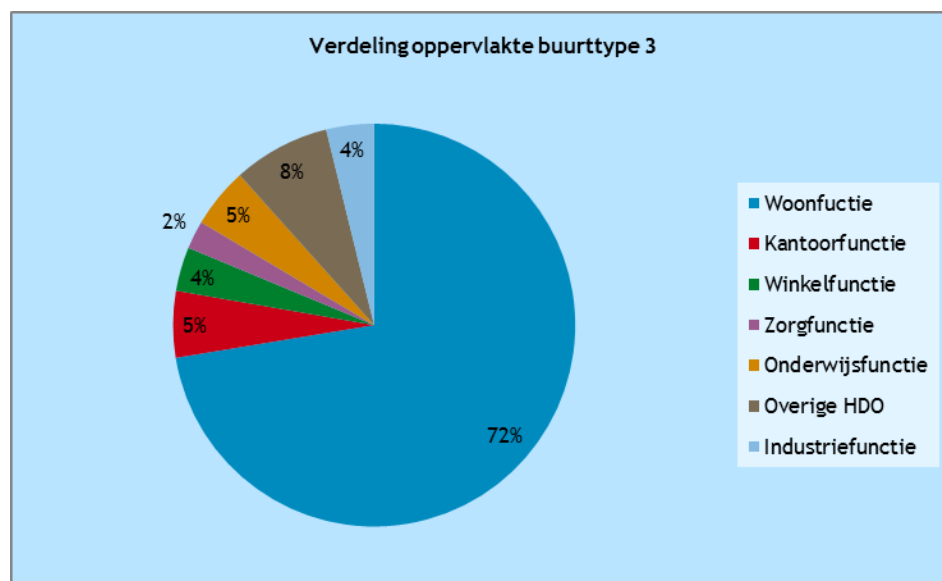


8.4 Type 3 Wederopbouw, hoogstedelijk (1945-1965)

Tabel 26 Algemene gegevens buurttype 3

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	497
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	1,7
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	50
Totaal	[ha]	24.851
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	2.631
Totaal	[n]	1.307.825
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.330
Totaal	[n]	661.203
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	99
Gemiddeld per buurt	[m ²]	131.142
Totaal	[m ²]	65.177.586
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	49%
Percentage grondgebonden	[%]	51%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	40%
Percentage huur via corporatie	[%]	48%
Percentage particuliere huur	[%]	12%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	50.004
Totaal	[m ²]	24.851.833

Figuur 66 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 3

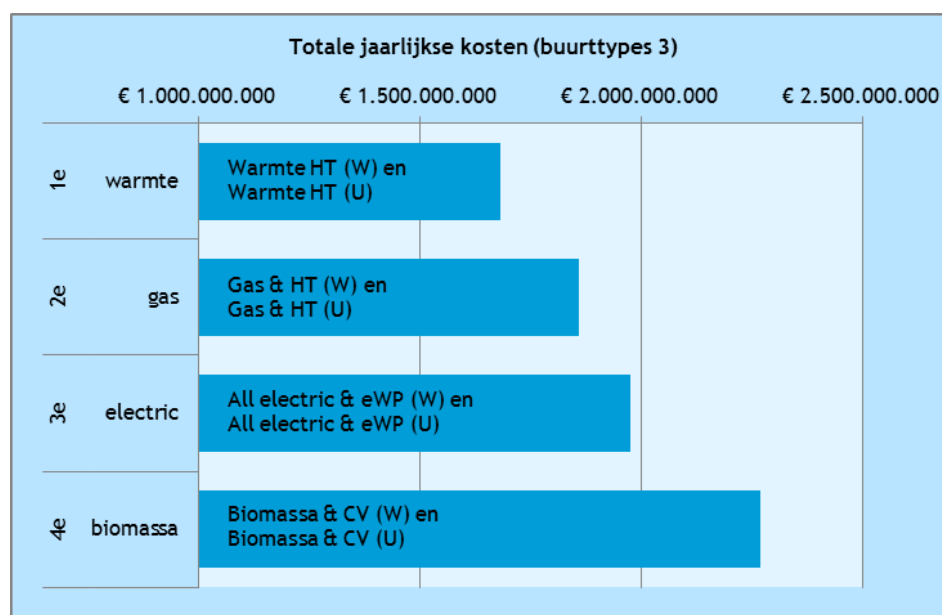


Tabel 27 Energiegegevens per woning buurttype 3

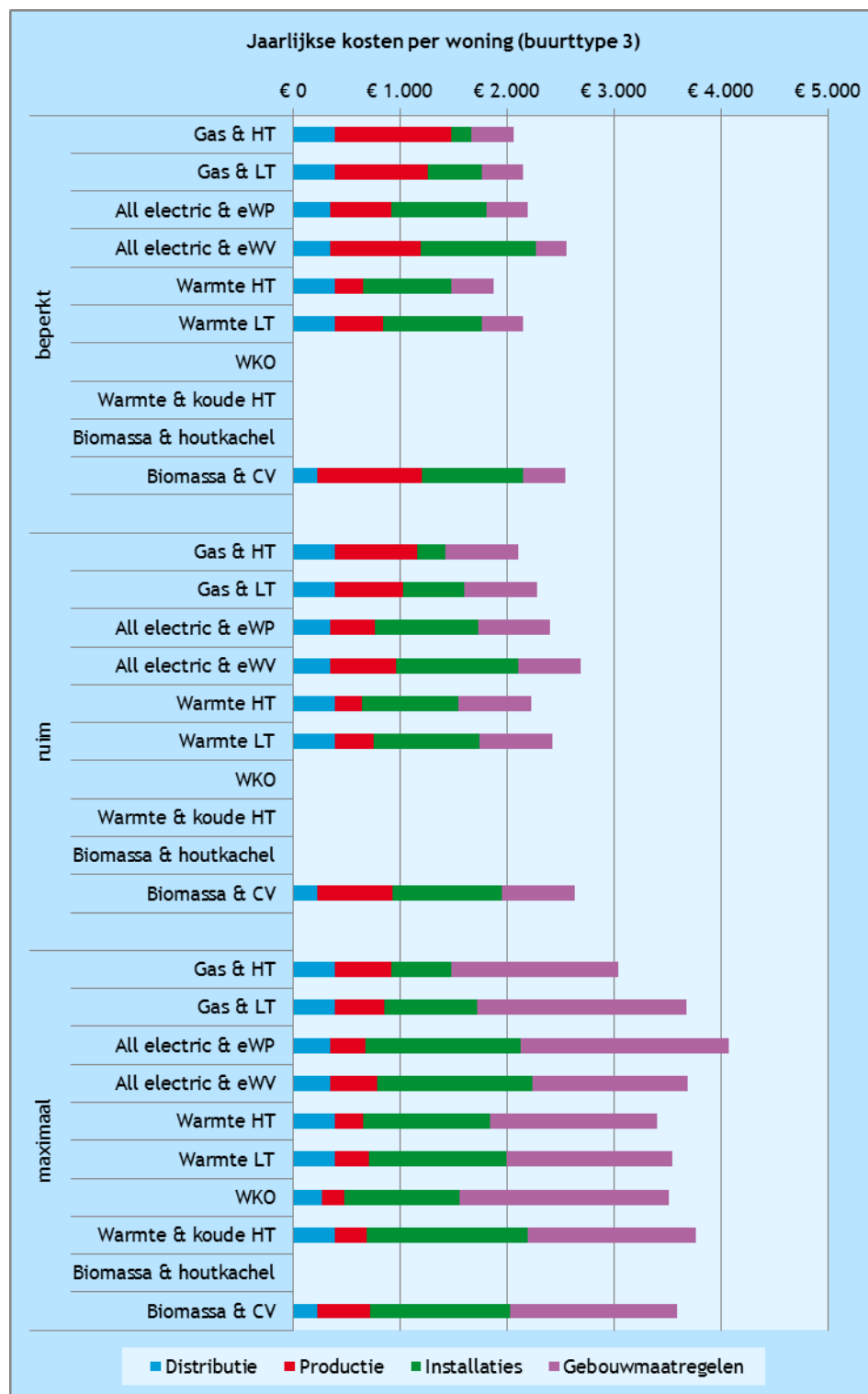
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	991	705	462	235
Warm tapwater	[m ³ gas]	225	225	225	225
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	1.369
Ventilatie	[kWh]	0	0	345	651
Hulpenergie	[kWh]	280	280	280	280
Apparatuur en verlichting	[kWh]	2.416	2.416	2.416	2.416
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-112
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.518

Tabel 28 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 3

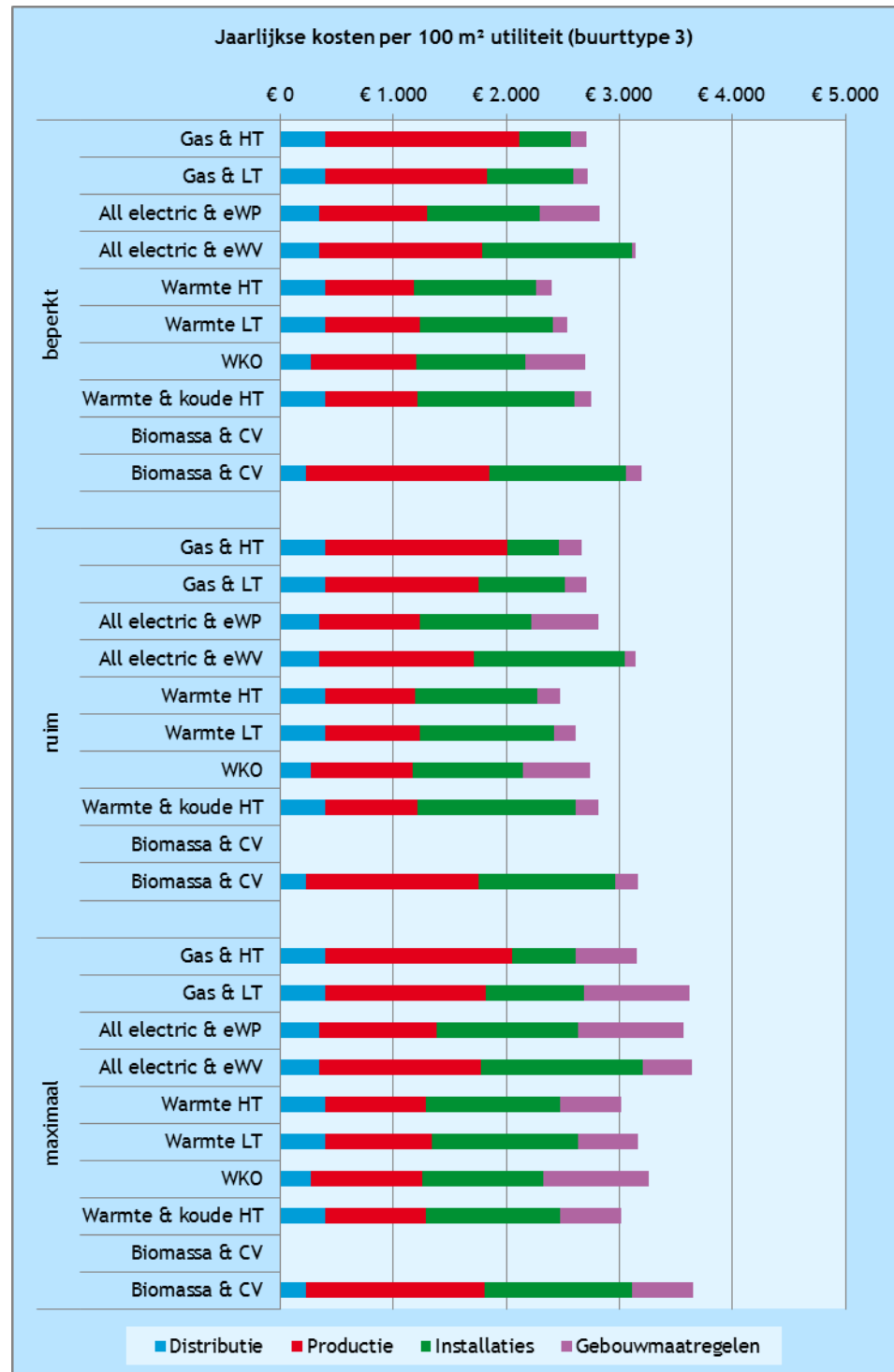
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.277	1.048	914	837
Warm tapwater	[m ³ gas]	72	72	72	72
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	746	895	1.007	1.119
Ventilatie	[kWh]	597	716	806	895
Hulpenergie	[kWh]	288	288	288	288
Apparatuur en verlichting	[kWh]	8.226	8.226	8.226	8.226
Add-ons		9.857	10.126	10.327	10.529
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.518

Figuur 67 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 3 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 68 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 3
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 69 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 1 (uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

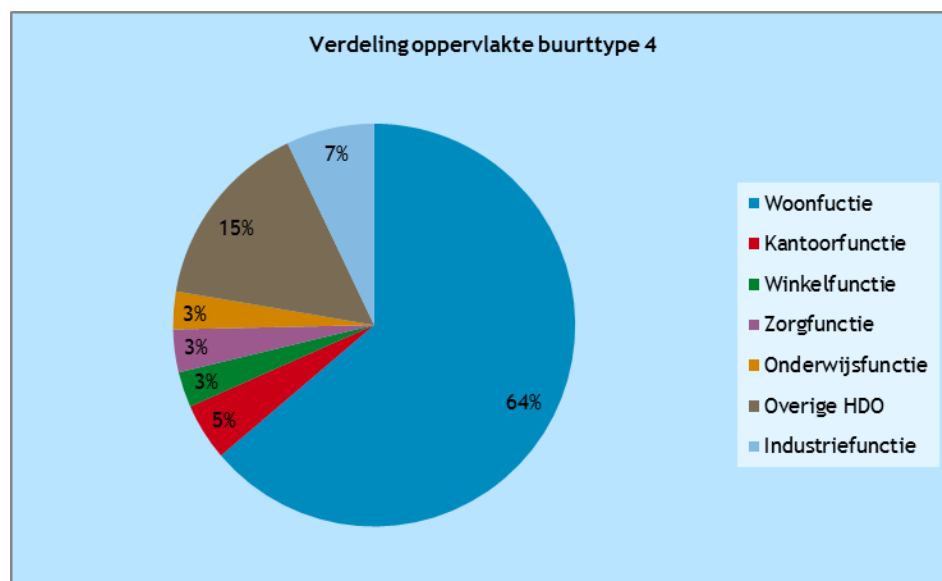


8.5 Type 4 Wederopbouw, matig stedelijk (1945-1965)

Tabel 29 Algemene gegevens buurttype 4

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	166
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	3,0
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	76
Totaal	[ha]	12.662
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.881
Totaal	[n]	312.305
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	890
Totaal	[n]	147.753
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	121
Gemiddeld per buurt	[m ²]	107.695
Totaal	[m ²]	17.877.427
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	21%
Percentage grondgebonden	[%]	79%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	52%
Percentage huur via corporatie	[%]	39%
Percentage particuliere huur	[%]	9%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	61.138
Totaal	[m ²]	10.148.928

Figuur 70 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 4

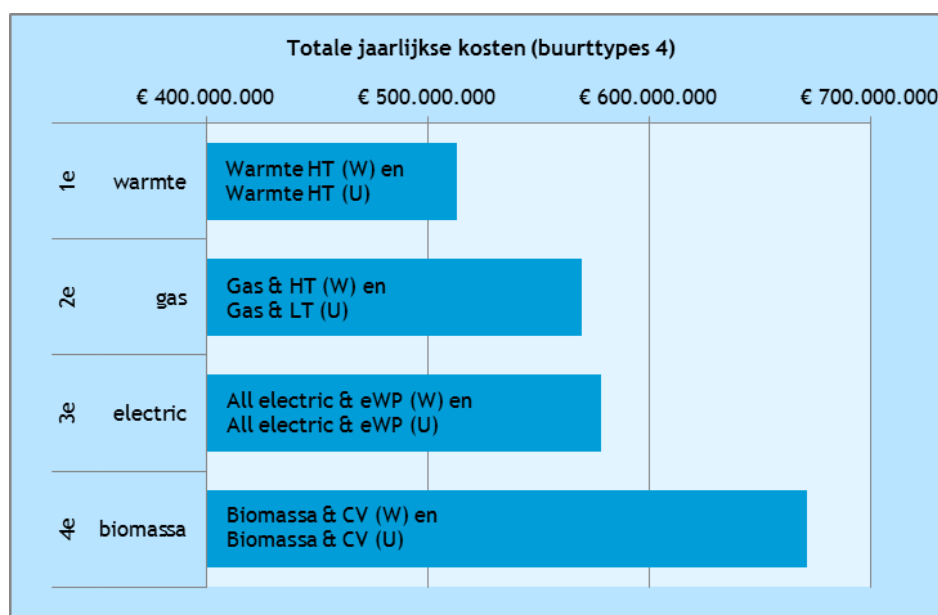


Tabel 30 Energiegegevens per woning buurttype 4

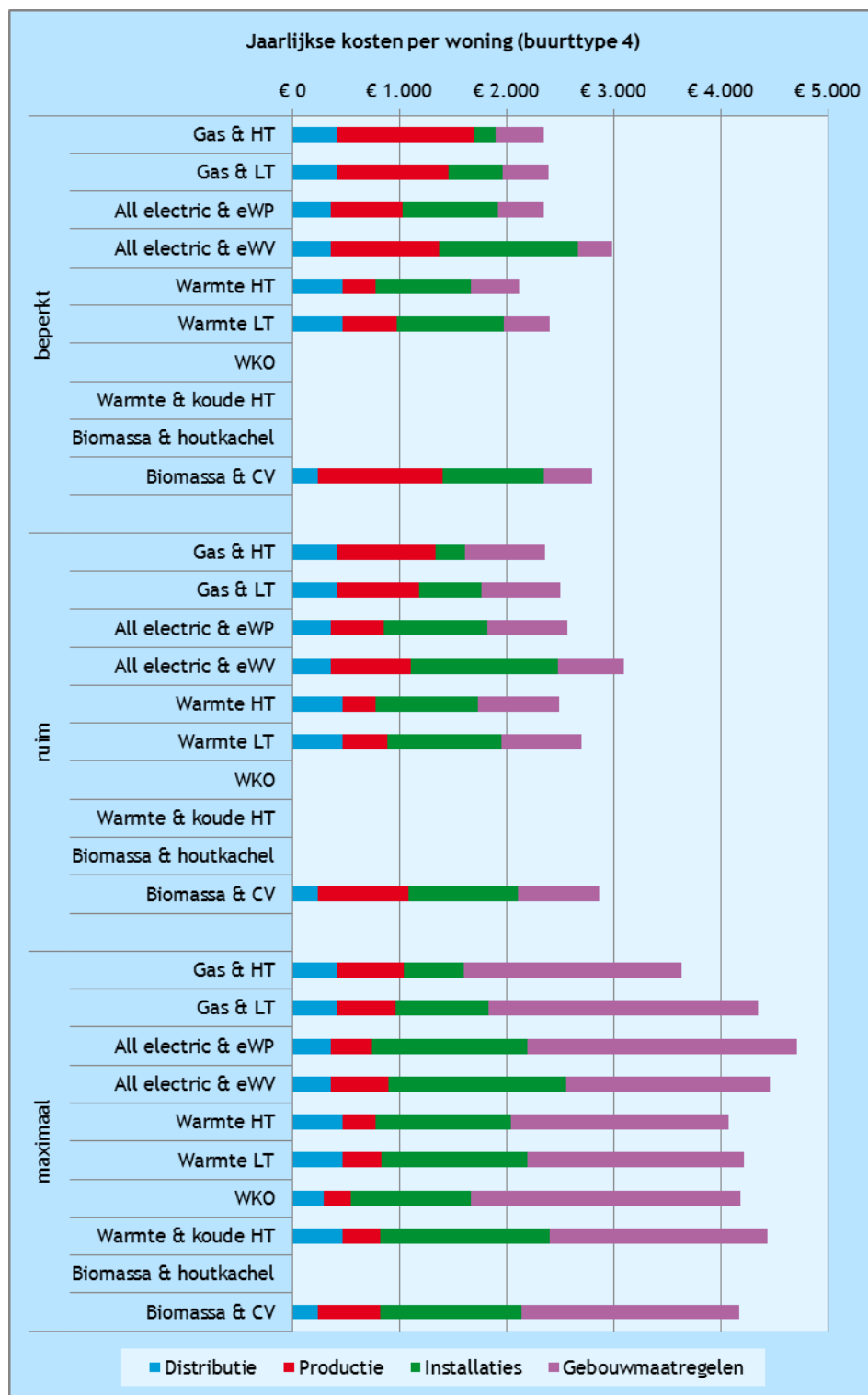
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.234	878	576	293
Warm tapwater	[m ³ gas]	240	240	240	240
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	1.680
Ventilatie	[kWh]	0	0	423	799
Hulpenergie	[kWh]	343	343	343	343
Apparatuur en verlichting	[kWh]	2.827	2.827	2.827	2.827
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-120
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.938

Tabel 31 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 4

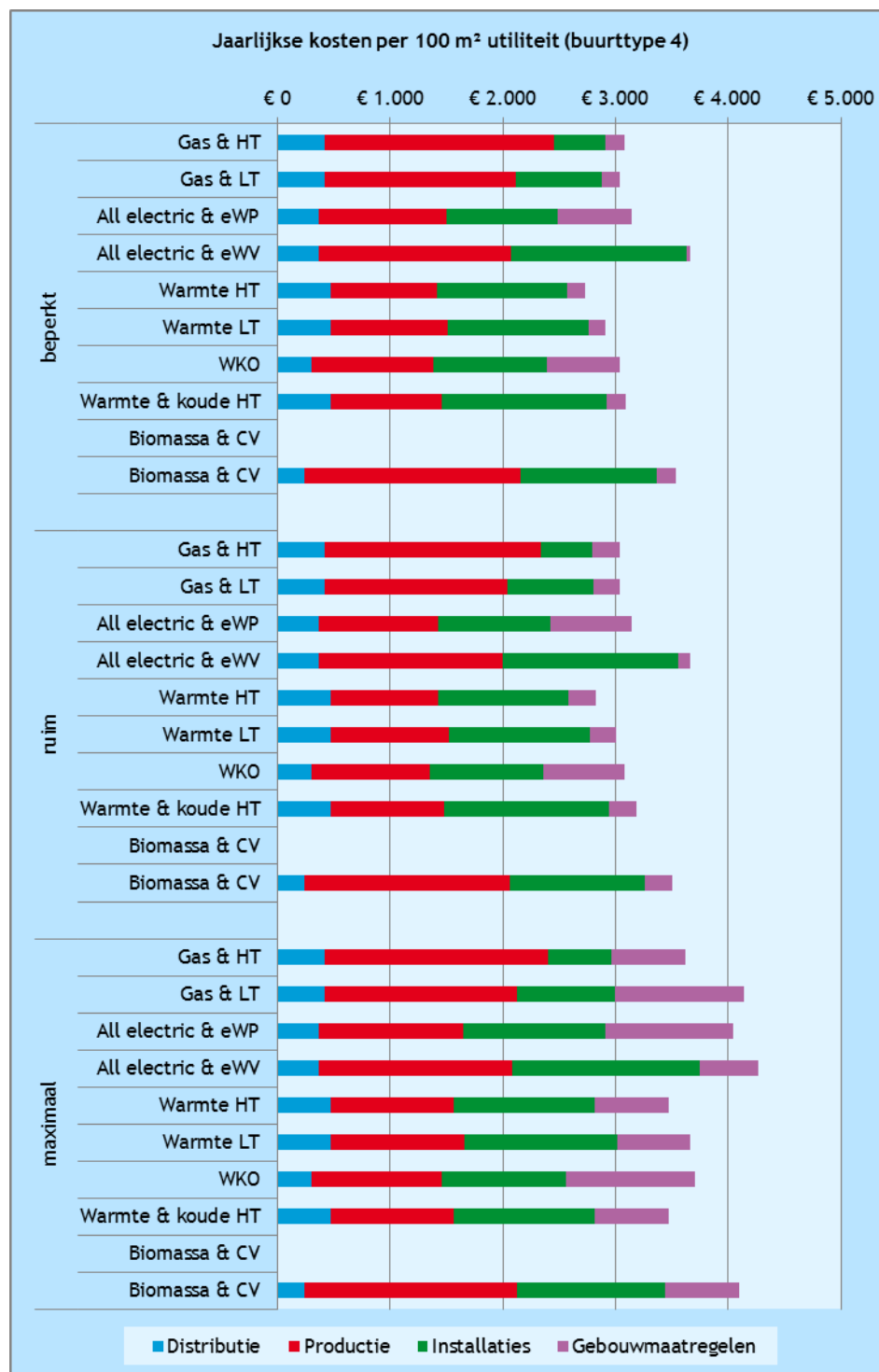
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.449	1.181	1.025	936
Warm tapwater	[m ³ gas]	123	123	123	123
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	1.245	1.494	1.680	1.867
Ventilatie	[kWh]	899	1.078	1.213	1.348
Hulpenergie	[kWh]	381	381	381	381
Apparatuur en verlichting	[kWh]	9.037	9.037	9.037	9.037
Add-ons		11.561	11.990	12.312	12.633
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.938

Figuur 71 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 4 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 72 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 4
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 73 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 4 (uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

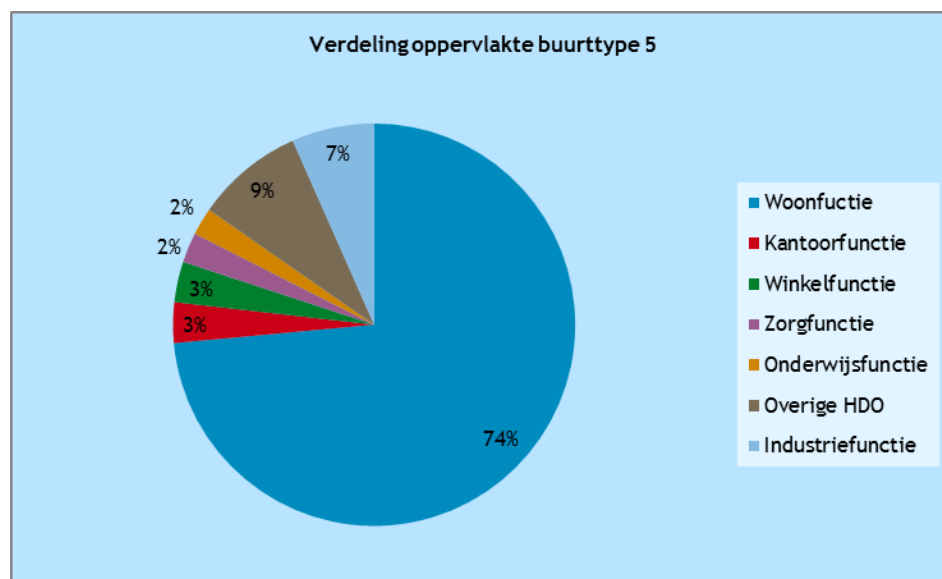


8.6 Type 5 Wederopbouw, suburbaan (1945-1965)

Tabel 32 Algemene gegevens buurttype 5

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	101
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	4,0
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	84
Totaal	[ha]	8.450
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.419
Totaal	[n]	143.295
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	667
Totaal	[n]	67.338
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	134
Gemiddeld per buurt	[m ²]	89.151
Totaal	[m ²]	9.004.262
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	15%
Percentage grondgebonden	[%]	85%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	59%
Percentage huur via corporatie	[%]	31%
Percentage particuliere huur	[%]	10%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	32.084
Totaal	[m ²]	3.240.435

Figuur 74 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 5

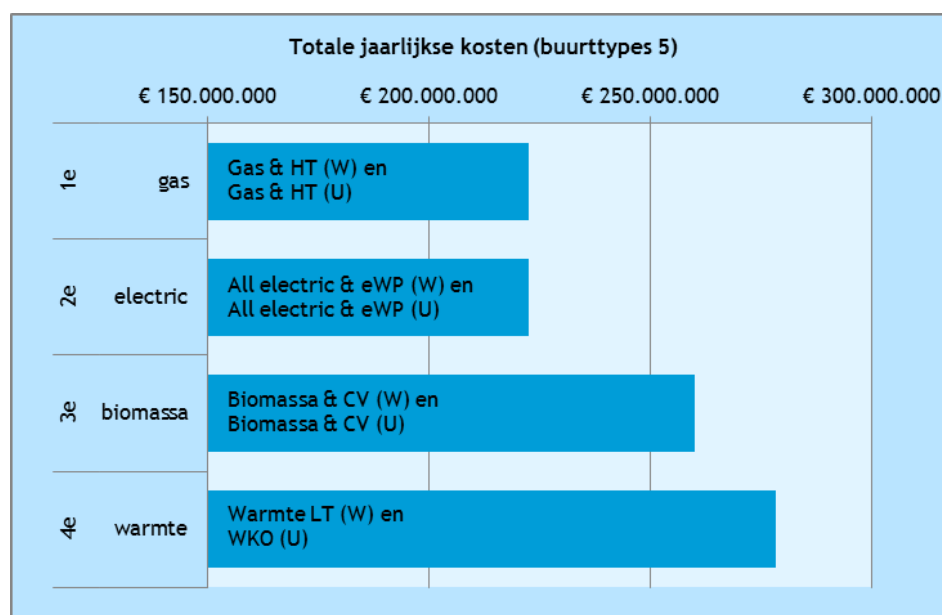


Tabel 33 Energiegegevens per woning buurttype 5

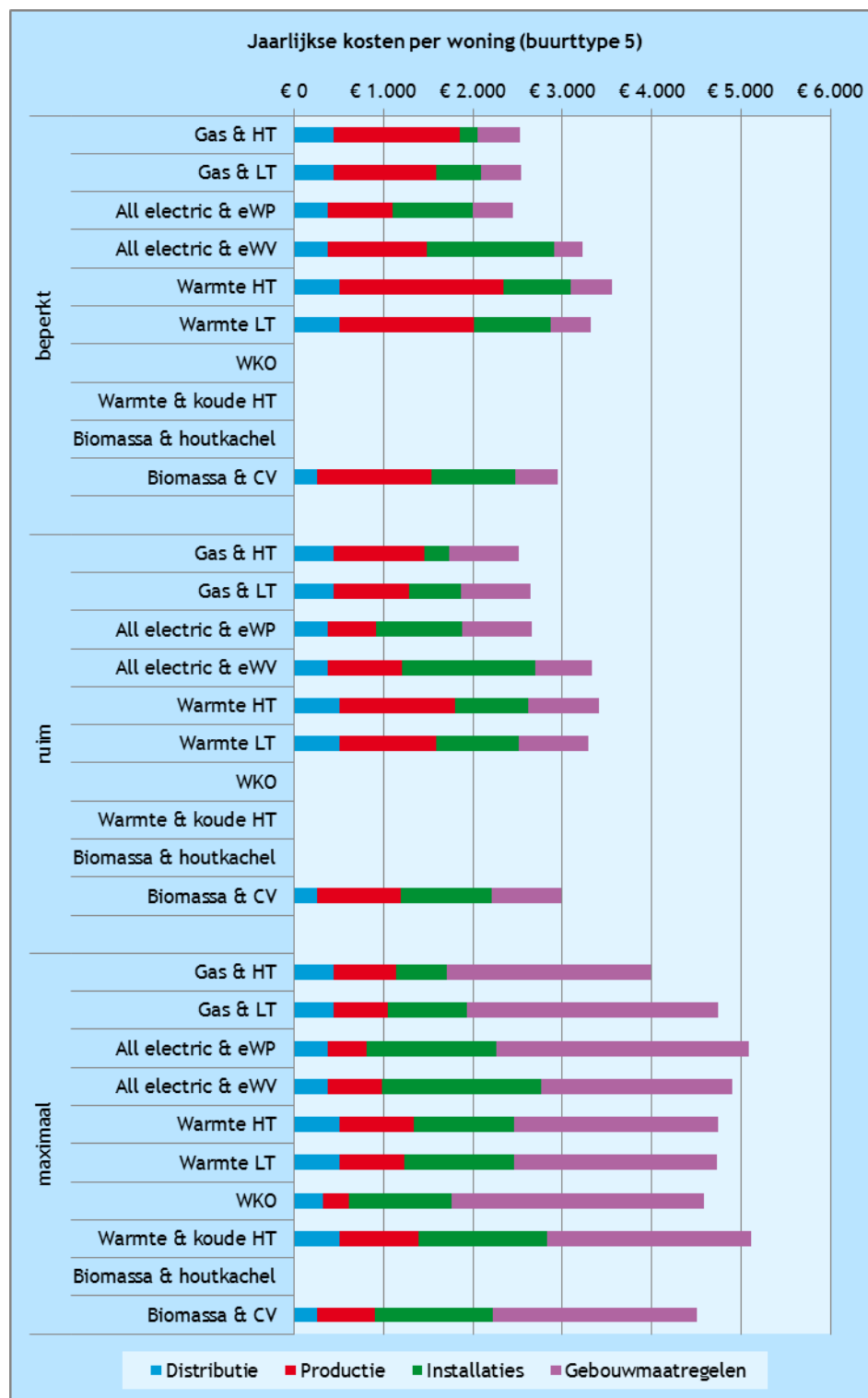
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.386	986	646	329
Warm tapwater	[m ³ gas]	242	242	242	242
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	1.857
Ventilatie	[kWh]	0	0	468	883
Hulpenergie	[kWh]	379	379	379	379
Apparatuur en verlichting	[kWh]	3.128	3.128	3.128	3.128
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-121
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.030

Tabel 34 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 5

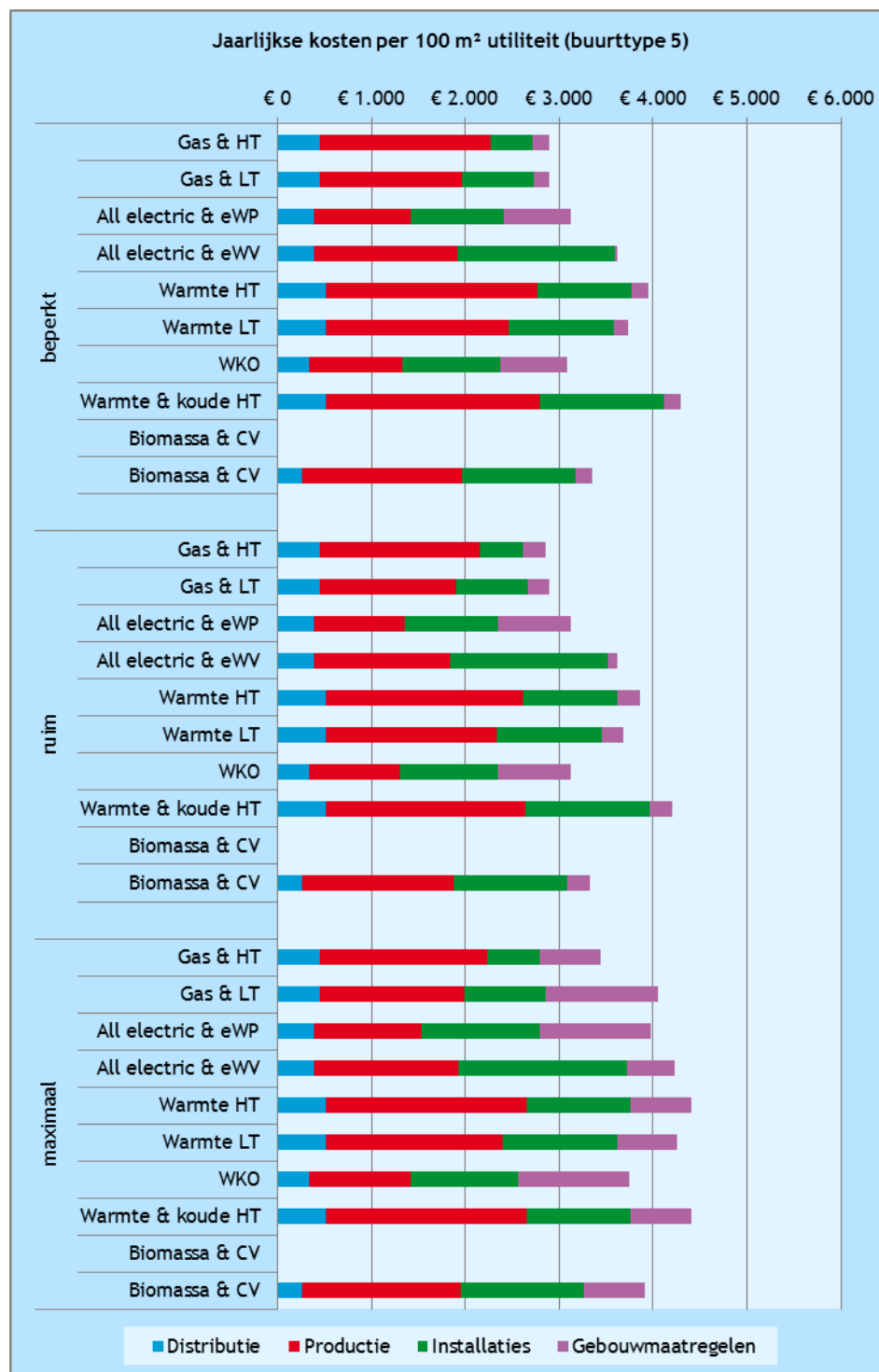
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.302	1.066	927	849
Warm tapwater	[m ³ gas]	89	89	89	89
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	818	982	1.104	1.227
Ventilatie	[kWh]	662	795	894	993
Hulpenergie	[kWh]	307	307	307	307
Apparatuur en verlichting	[kWh]	8.900	8.900	8.900	8.900
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.030

Figuur 75 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 5 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 76 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 5
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 77 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 5
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

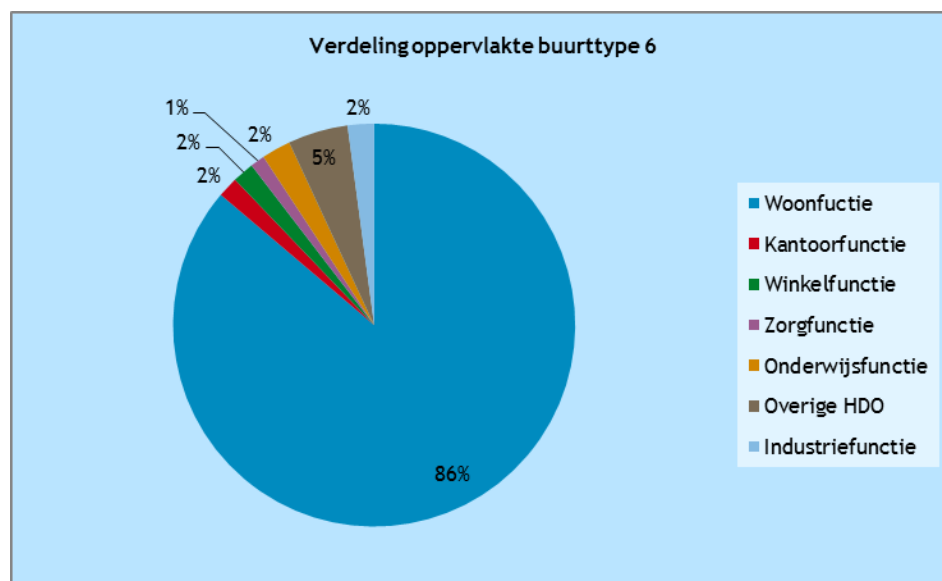


8.7 Type 6 Bloemkoolwijk, hoogstedelijk, wonen (1965-1990)

Tabel 35 Algemene gegevens buurttype 6

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	749
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	1,8
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	50
Totaal	[ha]	37.333
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	2.813
Totaal	[n]	2.106.940
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.295
Totaal	[n]	970.122
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	109
Gemiddeld per buurt	[m ²]	140.920
Totaal	[m ²]	105.549.283
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	35%
Percentage grondgebonden	[%]	65%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	47%
Percentage huur via corporatie	[%]	43%
Percentage particuliere huur	[%]	10%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	22.575
Totaal	[m ²]	16.908.301

Figuur 78 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 6

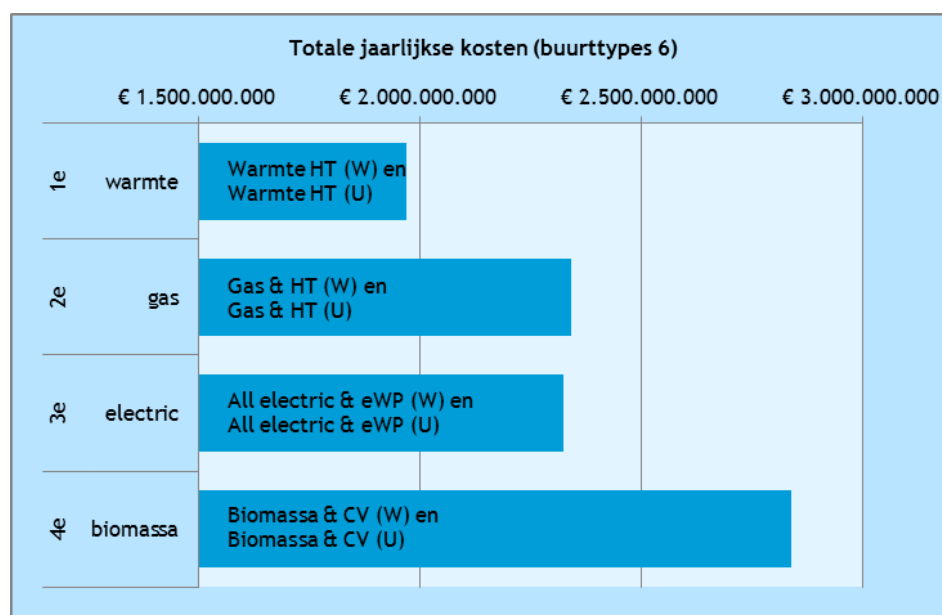


Tabel 36 Energiegegevens per woning buurttype 6

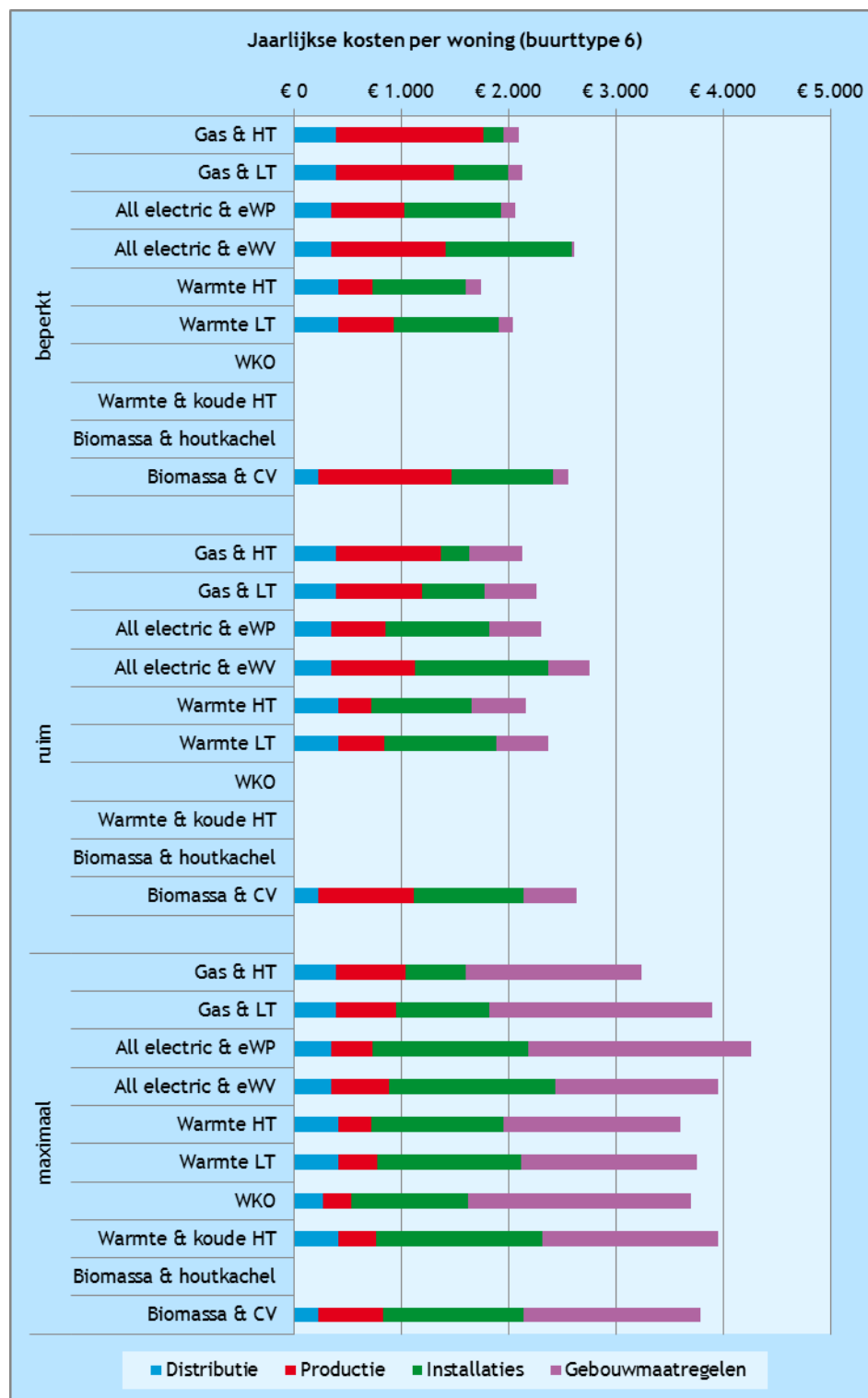
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	982	960	629	320
Warm tapwater	[m ³ gas]	247	247	247	247
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	1.511
Ventilatie	[kWh]	0	0	381	718
Hulpenergie	[kWh]	309	309	309	309
Apparatuur en verlichting	[kWh]	2.813	2.813	2.813	2.813
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-124
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.720

Tabel 37 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 6

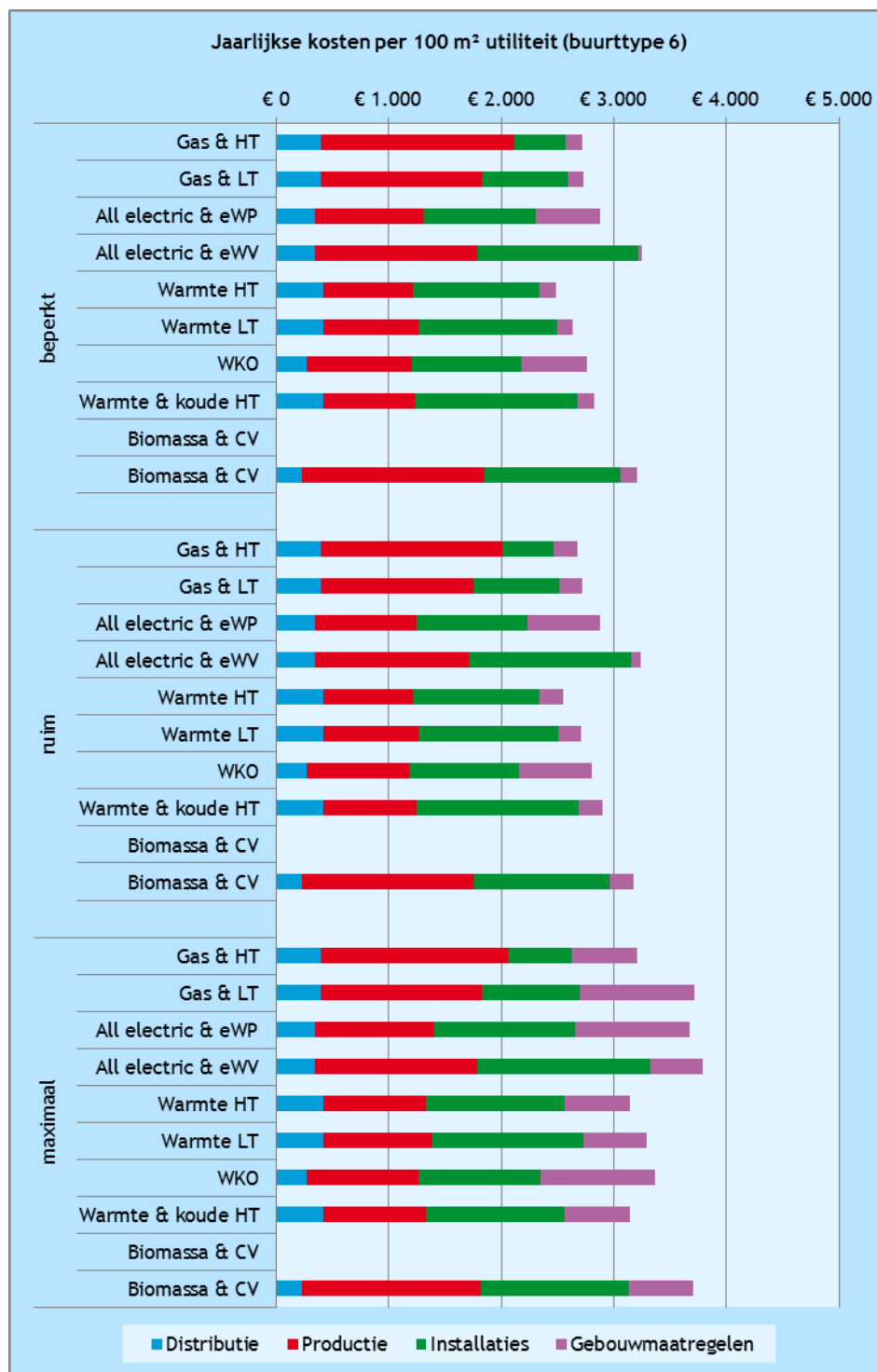
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.262	1.034	900	824
Warm tapwater	[m ³ gas]	80	80	80	80
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	746	895	1.007	1.119
Ventilatie	[kWh]	616	739	831	923
Hulpenergie	[kWh]	299	299	299	299
Apparatuur en verlichting	[kWh]	8.207	8.207	8.207	8.207
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.720

Figuur 79 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 6 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 80 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 6
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 81 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 6 (uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

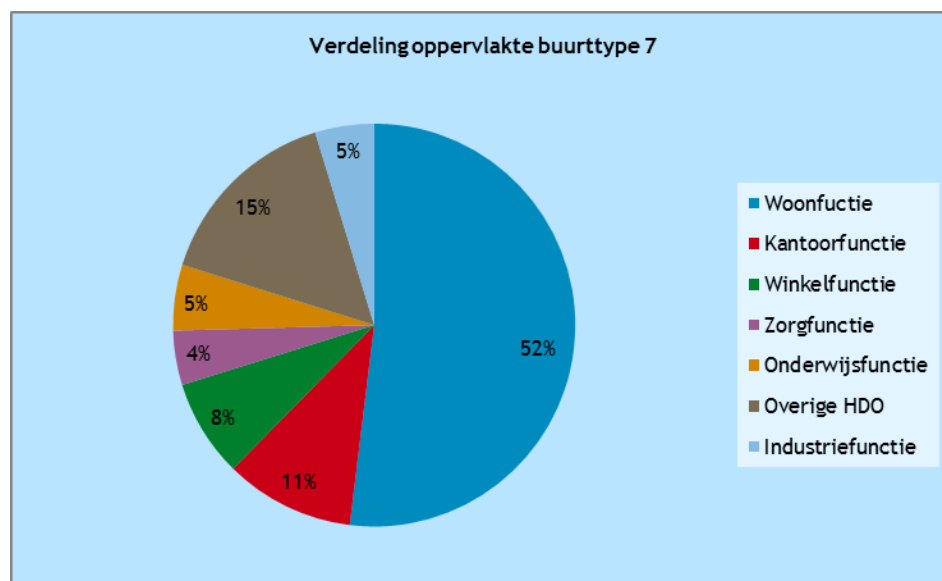


8.8 Type 7 Bloemkoolwijk, hoogstedelijk, wonen & utiliteit (1965-1990)

Tabel 38 Algemene gegevens buurttype 7

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	270
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	1,6
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	55
Totaal	[ha]	14.936
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	2.421
Totaal	[n]	653.655
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.308
Totaal	[n]	353.249
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	101
Gemiddeld per buurt	[m ²]	132.310
Totaal	[m ²]	35.723.579
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	54%
Percentage grondgebonden	[%]	46%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	39%
Percentage huur via corporatie	[%]	44%
Percentage particuliere huur	[%]	17%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	122.428
Totaal	[m ²]	33.055.528

Figuur 82 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 7

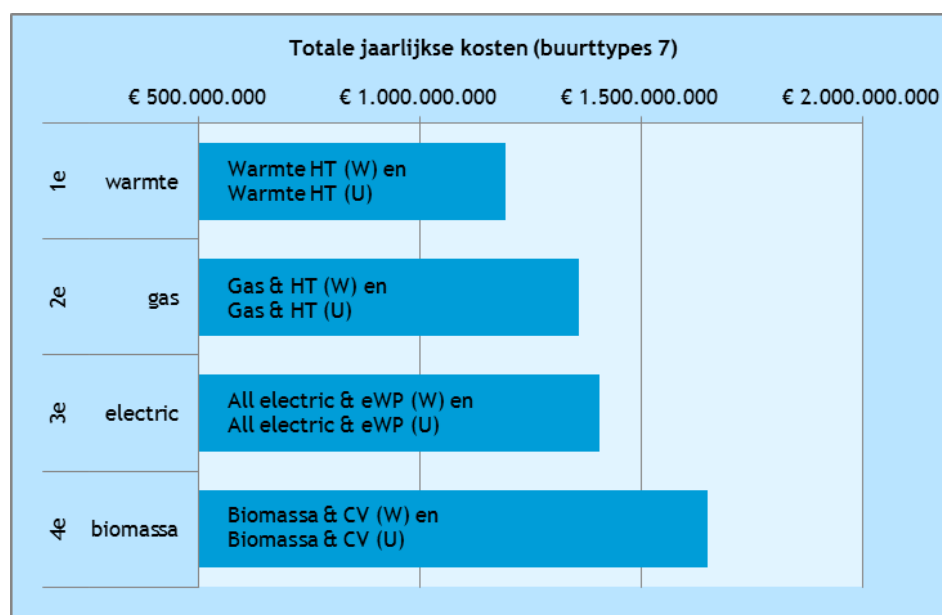


Tabel 39 Energiegegevens per woning buurttype 7

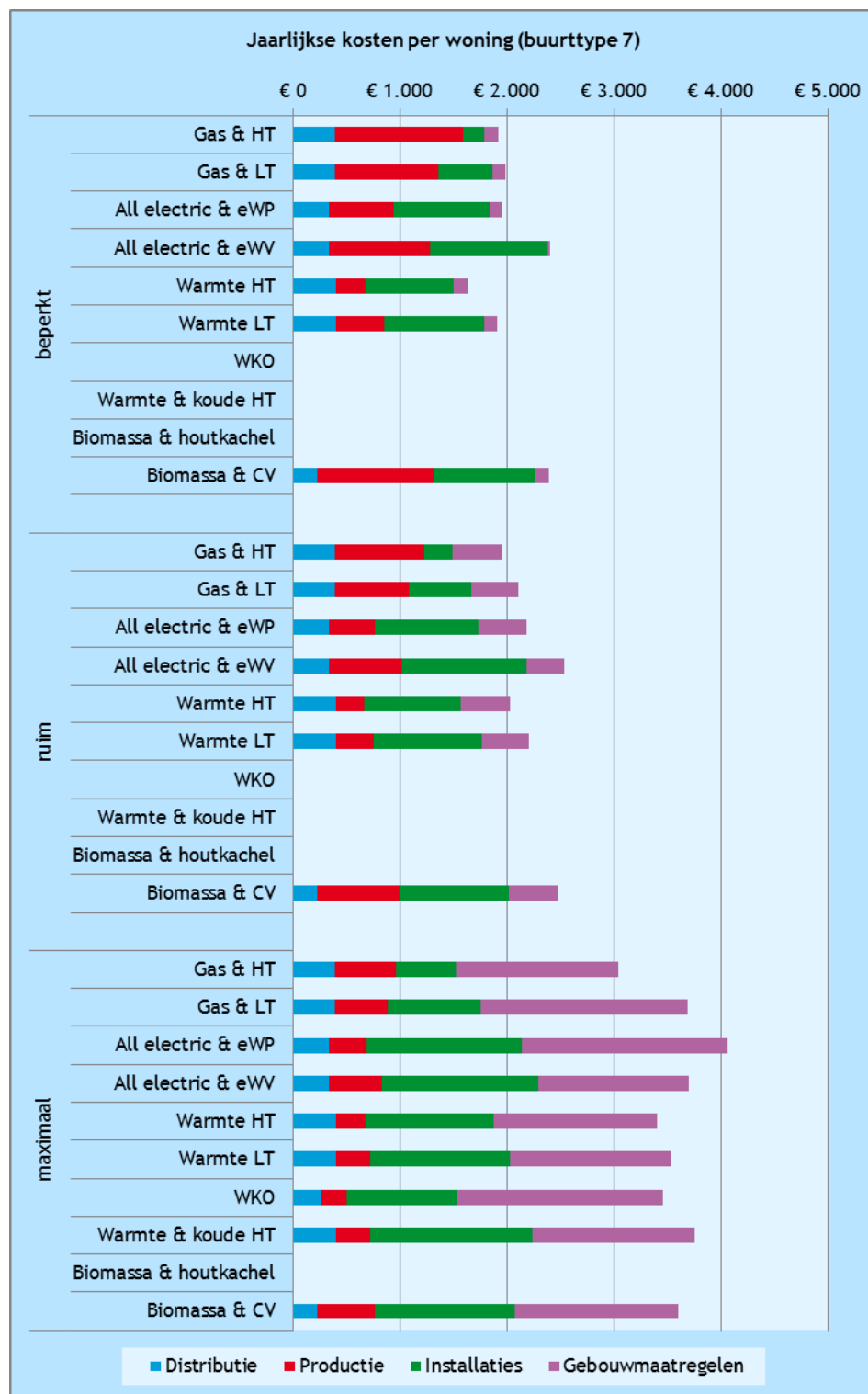
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	871	852	558	284
Warm tapwater	[m ³ gas]	210	210	210	210
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	1.405
Ventilatie	[kWh]	0	0	354	667
Hulpenergie	[kWh]	287	287	287	287
Apparatuur en verlichting	[kWh]	2.455	2.455	2.455	2.455
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-105
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.453

Tabel 40 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 7

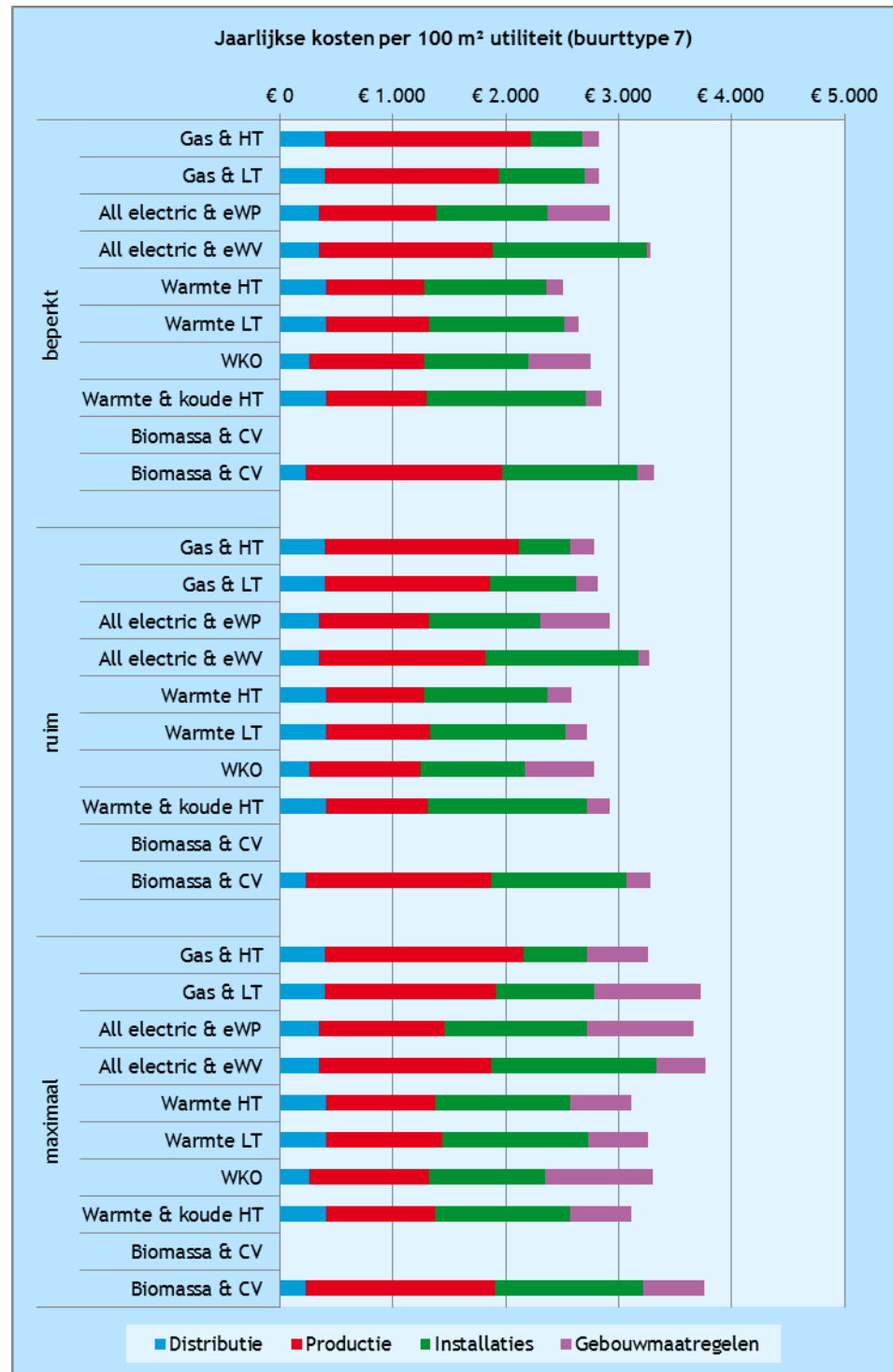
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.325	1.086	947	867
Warm tapwater	[m ³ gas]	78	78	78	78
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	835	1.002	1.127	1.253
Ventilatie	[kWh]	642	770	866	962
Hulpenergie	[kWh]	301	301	301	301
Apparatuur en verlichting	[kWh]	9.148	9.148	9.148	9.148
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.453

Figuur 83 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 7 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 84 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 7
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 85 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 7 (uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

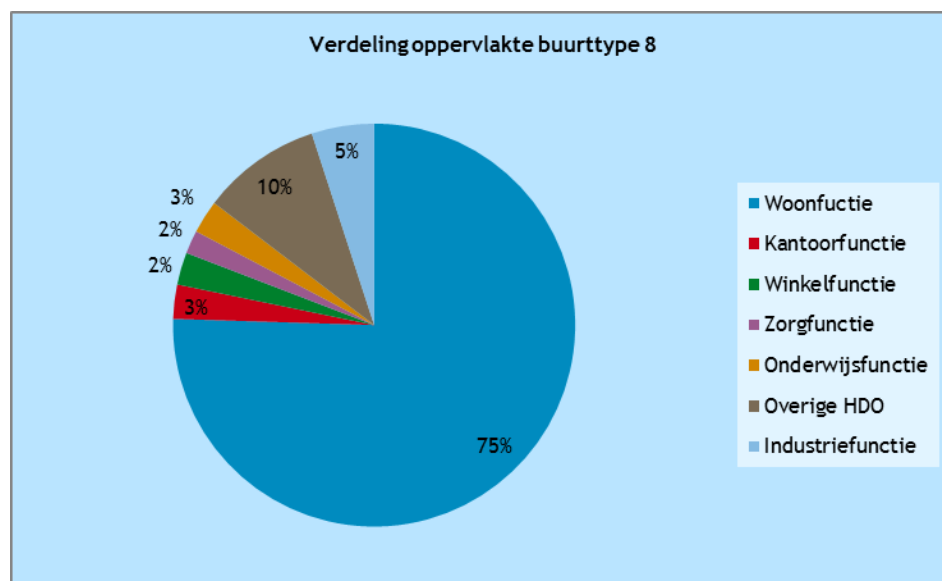


8.9 Type 8 Bloemkoolwijk, matig stedelijk (1965-1990)

Tabel 41 Algemene gegevens buurttype 8

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	661
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	3,0
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	83
Totaal	[ha]	54.781
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	2.720
Totaal	[n]	1.798.230
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.192
Totaal	[n]	788.005
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	126
Gemiddeld per buurt	[m ²]	149.857
Totaal	[m ²]	99.055.461
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	16%
Percentage grondgebonden	[%]	84%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	59%
Percentage huur via corporatie	[%]	32%
Percentage particuliere huur	[%]	9%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	48.663
Totaal	[m ²]	32.166.247

Figuur 86 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 8

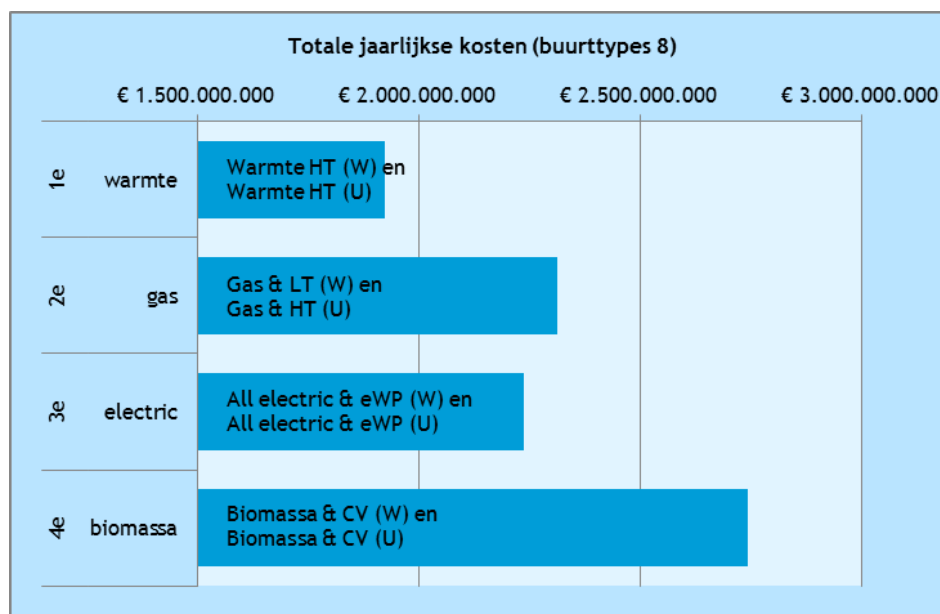


Tabel 42 Energiegegevens per woning buurttype 8

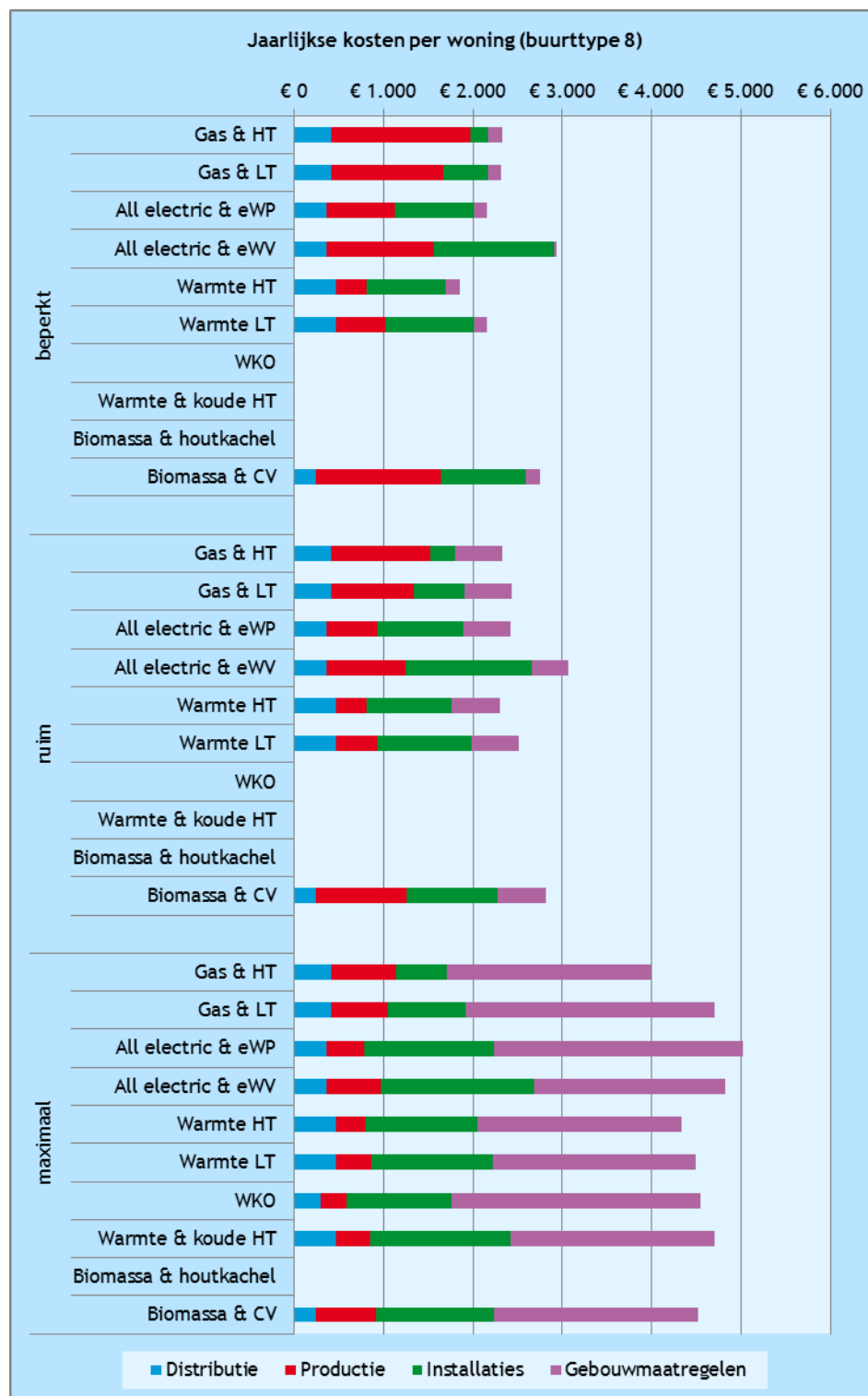
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.159	1.133	743	378
Warm tapwater	[m ³ gas]	260	260	260	260
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	1.746
Ventilatie	[kWh]	0	0	440	830
Hulpenergie	[kWh]	356	356	356	356
Apparatuur en verlichting	[kWh]	3.037	3.037	3.037	3.037
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-130
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.019

Tabel 43 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 8

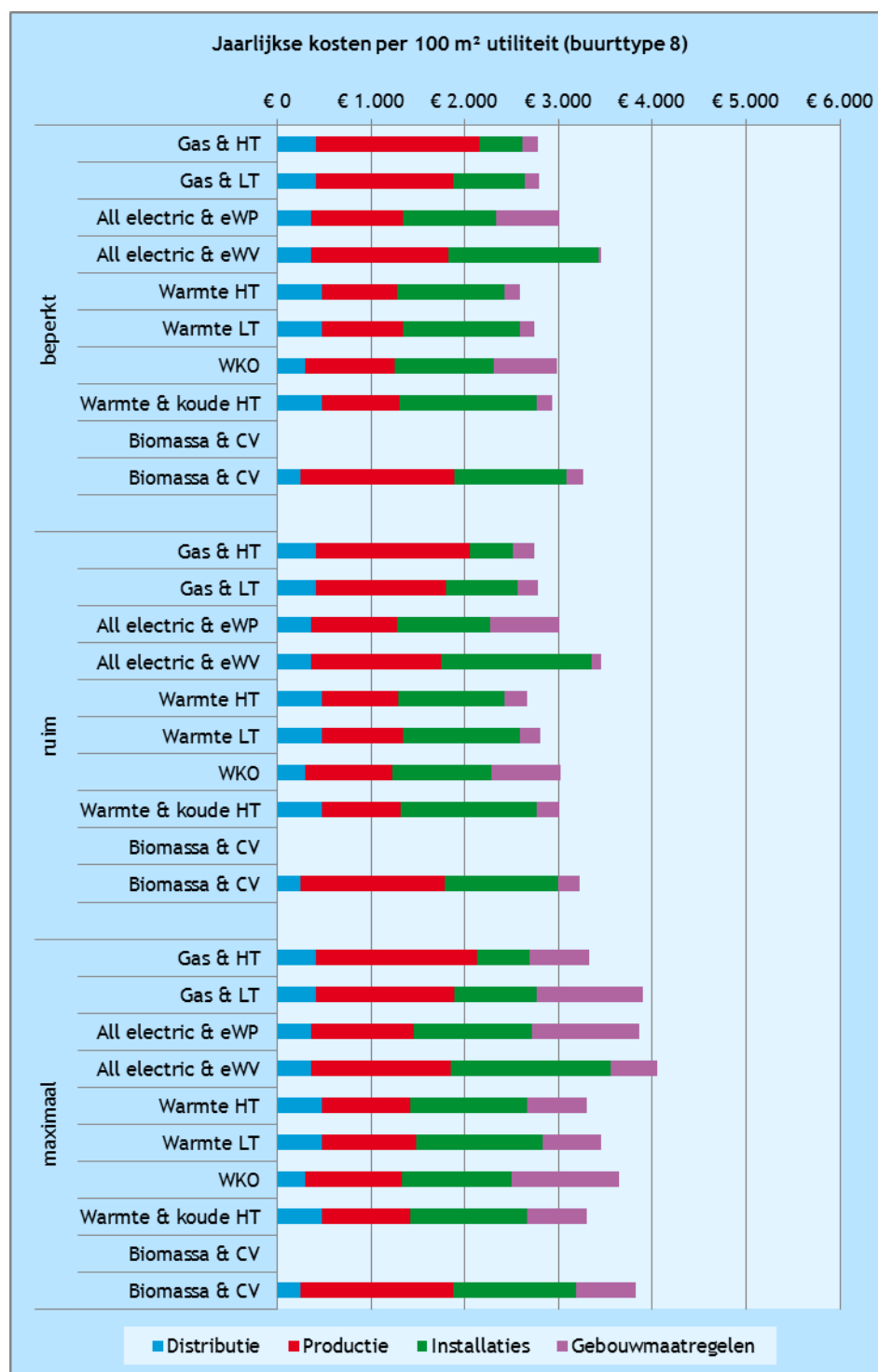
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.269	1.039	905	828
Warm tapwater	[m ³ gas]	83	83	83	83
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	773	928	1.044	1.160
Ventilatie	[kWh]	630	756	850	945
Hulpenergie	[kWh]	298	298	298	298
Apparatuur en verlichting	[kWh]	8.409	8.409	8.409	8.409
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.019

Figuur 87 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 8 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 88 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 8
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 89 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 8 (uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

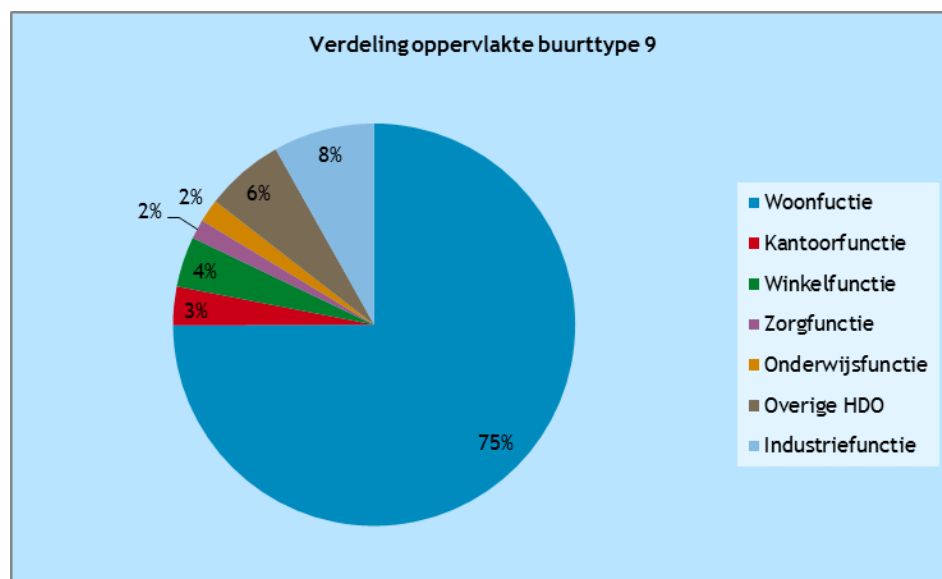


8.10 Type 9 Bloemkoolwijk, suburbaan (1965-1990)

Tabel 44 Algemene gegevens buurttype 9

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	671
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	4,0
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	142
Totaal	[ha]	95.114
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	2.816
Totaal	[n]	1.889.255
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.227
Totaal	[n]	823.330
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	139
Gemiddeld per buurt	[m ²]	170.273
Totaal	[m ²]	114.253.338
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	9%
Percentage grondgebonden	[%]	91%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	64%
Percentage huur via corporatie	[%]	28%
Percentage particuliere huur	[%]	8%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	56.965
Totaal	[m ²]	38.223.685

Figuur 90 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 9

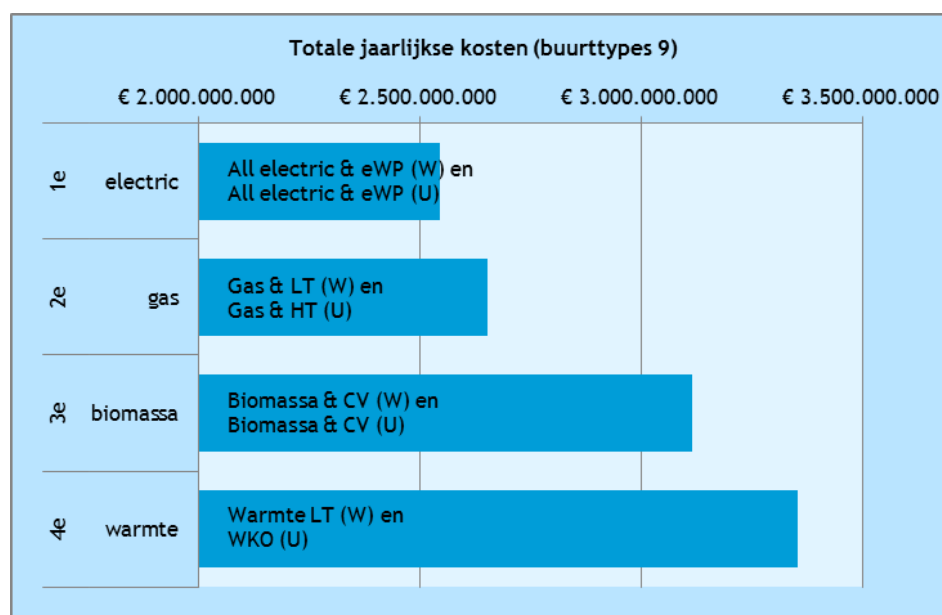


Tabel 45 Energiegegevens per woning buurttype 9

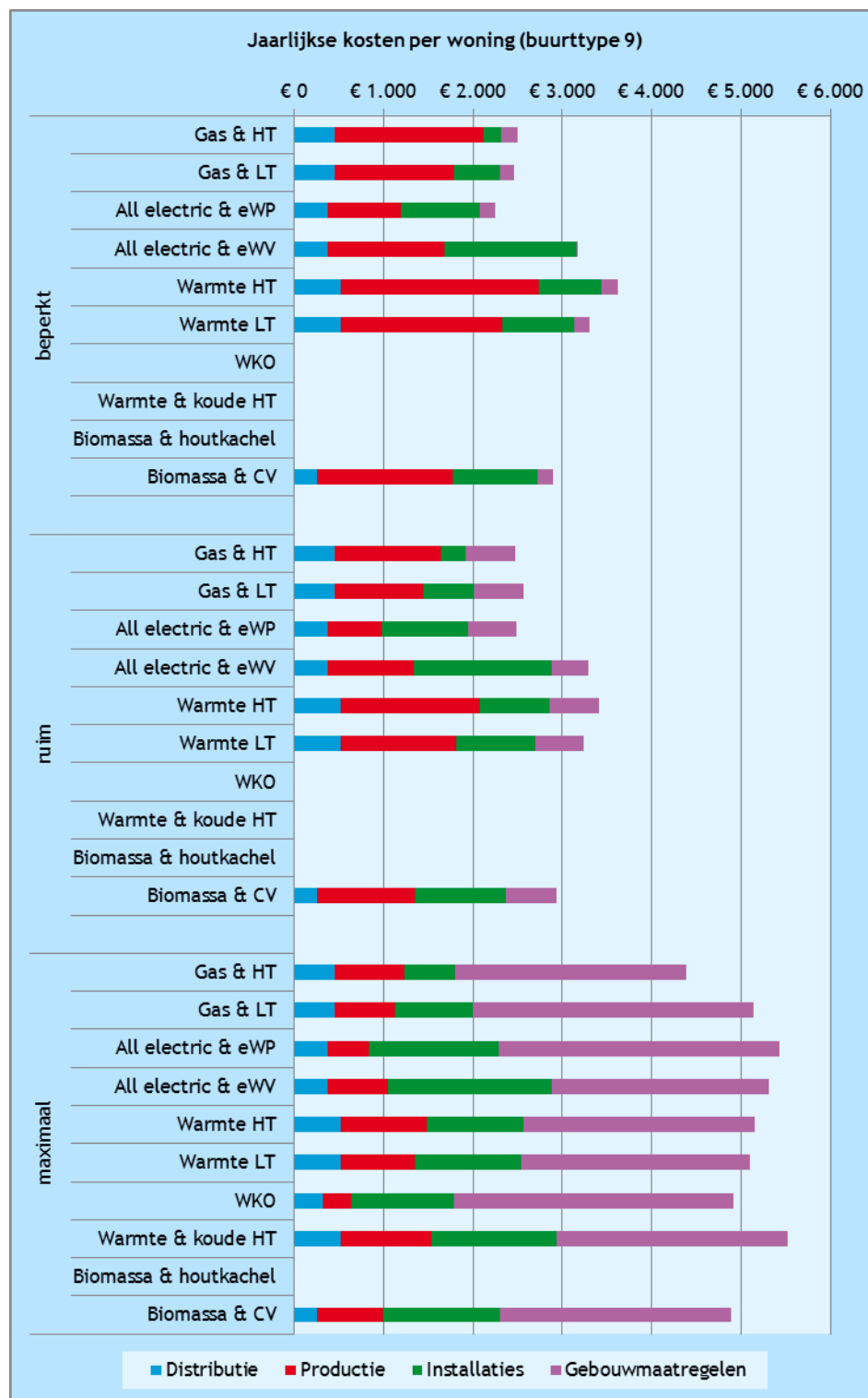
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.280	1.252	821	417
Warm tapwater	[m ³ gas]	261	261	261	261
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	1.927
Ventilatie	[kWh]	0	0	486	916
Hulpenergie	[kWh]	394	394	394	394
Apparatuur en verlichting	[kWh]	3.179	3.179	3.179	3.179
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-130
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.120

Tabel 46 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 9

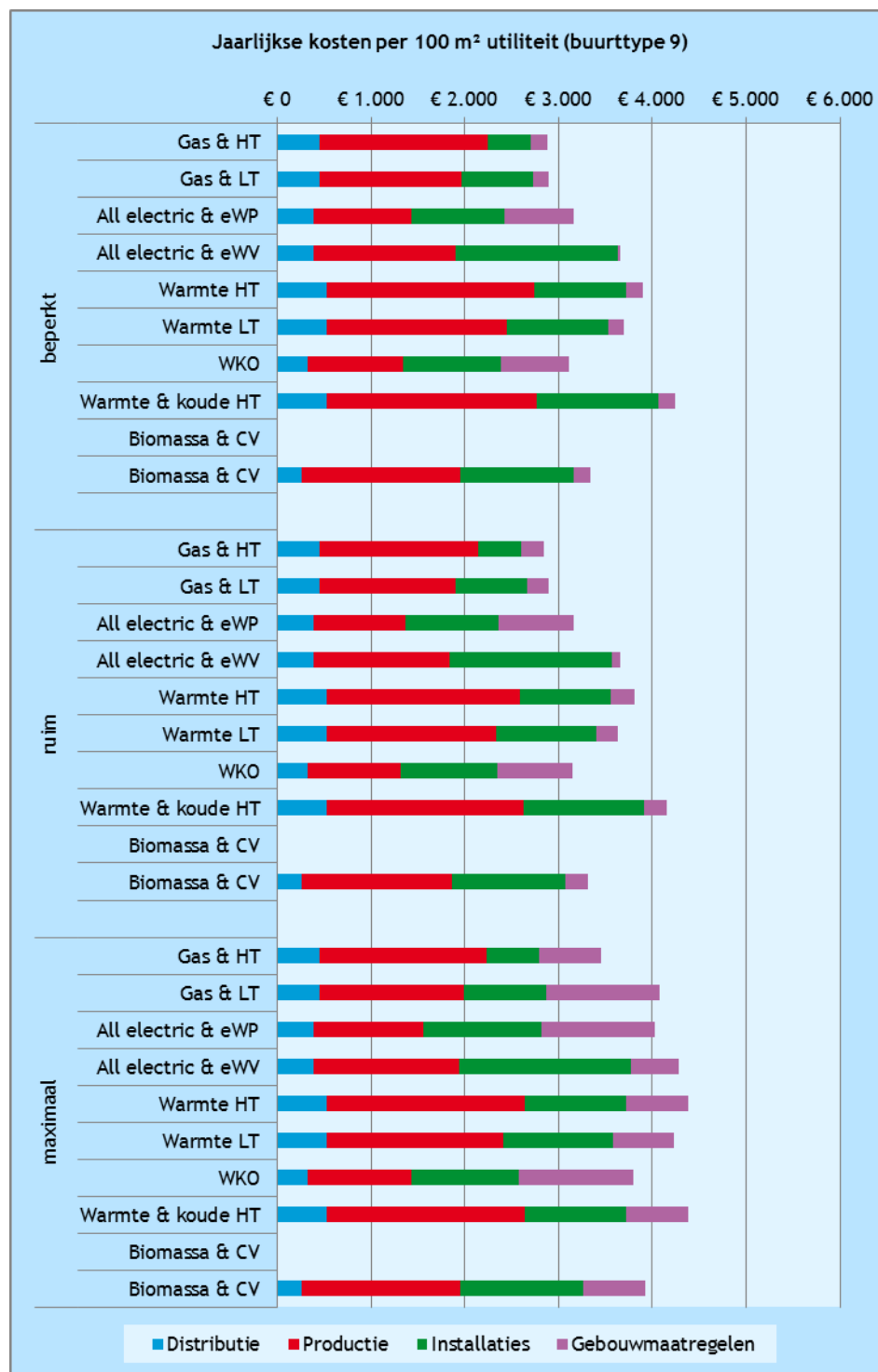
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.254	1.028	896	820
Warm tapwater	[m ³ gas]	77	77	77	77
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	812	974	1.096	1.217
Ventilatie	[kWh]	617	741	833	926
Hulpenergie	[kWh]	301	301	301	301
Apparatuur en verlichting	[kWh]	9.433	9.433	9.433	9.433
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.120

Figuur 91 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 9 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 92 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 9
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 93 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 9 (uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

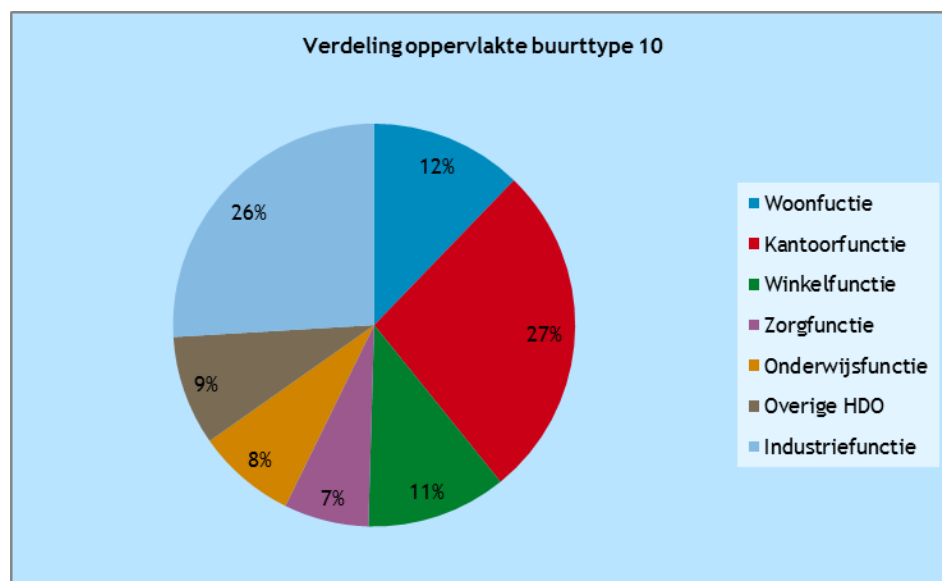


8.11 Type 10 Kantorenpark

Tabel 47 Algemene gegevens buurttype 10

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	439
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	3,5
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	163
Totaal	[ha]	71.688
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	329
Totaal	[n]	144.230
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	159
Totaal	[n]	70.000
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	163
Gemiddeld per buurt	[m ²]	26.047
Totaal	[m ²]	11.434.843
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	38%
Percentage grondgebonden	[%]	62%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	58%
Percentage huur via corporatie	[%]	24%
Percentage particuliere huur	[%]	18%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	186.868
Totaal	[m ²]	82.035.174

Figuur 94 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 10

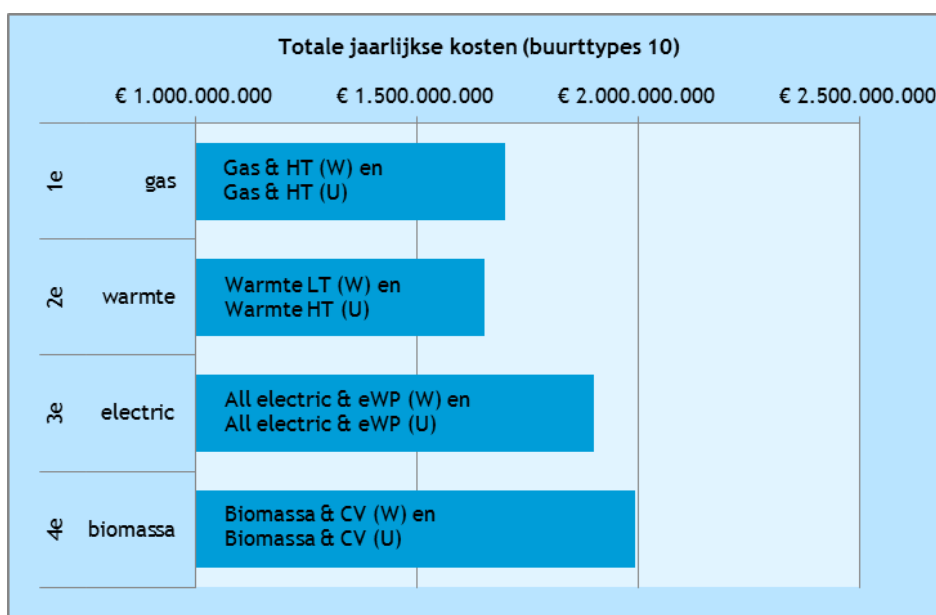


Tabel 48 Energiegegevens per woning buurttype 10

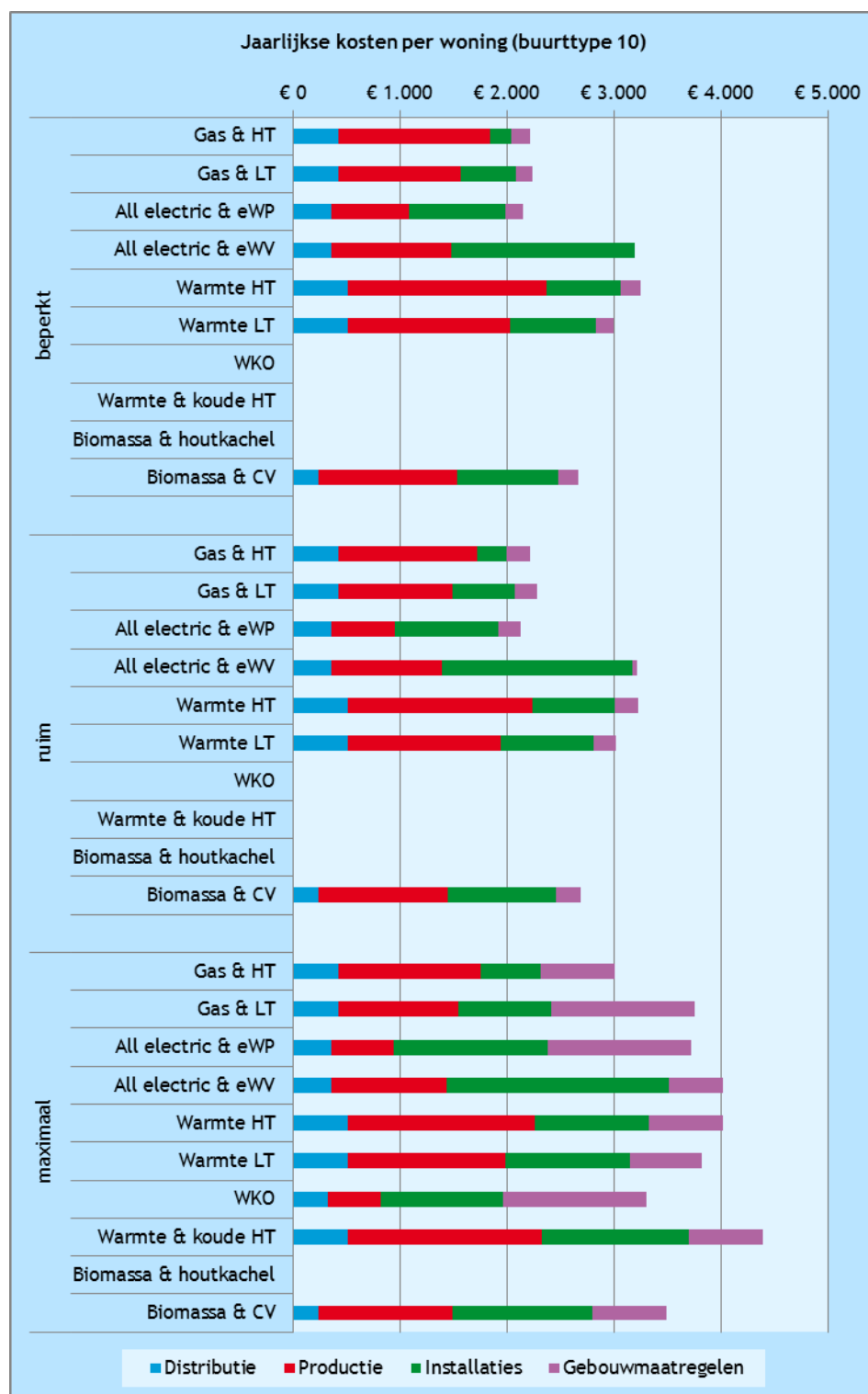
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	997	997	997	997
Warm tapwater	[m ³ gas]	234	234	234	234
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	2.269
Ventilatie	[kWh]	158.817	572	572	1.078
Hulpenergie	[kWh]	391	391	391	391
Apparatuur en verlichting	[kWh]	2.785	2.785	2.785	2.785
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-117
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.687

Tabel 49 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 10

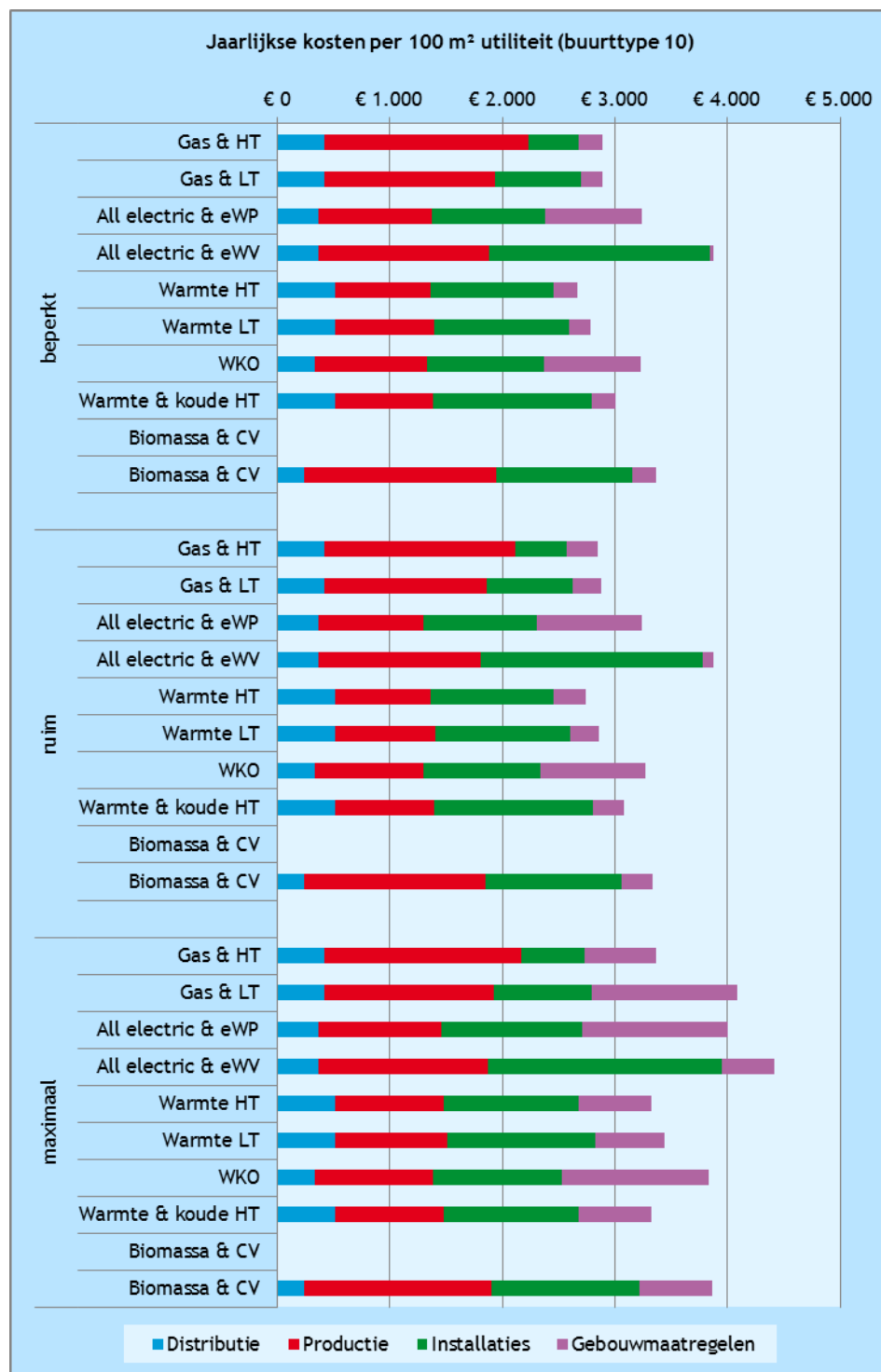
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.350	1.110	970	890
Warm tapwater	[m ³ gas]	59	59	59	59
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	752	903	1.015	1.128
Ventilatie	[kWh]	574	689	775	861
Hulpenergie	[kWh]	267	267	267	267
Apparatuur en verlichting	[kWh]	9.005	9.005	9.005	9.005
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.687

Figuur 95 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 10 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 96 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 10
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 97 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 10 (uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



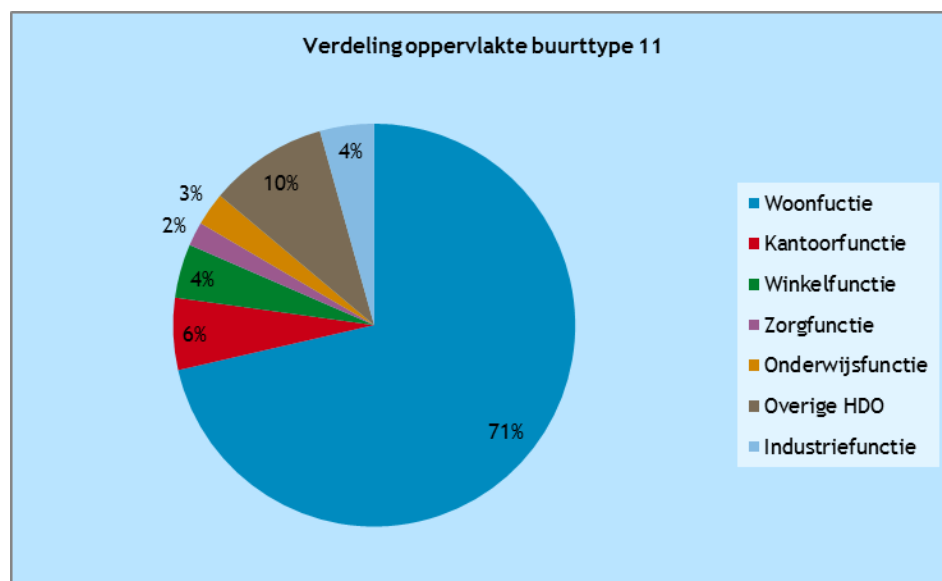
8.12 Type 11

Recente nieuwbouw, hoog- en matig stedelijk (1990-2010)

Tabel 50 Algemene gegevens buurttype 11

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	865
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	2,3
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	63
Totaal	[ha]	54.196
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	2.336
Totaal	[n]	2.020.555
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.024
Totaal	[n]	886.176
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	134
Gemiddeld per buurt	[m ²]	136.827
Totaal	[m ²]	118.355.706
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	31%
Percentage grondgebonden	[%]	69%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	61%
Percentage huur via corporatie	[%]	27%
Percentage particuliere huur	[%]	13%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	54.801
Totaal	[m ²]	47.402.748

Figuur 98 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 11

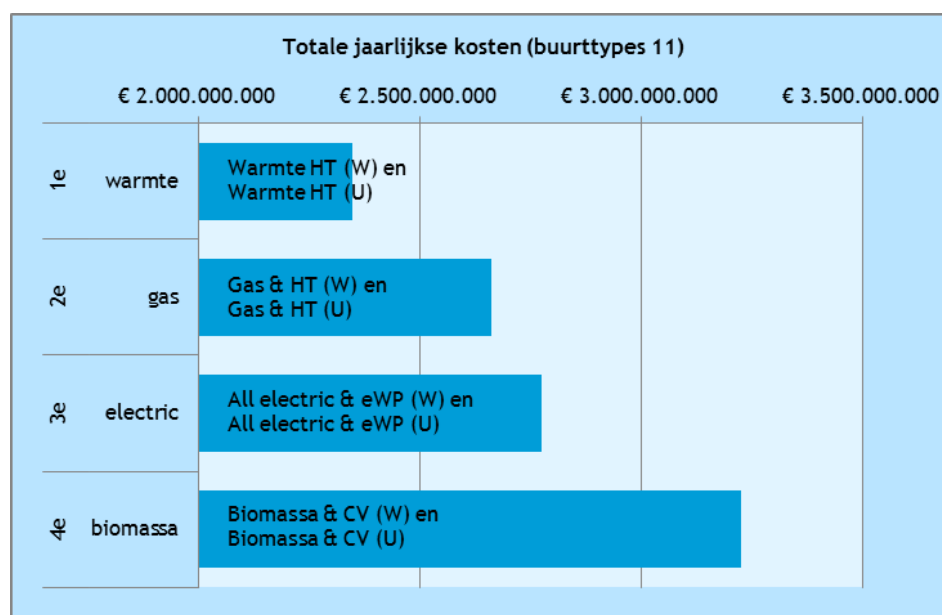


Tabel 51 Energiegegevens per woning buurttype 11

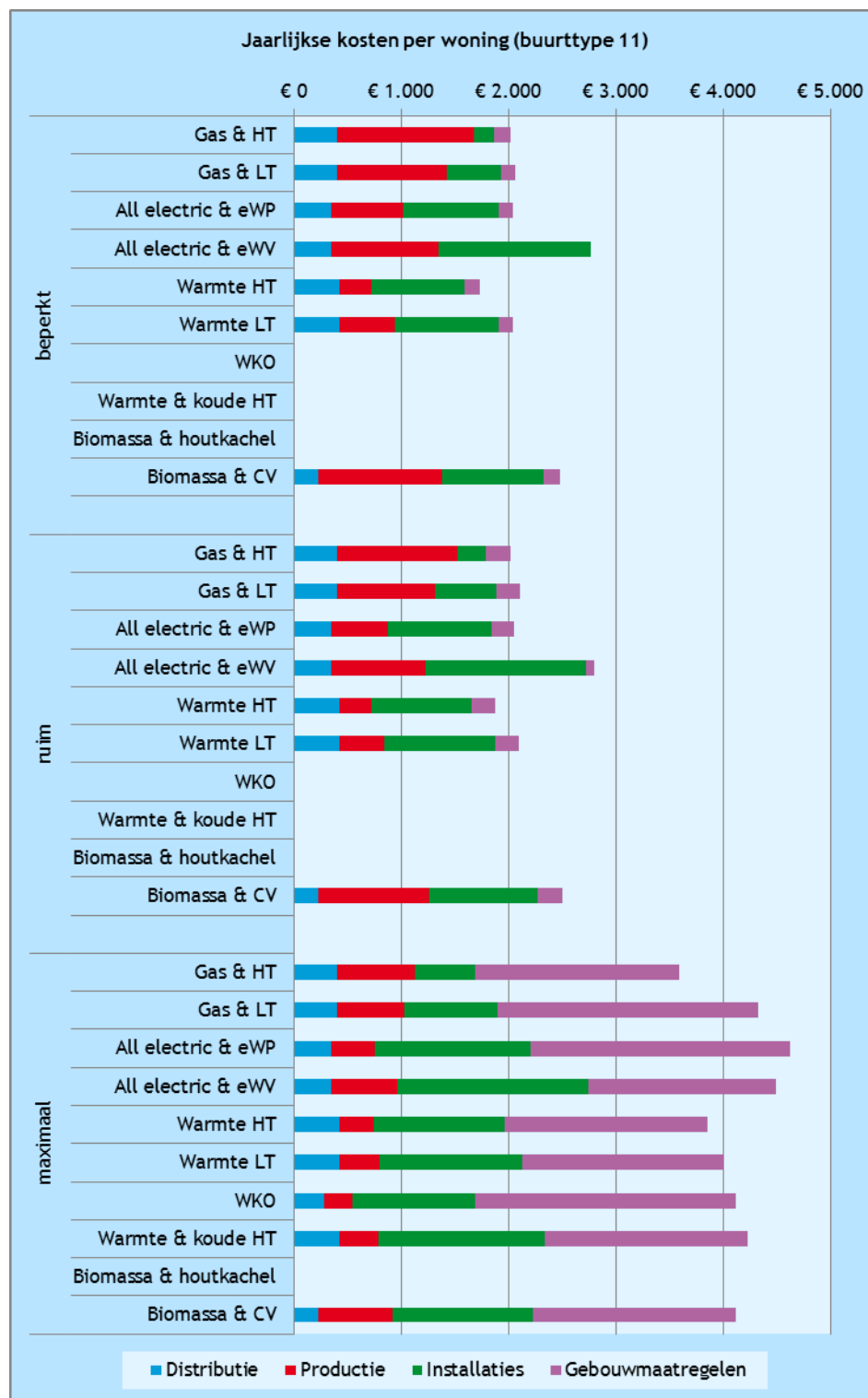
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	847	847	813	413
Warm tapwater	[m ³ gas]	259	259	259	259
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	1.855
Ventilatie	[kWh]	129.848	467	467	881
Hulpenergie	[kWh]	261	261	261	261
Apparatuur en verlichting	[kWh]	2.290	2.290	2.290	2.290
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-130
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.799

Tabel 52 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 11

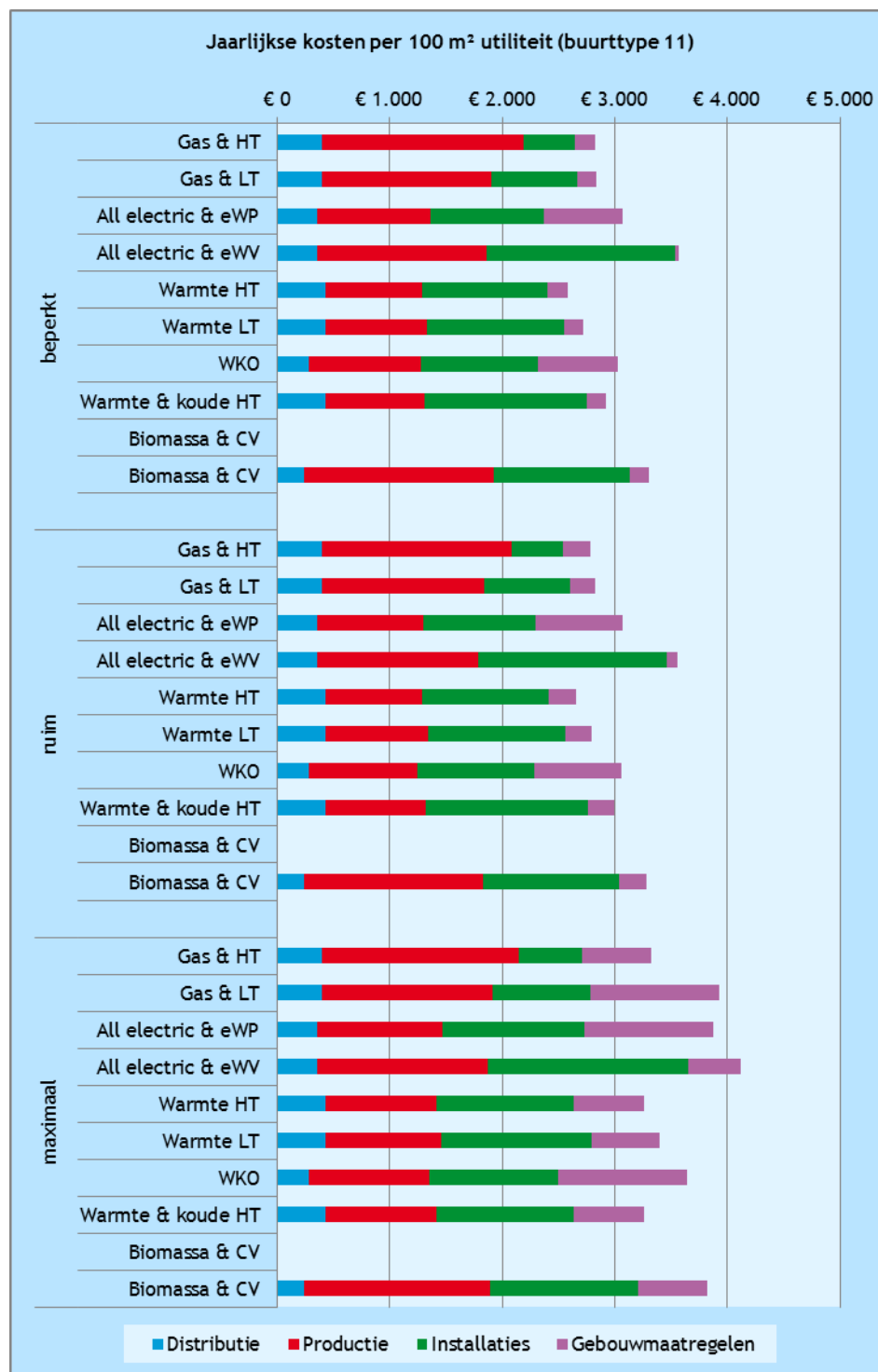
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.288	1.056	921	844
Warm tapwater	[m ³ gas]	71	71	71	71
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	814	977	1.099	1.221
Ventilatie	[kWh]	611	733	824	916
Hulpenergie	[kWh]	291	291	291	291
Apparatuur en verlichting	[kWh]	9.083	9.083	9.083	9.083
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-1.799

Figuur 99 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 11 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 100 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 11
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 101 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 11
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



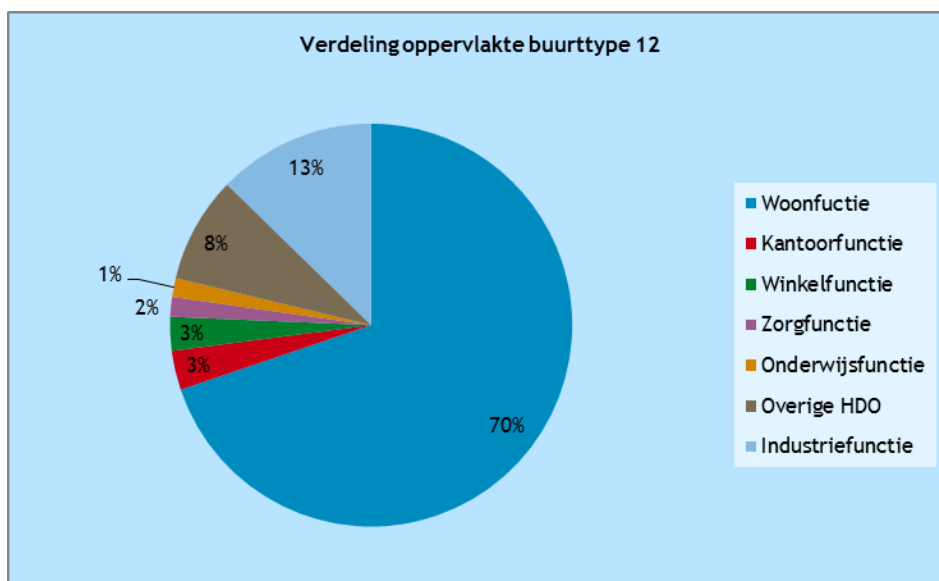
8.13 Type 12

Recente nieuwbouw, suburbaan en niet stedelijk (1990-2010)

Tabel 53 Algemene gegevens buurttype 12

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	935
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	4,6
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	340
Totaal	[ha]	317.892
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	1.077
Totaal	[n]	1.007.005
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	452
Totaal	[n]	422.496
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	171
Gemiddeld per buurt	[m ²]	77.062
Totaal	[m ²]	72.053.377
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	8%
Percentage grondgebonden	[%]	92%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	76%
Percentage huur via corporatie	[%]	15%
Percentage particuliere huur	[%]	9%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	33.336
Totaal	[m ²]	31.169.033

Figuur 102 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 12

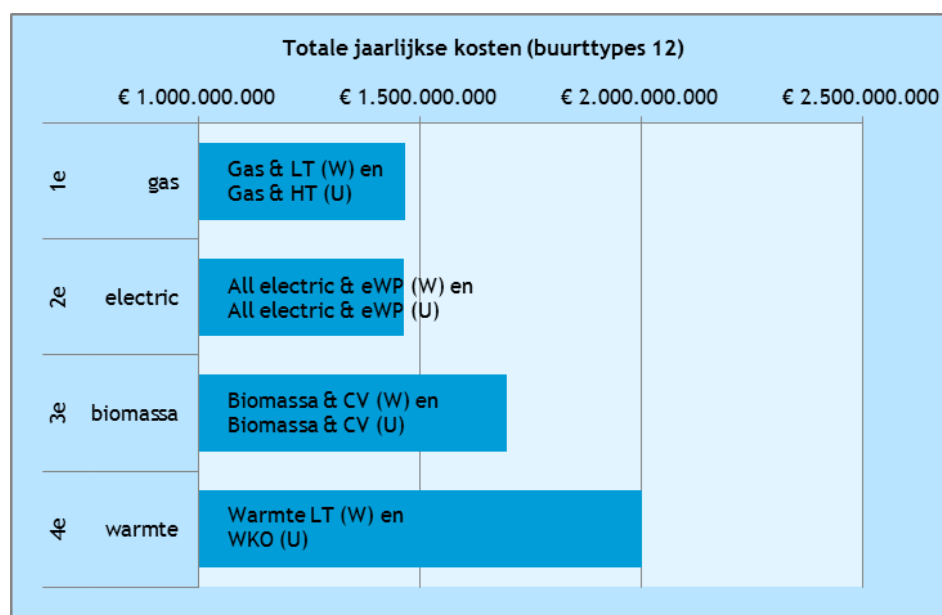


Tabel 54 Energiegegevens per woning buurttype 12

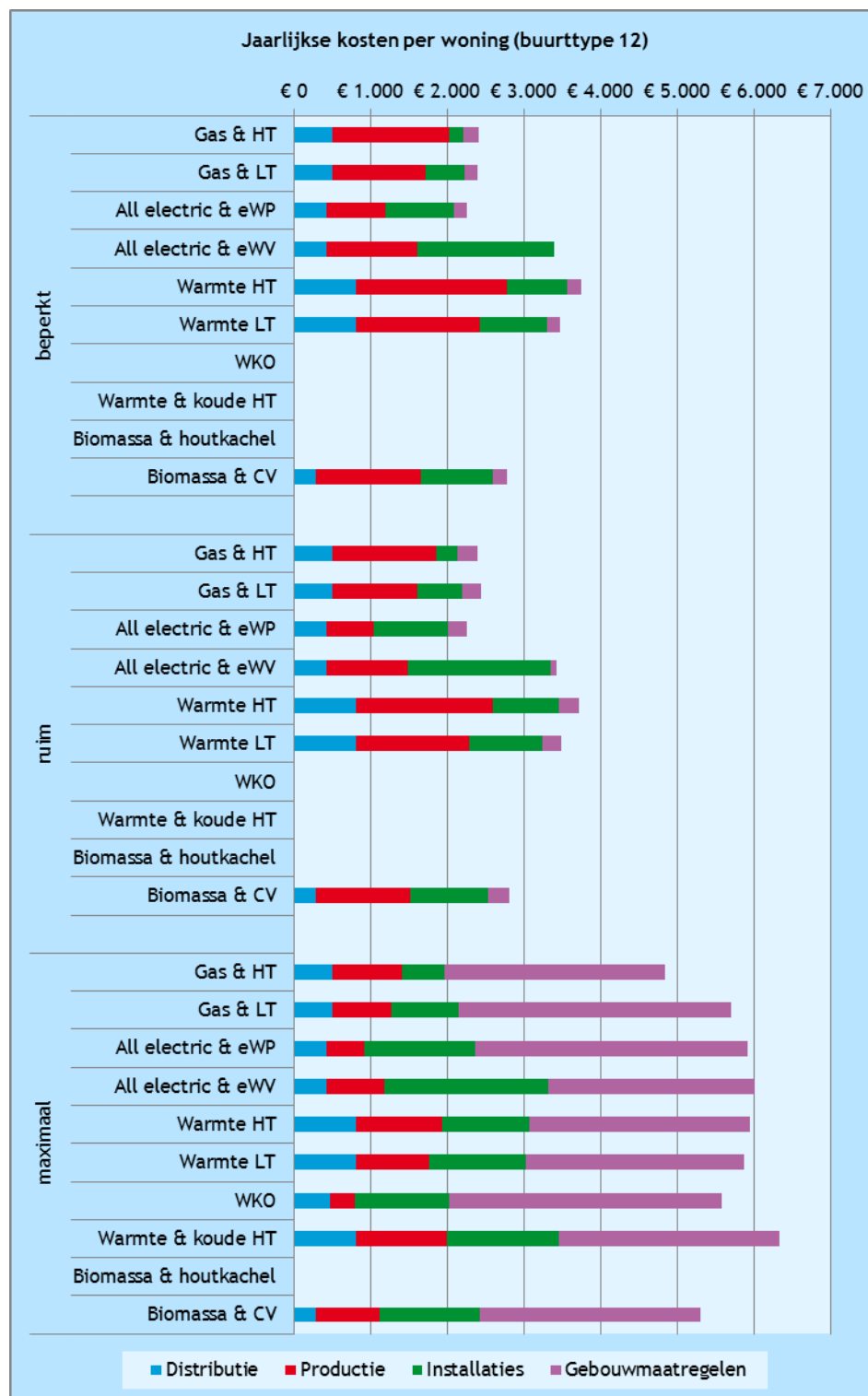
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.057	1.057	1.015	516
Warm tapwater	[m ³ gas]	271	271	271	271
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	2.369
Ventilatie	[kWh]	165.805	597	597	1.126
Hulpenergie	[kWh]	333	333	333	333
Apparatuur en verlichting	[kWh]	2.623	2.623	2.623	2.623
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-136
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.124

Tabel 55 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 12

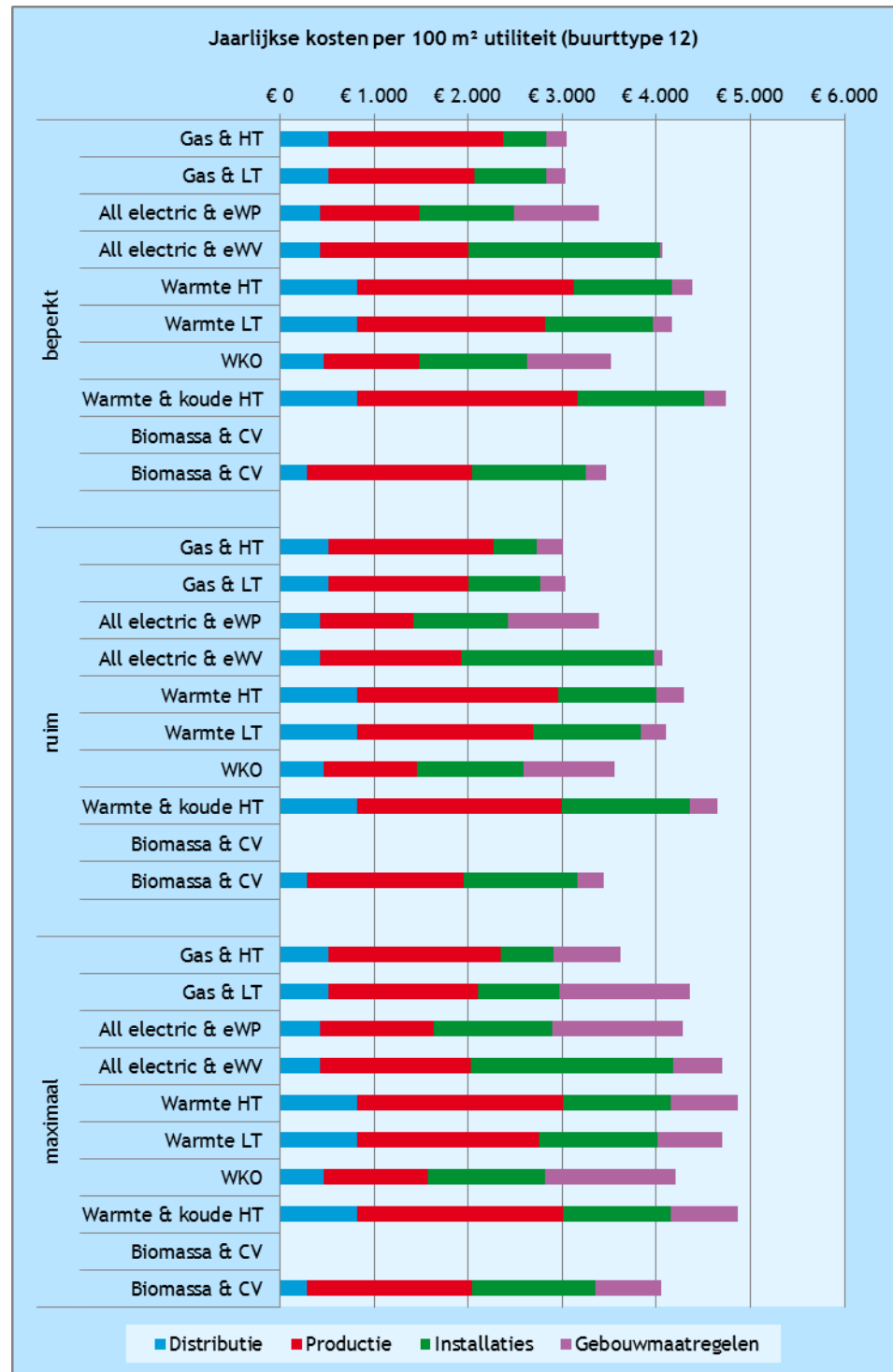
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.313	1.073	933	853
Warm tapwater	[m ³ gas]	95	95	95	95
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	1.015	1.218	1.370	1.522
Ventilatie	[kWh]	735	882	993	1.103
Hulpenergie	[kWh]	329	329	329	329
Apparatuur en verlichting	[kWh]	8.991	8.991	8.991	8.991
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.124

Figuur 103 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 12 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 104 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 12
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 105 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 12
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

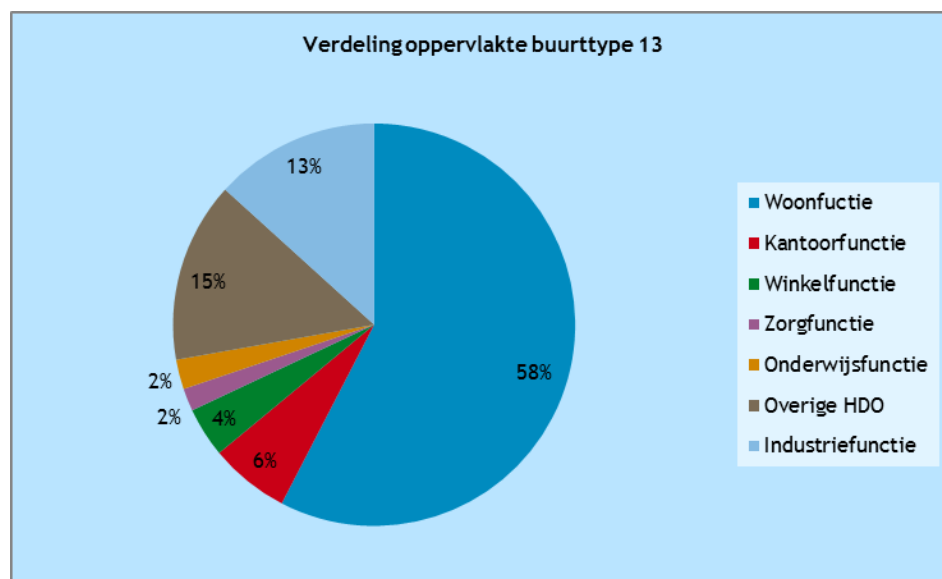


8.14 Type 13 Dorpskernen (< 1945)

Tabel 56 Algemene gegevens buurttype 13

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	275
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	3,6
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	117
Totaal	[ha]	32.126
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	803
Totaal	[n]	220.705
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	366
Totaal	[n]	100.630
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	150
Gemiddeld per buurt	[m ²]	54.912
Totaal	[m ²]	15.100.893
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	12%
Percentage grondgebonden	[%]	88%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	68%
Percentage huur via corporatie	[%]	19%
Percentage particuliere huur	[%]	13%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	40.417
Totaal	[m ²]	11.114.682

Figuur 106 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 13

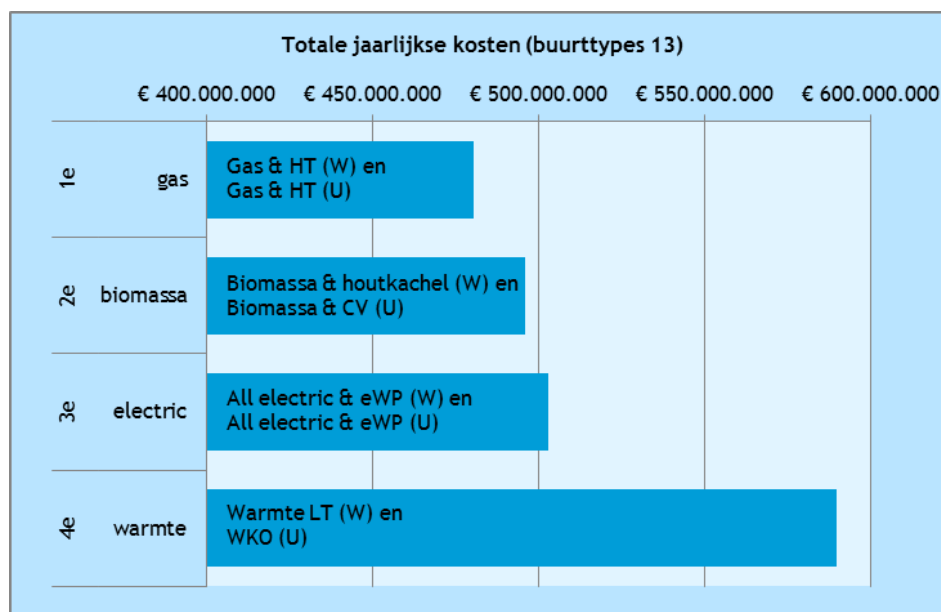


Tabel 57 Energiegegevens per woning buurttype 13

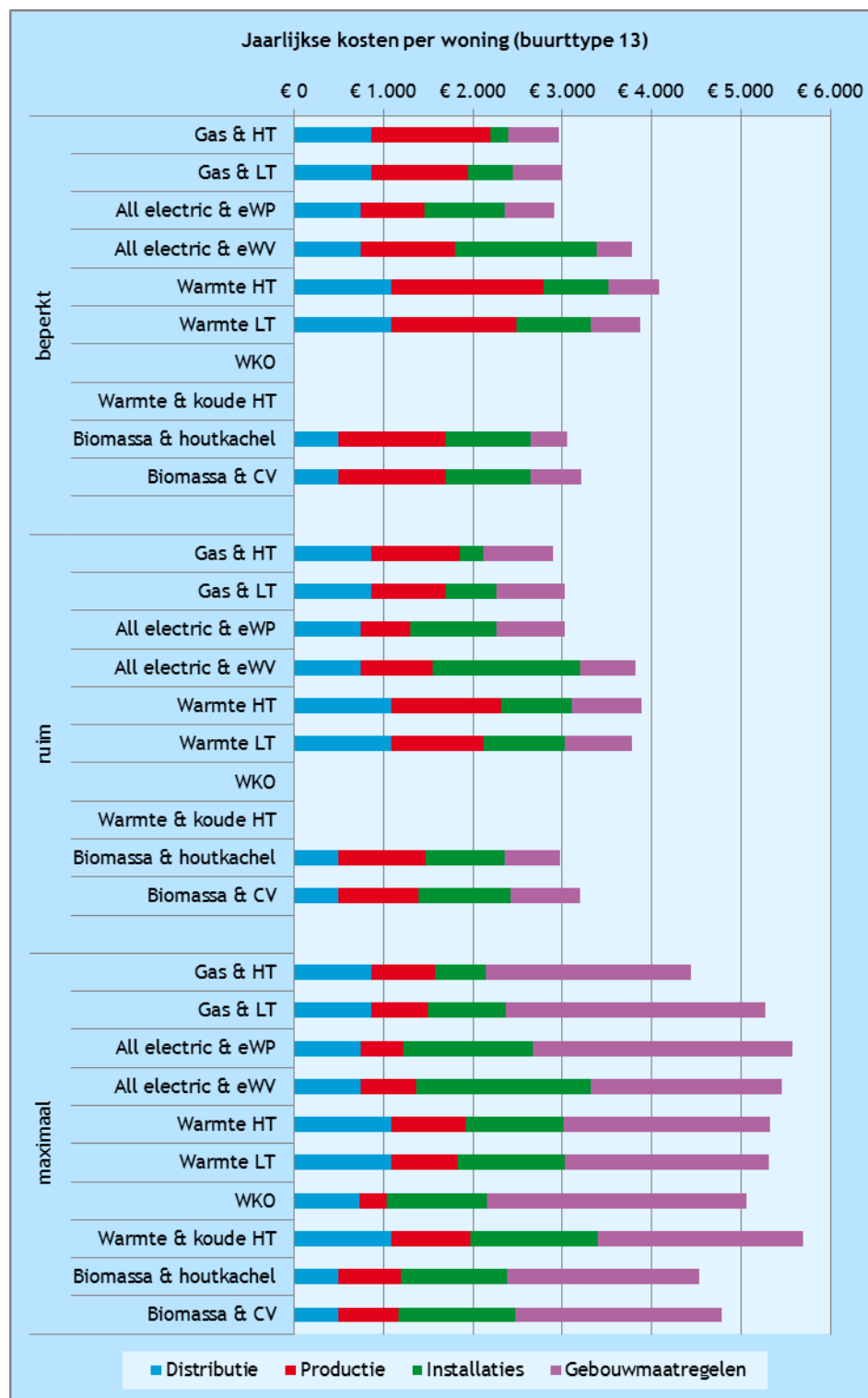
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m³ gas]	1.566	856	561	285
Warm tapwater	[m³ gas]	249	249	249	249
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	2.084
Ventilatie	[kWh]	0	0	525	990
Hulpenergie	[kWh]	426	426	426	426
Apparatuur en verlichting	[kWh]	3.456	3.456	3.456	3.456
Add-ons					
WTW-douche	[m³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m³ gas]	0	0	0	-125
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.071

Tabel 58 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 13

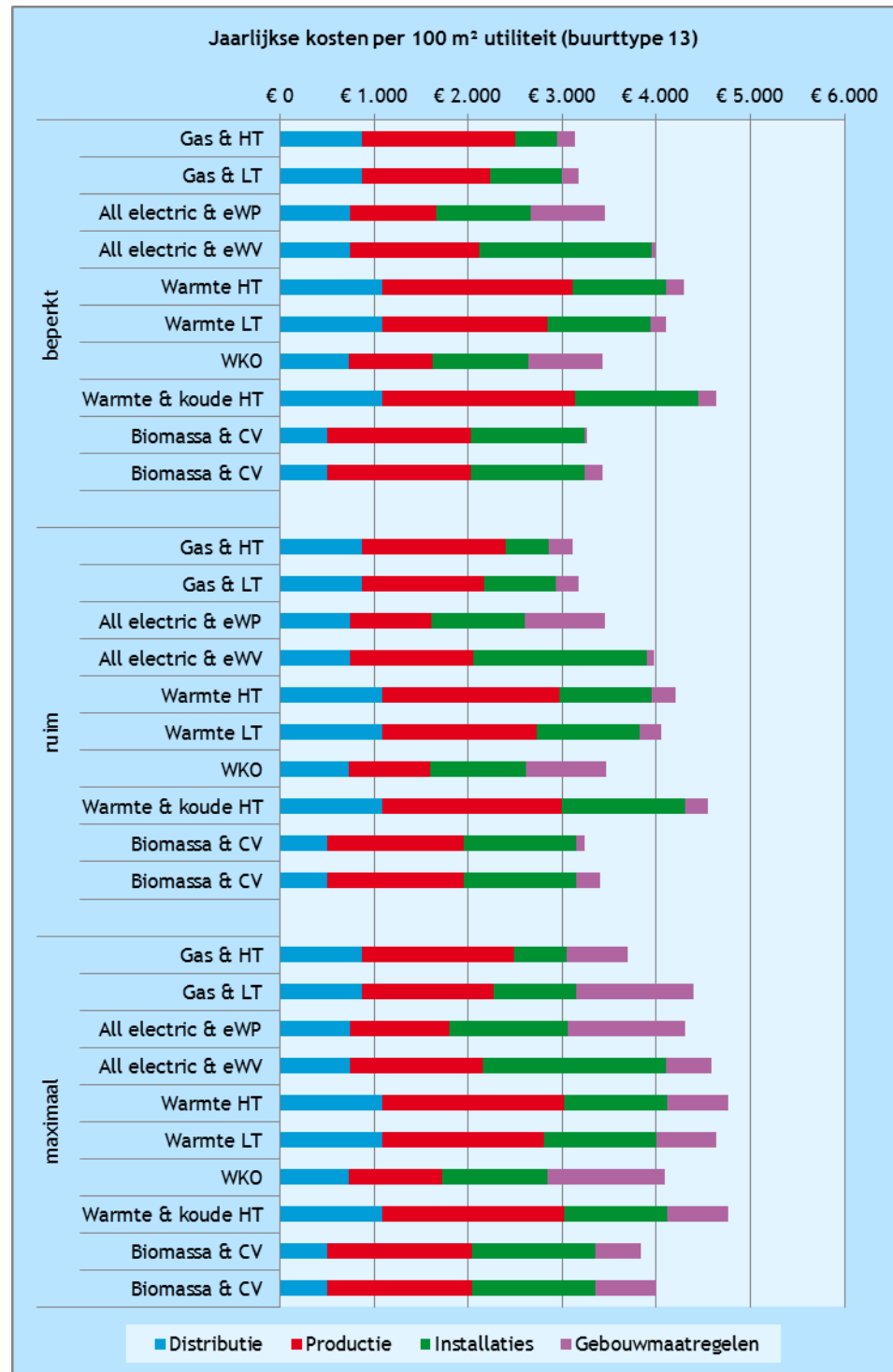
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m³ gas]	1.163	953	831	761
Warm tapwater	[m³ gas]	69	69	69	69
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	825	989	1.113	1.237
Ventilatie	[kWh]	591	709	797	886
Hulpenergie	[kWh]	270	270	270	270
Apparatuur en verlichting	[kWh]	8.014	8.014	8.014	8.014
Add-ons					
WTW-douche	[m³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.071

Figuur 107 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 13 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 108 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 13
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 109 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 13
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

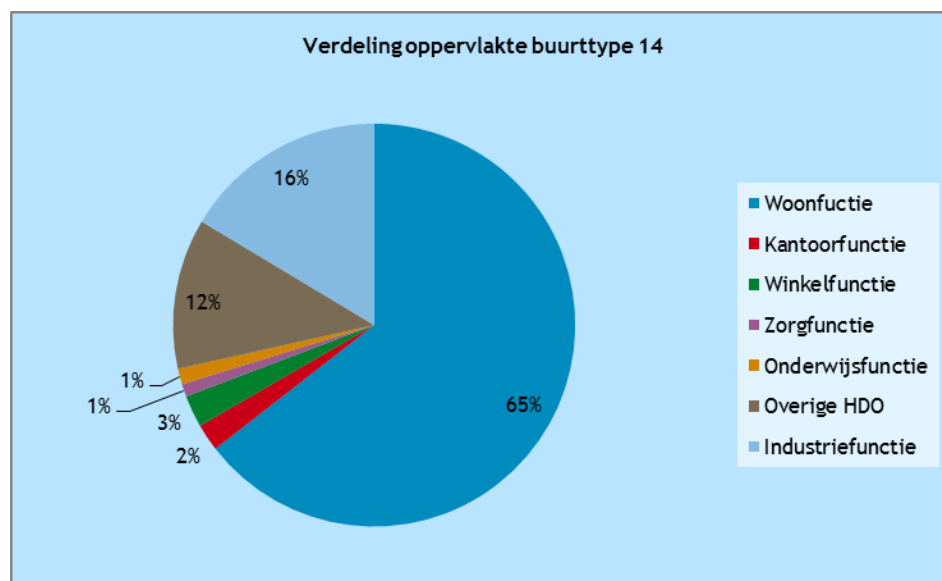


8.15 Type 14 Niet-stedelijk gebied (<1990)

Tabel 59 Algemene gegevens buurttype 14

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	3.459
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	5,0
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	464
Totaal	[ha]	1.606.017
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	619
Totaal	[n]	2.141.440
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	259
Totaal	[n]	894.509
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	175
Gemiddeld per buurt	[m ²]	45.172
Totaal	[m ²]	156.249.041
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	3%
Percentage grondgebonden	[%]	97%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	72%
Percentage huur via corporatie	[%]	18%
Percentage particuliere huur	[%]	10%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	24.879
Totaal	[m ²]	86.057.500

Figuur 110 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 14

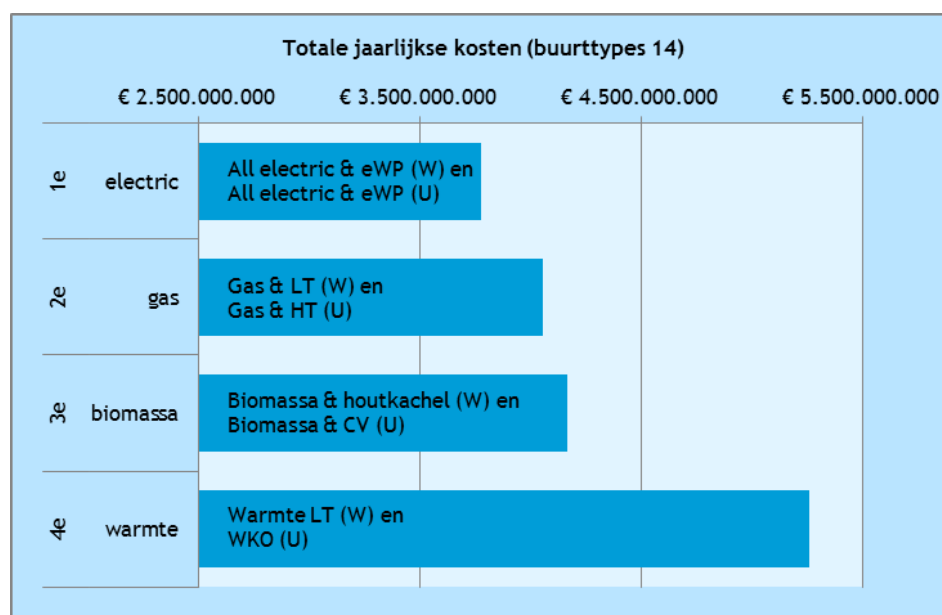


Tabel 60 Energiegegevens per woning buurttype 14

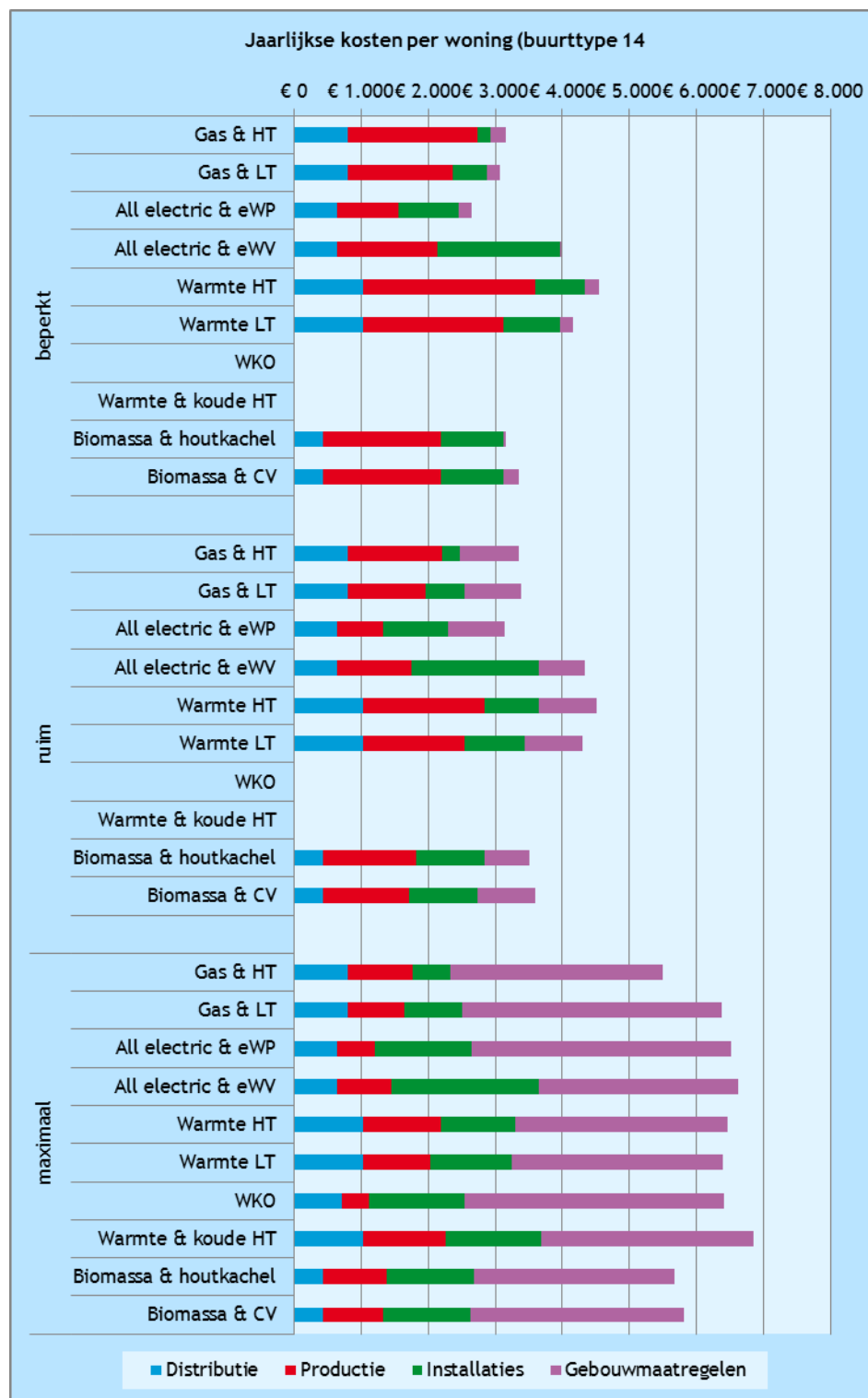
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.517	1.483	972	494
Warm tapwater	[m ³ gas]	272	272	272	272
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	2.426
Ventilatie	[kWh]	0	0	611	1.153
Hulpenergie	[kWh]	495	495	495	495
Apparatuur en verlichting	[kWh]	3.695	3.695	3.695	3.695
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-136
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.210

Tabel 61 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 14

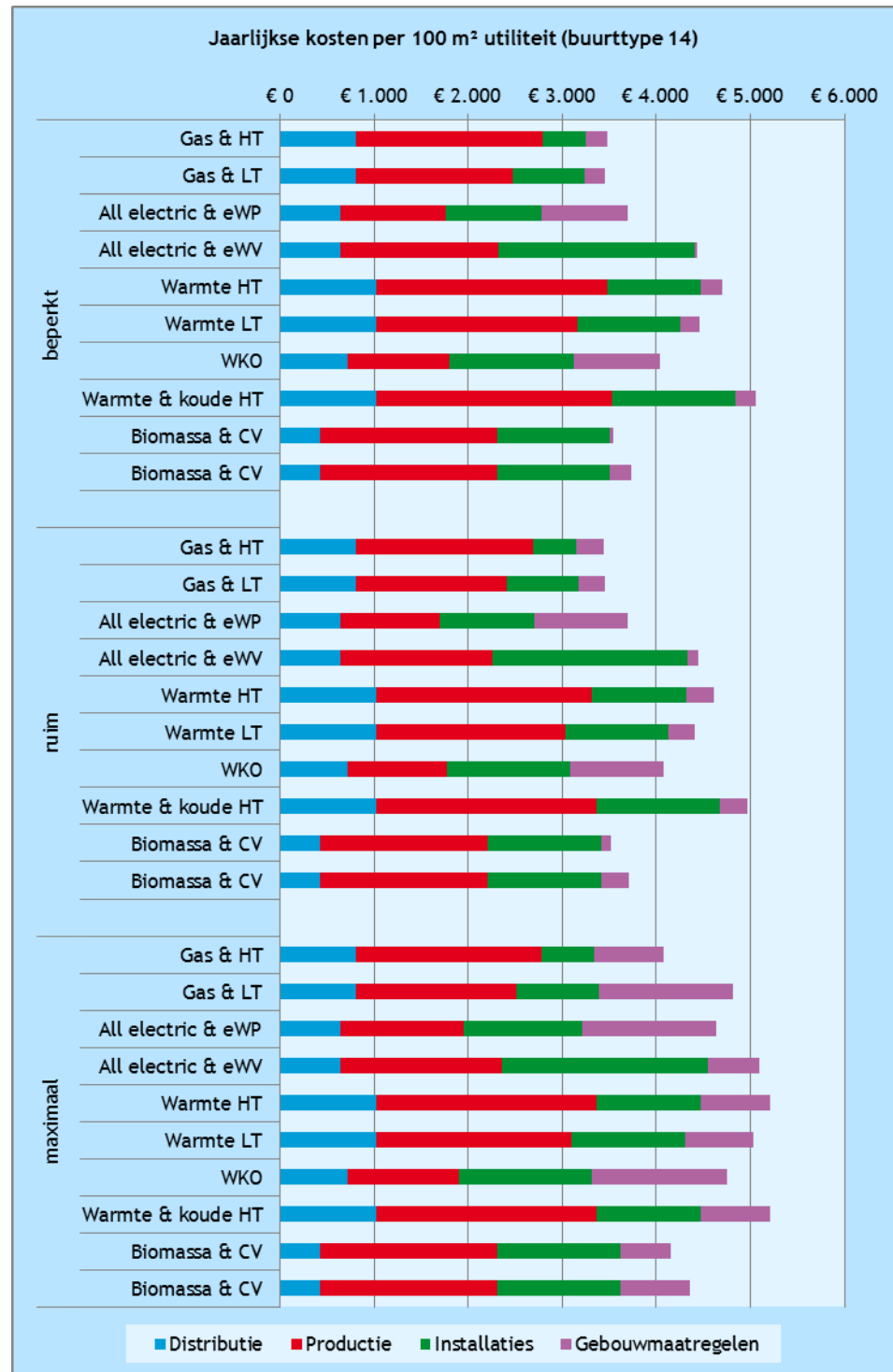
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.364	1.112	965	882
Warm tapwater	[m ³ gas]	115	115	115	115
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	1.286	1.543	1.736	1.928
Ventilatie	[kWh]	869	1.043	1.174	1.304
Hulpenergie	[kWh]	380	380	380	380
Apparatuur en verlichting	[kWh]	9.373	9.373	9.373	9.373
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.210

Figuur 111 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 14 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 112 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 14
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 113 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 14
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

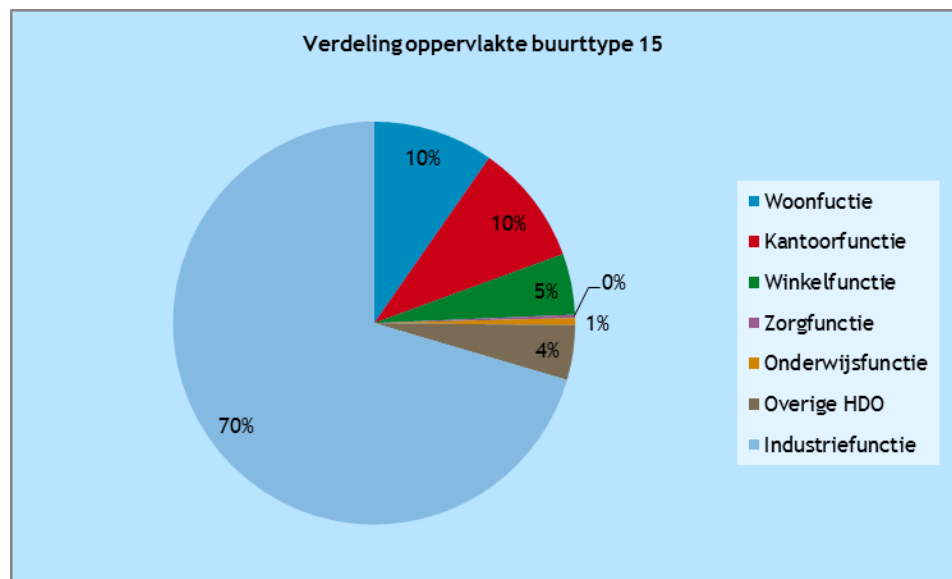


8.16 Type 15 Overig

Tabel 62 Algemene gegevens buurttype 15

Onderdeel	Eenheid	Waarden
Algemeen		
Aantal gebieden	[n]	1.015
Gemiddelde stedelijkheid	[-]	4,6
Oppervlak gebied		
Gemiddeld per buurt	[ha]	486
Totaal	[ha]	489.410
Aantal inwoners		
Gemiddeld per buurt	[n]	170
Totaal	[n]	172.200
Aantal woningen		
Gemiddeld per buurt	[n]	64
Totaal	[n]	65.316
Oppervlakte woningen		
Gemiddeld per woning	[m ²]	298
Gemiddeld per buurt	[m ²]	19.151
Totaal	[m ²]	19.438.124
Gestapeld/grondgebonden		
Percentage gestapeld	[%]	3%
Percentage grondgebonden	[%]	97%
Eigendom woningen		
Percentage koop	[%]	74%
Percentage huur via corporatie	[%]	4%
Percentage particuliere huur	[%]	22%
Oppervlak utiliteit		
Gemiddeld per buurt	[m ²]	178.337
Totaal	[m ²]	181.012.560

Figuur 114 Verdeling oppervlakte van functies buurttype 15

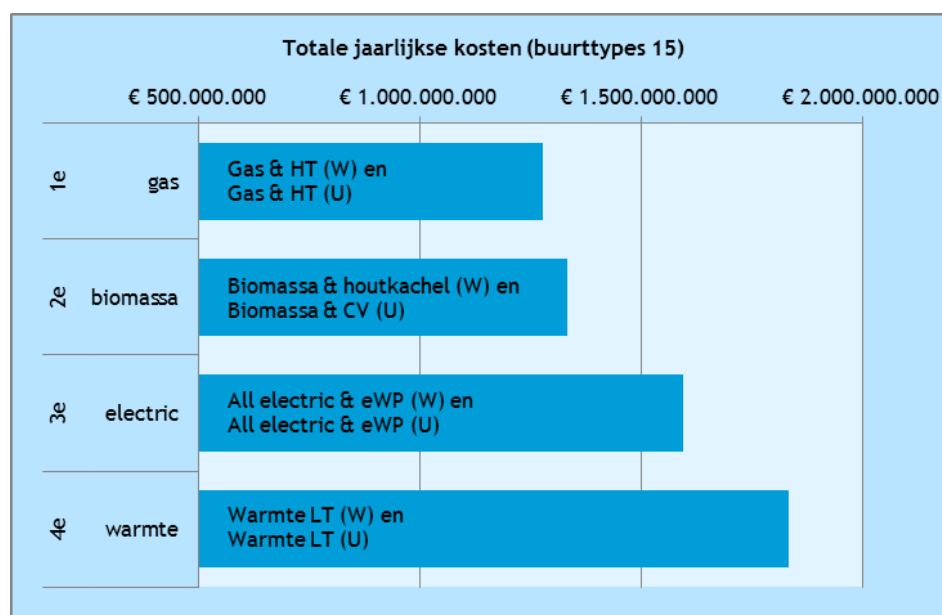


Tabel 63 Energiegegevens per woning buurttype 15

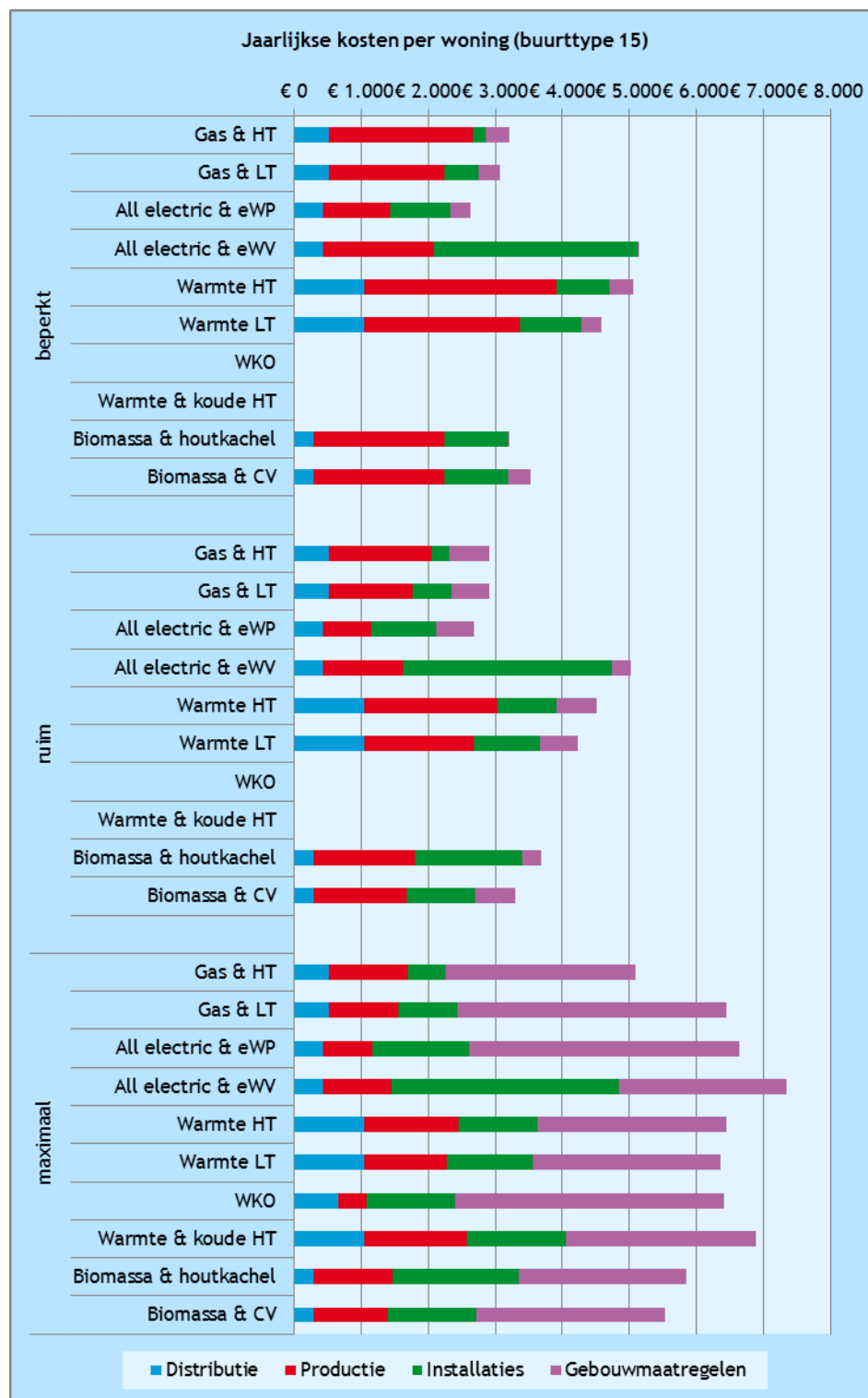
Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.708	1.670	1.095	557
Warm tapwater	[m ³ gas]	300	300	300	300
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	0	0	0	4.133
Ventilatie	[kWh]	1.042	1.042	1.042	1.964
Hulpenergie	[kWh]	712	712	712	712
Apparatuur en verlichting	[kWh]	2.550	2.550	2.550	2.550
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	-105	-53
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	-150
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.199

Tabel 64 Energiegegevens per 100 m² utiliteit buurttype 15

Onderdeel	Eenheid	Isolatie niveau			
		Geen	Beperkt	Ruim	Maximaal
Warmtevraag					
Ruimteverwarming	[m ³ gas]	1.279	1.055	924	850
Warm tapwater	[m ³ gas]	37	37	37	37
Overige energievraag					
Ruimtekoeling	[kWh]	827	992	1.116	1.240
Ventilatie	[kWh]	518	621	699	777
Hulpenergie	[kWh]	251	251	251	251
Apparatuur en verlichting	[kWh]	9.952	9.952	9.952	9.952
Add-ons					
WTW-douche	[m ³ gas]	0	0	0	0
Zonneboiler	[m ³ gas]	0	0	0	0
PV-zon	[kWh]	0	0	0	-2.199

Figuur 115 Totale jaarlijkse kosten per energiedrager buurttype 15 (alle woningen en utiliteit)
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

Figuur 116 Jaarlijkse kosten per woning per vraag-techniek combinatie buurttype 15
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)



Figuur 117 Jaarlijkse kosten per 100 m² utiliteit per vraag-techniek combinatie buurttype 15
(uitgangspunten: groengasprijs € 0,85 en mogelijkheid voor restwarmte in stedelijk gebied)

