



Planbureau voor de Leefomgeving

POTENTIEEL EN KOSTEN KLIMAATNEUTRALE GEBOUWDE OMGEVING IN DE GEMEENTE UTRECHT

Verkenning met het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving

Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas van Bommel (PBL)

Mirjam Harmelink (Harmelink consulting)

18 juli 2018

PBL

Harmelink
consulting

Colofon

Potentieel en kosten klimaatneutrale gebouwde omgeving in de gemeente Utrecht

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2018

PBL-publicatienummer: 2655

Contact

Ruud.vandenwijngaart@pbl.nl

Auteurs

Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas van Bommel (PBL)

Mirjam Harmenlink (Harmenlink consulting)

Redactie figuren

Durk Nijdam

Met dank aan Dietje van Eif, Vera Haaksma en Joop Oude Lohuis (allen gemeente Utrecht) voor hun bijdrage aan de vraagstelling, informatieverstrekking en feedback op de resultaten; Manon van Middelkoop (PBL) voor de analyse van de energiegebruiken van de WoON-enquête en Pieter Boot, Jan Matthijsen, Folckert van der Molen (allen PBL) en Joop Oude Lohuis (gemeente Utrecht) die waardevol commentaar hebben geleverd op de conceptversie van dit rapport.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen, Bas van Bommel en Mirjam Harmenlink (2018), Potentieel en kosten klimaatneutrale gebouwde omgeving in de gemeente Utrecht, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Samenvatting	6
Inleiding	6
Verzameling van lokale informatie	7
Achtergrondbeeld en verhoging van de energiebelasting op aardgas	7
Terugverdientijd energiebesparing woningen	10
Terugverdientijd energiebesparing Utrechtse wijken	12
Varianten energiebesparing en verhoging van de energiebelasting op aardgas	13
Gevoeligheidsanalyse	15
Ervaringen en lessen voor het maken van een regionale studie	19
1 Inleiding	21
1.1 Achtergrond: ervaring opdoen met regionale toepassing van het Vesta MAIS model	21
1.2 Doelstelling en beoogde resultaten voor de testcase gemeente Utrecht	21
1.3 Opbouw van het rapport	22
2 Beschrijving van het Vesta MAIS model	23
2.1 Gebouwmaatregelen	23
2.2 Gebiedsmaatregelen	24
2.3 Groen gas	25
3 Case studie gemeente Utrecht: verzameling lokale informatie	27
3.1 Inleiding	27
3.1.1 Vraagstelling van de gemeente	27
3.1.2 Het Vesta MAIS model: van nationaal naar regionaal	27
3.1.3 Doel informatieverzameling	28
3.1.4 Aanpak informatieverzameling	28
3.2 Model en invoergegevens	29
3.3 Conclusies	32
4 Uitgangspunten doorrekening Utrecht	34
4.1 Ruimtelijke componenten	34

4.1.1 BAG	34
4.1.2 Toekomstige ontwikkeling bebouwing Utrecht	43
4.2 Energievraag en -maatregelen	43
4.3 Gebiedsopties	47
4.3.1 Geothermie	47
4.3.2 WKO	47
4.3.3 Puntbronnen voor warmtelevering	48
4.4 Volgorde gebiedsmaatregelen	50
4.5 Investeringskosten en leerfactoren	51
4.6 Energieprijzen	52
4.7 CO ₂ -emissiefactor	53
4.8 Rekenvarianten	54
4.8.1 Achtergrondbeeld en varianten met verhoging van de energiebelasting op aardgas	54
4.8.2 Terugverdientijd energiebesparing woningen	54
4.8.3 Terugverdientijd energiebesparing Utrechtse wijken	54
4.8.4 Varianten energiebesparing en verhoging van de energiebelasting op aardgas	54
4.8.5 Gevoeligheidsanalyses	55
5 Resultaten	56
5.1 Achtergrondbeeld en varianten met verhoging van de energiebelasting op aardgas	56
5.1.1 Energiegebruik	56
5.1.2 CO ₂ -emissie	58
5.1.3 Kosten	59
5.2 Terugverdientijd energiebesparing woningen	60
5.2.1 Renovatieniveau midden	60
5.2.2 Renovatieniveau hoog	61
5.2.3 Renovatieniveau hoog met elektrische warmtepomp	63
5.3 Terugverdientijd energiebesparing Utrechtse wijken	73
5.4 Varianten energiebesparing en verhoging van de energiebelasting op aardgas	84
5.4.1 Warmtevraag	86
5.4.2 Aansluitingen warmtevoorziening	87
5.4.3 Gasgebruik van woningen en utiliteit exclusief warmtenetten	87
5.4.4 Gasgebruik warmtenetten	88

5.4.5	Gasgebruik woningen en utiliteit inclusief warmtenetten	89
5.4.6	CO ₂ -emissie	90
6	Gevoeligheidsanalyse	91
6.1	Terugverdientijd energiebesparing	91
6.2	Volgorde van energiebesparing en stadsverwarming	96
6.2.1	Warmtevraag	96
6.2.2	Aansluitingen warmtevoorziening	97
6.2.3	Gasgebruik van woningen en utiliteit exclusief warmtenetten	98
6.2.4	Gasgebruik hulpwarmteketel warmtenet	99
6.2.5	Gasgebruik woningen en utiliteit inclusief warmtenetten	100
6.3	Volgorde van stadsverwarming en WKO	101
6.4	Hybride warmtepomp	106
7	Referenties	111

Samenvatting

Inleiding

De gemeente Utrecht streeft er naar om zo spoedig mogelijk klimaatneutraal te zijn. Eén van de grootste sectoren die moet omschakelen naar een duurzame energievoorziening is de gebouwde omgeving. De voorliggende studie verkent het potentieel van zowel de technische maatregelen waarmee de klimaatneutrale warmte- en koudevoorziening van de gebouwen kan worden gerealiseerd als de kosten van eindgebruikers die hiermee zijn gemoeid. Daarbij wordt ingezoomd op de mogelijkheden van en verschillen tussen de wijken in Utrecht. De studie is uitgevoerd in het voorjaar van 2017 met het Vesta MAIS (Multi Actor Impact Simulatie) model dat sinds 2011 wordt gebruikt voor het doorrekenen van nationale scenario's van de warmtetransitie van de gebouwde omgeving. Om te testen in hoeverre het Vesta MAIS model geschikt is bij de beleidsvoorbereiding van regionale beslissingen in het kader van de energietransitie is op initiatief van het PBL en in samenwerking met de gemeente Utrecht de voorliggende studie uitgevoerd. Met deze samenwerking op regionaal niveau beoogt het PBL enerzijds bij te dragen aan een objectief en breed geaccepteerde kennisbasis in de regio Utrecht en anderzijds kennis te vergaren om ook andere regionale overheden en de nationale overheid beter te adviseren. De studie richt zich op technisch-economische factoren terwijl voor de besluitvorming ook sociale en andere economische factoren zoals natuurlijke investeringsmomenten van belang zijn. Het Vesta MAIS model is tevens beschikbaar gekomen in 2017 als open source en kan ook door derden worden gebruikt voor regionale en nationale verkenningen.

In het Vesta MAIS model worden gebouw- en gebiedsmaatregelen integraal doorgerekend. De bouwmaatregelen zoals isolatie en warmtepompen besparen energie op gebouwniveau en de gebiedsmaatregelen zorgen voor een energie-efficiënte warmte- en koudelevering gevoed uit zoveel mogelijk hernieuwbare warmte- en koudebronnen. De bestaande warmtelevering van stadsverwarming kan worden uitgebreid naar nieuwe buurten en bronnen. Het model beschouwt het gehele systeem van warmtebron (WKK, biomassacentrale, geothermie en restwarmte uit de industrie) tot warmtetransport en -distributie. Naast de conventionele mogelijkheden op hoge temperatuur, zijn kleinschalige lokale warmtesystemen met lagere temperaturen mogelijk. Lage temperatuurbronnen zijn bijvoorbeeld restwarmte van koelprocessen van datacenters, supermarkten en ijsbanen, riool- en oppervlaktewater en warmtebuffering in gebouwen en de ondergrond. In de huidige versie van Vesta MAIS wordt dit nog gestileerd samengevat met een warmtekoudeopslag systeem voor de levering van warmte en koude.

De studie is als volgt opgebouwd. In de eerste plaats is lokale informatie verzameld over de sloop- en nieuwbouwplannen van de stad Utrecht. Ook lokaal specifieke kentallen die van belang zijn voor de mogelijkheden van energiebesparing en uitbreiding van stadsverwarming en WKO binnen de stad zijn geïnventariseerd. In de tweede plaats is onderzocht wat de potentiëlen zijn van rendabele maatregelen bij geraamde energieprijzen voor 2030. Om het klimaatdoel te halen worden extra maatregelen rendabel gemaakt door een verhoging van de energiebelasting op aardgas. Dit geeft inzicht in de bijdrage en kosten die verschillende maatregelen kunnen leveren. Hierbij zijn de consequenties voor de rentabiliteit van verschillende niveaus van energiebesparing en uitbreiding van stadsverwarming (zowel voor als na de implementatie van energiebesparingsmaatregelen) integraal in beeld gebracht voor het gasgebruik, de CO₂-emissie en de kosten voor eindgebruikers. In de derde plaats wordt specifiek gekeken op welke termijn de investering van woningeigenaren in renovaties naar een midden en hoog energiebesparingsniveau zich terugverdienen met de uitgespaarde inkoopkosten van energie. Door energiebesparende renovaties neemt de warmtevraag af waardoor de uitbreiding van de stadsverwarming financieel minder aantrekkelijk is. Het gezamenlijke effect van enerzijds minder warmtevraag en anderzijds minder (rendabele) uitbreiding van stadsverwarming op het gasgebruik wordt als vierde onderzocht. Dit wordt gedaan voor het gasgebruik van de hele stad in het geval dat zowel woningen als utiliteitsgebouwen worden gerenoveerd. Vervolgens worden de resultaten gepresenteerd van een gevoeligheidsanalyse die is uitgevoerd voor enkele belangrijke factoren.

Als eerste is de gevoeligheid van de terugverdientijd onderzocht voor de veronderstelde huidige investeringskosten en de toekomstige investeringskosten gebaseerd op leerfactoren. Als tweede wordt de gevoeligheid van de rentabiliteit van stadsverwarming gepresenteerd voor de volgorde waarin beslissingen over energiebesparing en stadsverwarming worden genomen. De afweging of stadsverwarming of WKO in een buurt moet worden toegepast wordt als derde gevoeligheid besproken. De laatste gevoeligheid betreft de hybride warmtepomp waarbij wordt besproken in hoeverre deze techniek nuttig kan zijn in een tussenfase naar klimaatneutraal. Tenslotte wordt teruggeblikt op de ervaring die met deze regionale studie is opgedaan en de lessen die daaruit kunnen worden getrokken.

Verzameling van lokale informatie

Het Vesta MAIS model bevat informatie over de ruimtelijke ontwikkeling van de bebouwing in heel Nederland die is gebaseerd op de scenario's van de studie Welzijn en Leefomgeving (WLO). Daarnaast maakt het Vesta model gebruik van allerlei kentallen over het energiegebruik, mogelijkheden van energiebesparing en uitbreiding van stadsverwarming en WKO. Deze kentallen zijn veelal gebaseerd op gemiddelden voor heel Nederland en geschikt voor nationale analyses. Specifiek voor de voorliggende studie over Utrecht is nagegaan of deze informatie geschikt is voor de studie op regionaal niveau en is daar waar nodig gebruik gemaakt van lokale informatie. Analyse van de invoergegevens voor het Vesta MAIS model laten voor Utrecht zien dat de invoer t.a.v. de type bebouwing voor het basisjaar goed overeenkomt met de lokale situatie in Utrecht. Voor de toekomstige ontwikkeling in omvang en type bebouwing is voor Utrecht specifiekere/gedetailleerdere informatie beschikbaar over locaties en het tijdspad dan in de WLO scenario's. Deze gegevens zijn in het model ingevoerd.

De kentallen van het Vesta MAIS model over de warmtevraag van woningen zijn gebaseerd op het Nederlands gemiddelde van woningcategorieën (type en bouwperiode) van de WoON-enquête. De gegevens uit de WoON-enquête in Utrecht blijken hiervan maar weinig af te wijken. De aangepaste warmtevraag voor Utrecht is evengoed in het model opgenomen hoewel dit strikt genomen niet nodig was geweest. Over het potentieel voor energiebesparing op gebouwniveau en de kosten van maatregelen waren voor Utrecht geen specifieke gegevens beschikbaar. De kosten en potentiëlen van de kentallen van het Vesta MAIS model gebruikt voor heel Nederland lijken goed bruikbaar voor Utrecht. Daarbij is voor Utrecht gebruik gemaakt van specifiekere informatie die beschikbaar is over de aanwezigheid van verschillende (duurzame) energiebronnen. Deze is afkomstig van regionale studies die tot nu toe nog niet waren gebruikt in het Vesta MAIS model. Evenals voor de energiebesparingsopties zijn voor de energieaanbod-opties geen gegevens beschikbaar over kosten die specifiek voor Utrecht zijn. Er zijn echter geen aanwijzingen dat de kentallen van kosten en potentiëlen hiervan voor Utrecht afwijken van de gemiddelde waarden die het model gebruikt voor heel Nederland. Dat wil niet zeggen dat er op nationaal niveau geen onzekerheid over bestaat. De gevoeligheid hiervan voor de gemeente Utrecht wordt in de studie geanalyseerd.

Achtergrondbeeld en verhoging van de energiebelasting op aardgas

Energiegebruik van Utrecht

De gebouwde omgeving is één van de grootste sectoren (naast transport en industrie) van de gemeente Utrecht wat betreft energiegebruik. Om de gebouwde omgeving klimaatneutraal te maken ligt de grootste opgave bij de warmtevoorziening met een aandeel van 70 procent in het totale energiegebruik van de gebouwde omgeving. De overige 30 procent betreft het elektriciteitsverbruik van apparaten en verlichting van de gebouwen. Het verbruik voor apparaten en verlichting is geen onderwerp van deze studie. Er wordt wel ingegaan op het elektriciteitsverbruik dat nodig is voor de warmtevoorziening zoals de elektriciteit die nodig is voor het pompen van door gasgestookte-ketels-verwarmd-water door radiatoren, voor elektrische warmtepompen en pompen van aardwarmte diep uit de grond. De huidige warmtevoorziening van gebouwen bestaat voor 70 procent uit aardgas en

voor 30 procent uit stadsverwarming. De warmtegebruikers van gebouwde omgeving zijn woningen (70%) en utiliteitsgebouwen (30%). Het elektriciteitsverbruik van de utiliteitsbouw is wel fors maar wordt zoals eerder vermeld buiten beschouwing gelaten in deze studie.

Volgens de doorrekening met het Vesta MAIS model is het totale energiegebruik nog hetzelfde in 2030 indien tot die tijd bij ongewijzigd beleid alle rendabele maatregelen van de warmtevoorziening worden genomen. In dit achtergrondbeeld wordt gewerkt met een lichte stijging van de energieprijzen volgens het scenario Hoog van de WLO. De toename van het elektriciteitsverbruik vanwege de groei van het aantal gebouwen - met name woningen - wordt gecompenseerd door een afname van de warmtevraag die wordt veroorzaakt door rendabele energiebesparingsmaatregelen. Door de uitbreiding van (rendabele) warmtenetten vindt een verschuiving plaats van het aantal aansluitingen van aardgas naar stadsverwarming. Het aardgasgebruik daalt al met al tot 83% in 2030 vergeleken met 2015.

Een mogelijkheid om meer maatregelen uit te lokken is het verhogen van de energieprijzen zodat investeringen zich sneller terugverdienen. In deze studie hebben we varianten opgesteld waarbij de gasprijs van het kleinverbruik (≤ 150.000 m³) is verhoogd door de energiebelasting te verhogen. Deze varianten laten zien welke maatregelen rendabel kunnen worden genomen bij deze prijsverhoging. Daarmee geven ze een indicatie van de financiële inspanning die nodig is voor het realiseren van de klimaatneutrale warmte- en koudevoorziening van de gebouwde omgeving in Utrecht. Voor het inzetten van regionaal en nationaal beleid zal het echter effectiever zijn om een mix van beleidsinstrumenten in te zetten. Het doel van deze studie is om een beeld te geven van het potentieel van de maatregelen en de kosten van eindgebruikers. Bij de kosten is het echter goed mogelijk dat deze op een andere manier worden verdeeld over de stakeholders afhankelijk van de (andere) mix van beleidsinstrumenten.

Indien de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd, is het potentieel voor energiebesparing groter en is de uitbreiding van warmtenetten in nog meer buurten rendabel. Om een reductie van 90% van het aardgasgebruik te bereiken blijkt uit de doorrekening dat (theoretisch) een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³ nodig is. Dit is exclusief het aardgasgebruik van hulpwarmtekets van de stadsverwarming.

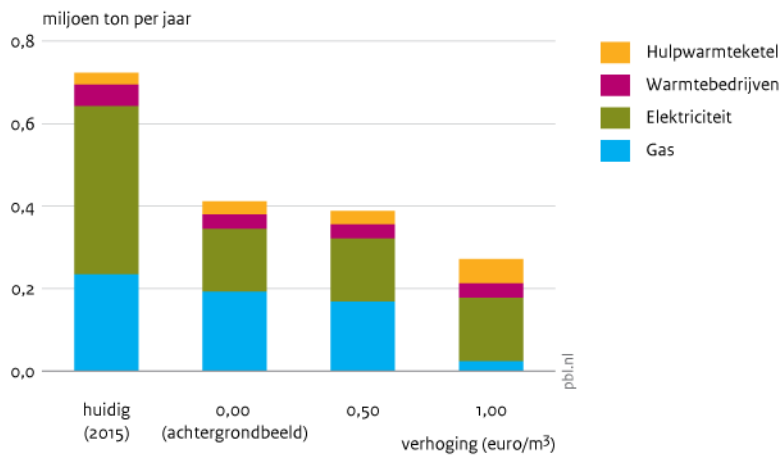
CO₂-emissie

De CO₂-emissie inclusief de emissie die vrijkomt bij de productie van elektriciteit die wordt ingekocht uit het landelijke net door de gebouwde omgeving in Utrecht daalt aanzienlijk in het achtergrondbeeld namelijk van 720 naar 410 kton CO₂/jaar in 2030. Het grootste deel van de daling wordt veroorzaakt door het schoner worden van de elektriciteit die wordt ingekocht uit het landelijke net. Beschouwen we alleen de CO₂-emissie van de warmtevoorziening dan daalt ook deze. Dit komt door de vermindering van het gasgebruik en een lagere CO₂-emissie van de stadsverwarming. De CO₂-emissie van stadsverwarming daalt ondanks de uitbreiding van het warmtenet als gevolg van het deels uit bedrijf nemen van de gasgestookte centrale Lage Weide-6 die wordt vervangen door een biomassacentrale.

De CO₂-emissie van het aardgasgebruik daalt van 240 kton CO₂ in 2015 tot 170 respectievelijk 20 kton CO₂ in 2030 bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 respectievelijk 1,0 euro/m³. De CO₂-emissie van de warmtebronnen van het stadsverwarmingsnet daalt ondanks de extra uitbreiding van warmtenetten door de verhoging van de energiebelasting. Dit komt omdat is verondersteld dat de extra benodigde warmtebronnen CO₂-vrij zijn. De gemeente Utrecht doet onderzoek naar de aanwezigheid van andere bronnen waaronder extra diepe geothermie waarbij de temperatuur zo hoog is dat daarmee elektriciteit kan worden opgewekt naast de geschiktheid als warmtebron voor stadsverwarming. De haalbaarheid is momenteel echter niet duidelijk. Wel neemt de CO₂-emissie toe van de hulpwarmtekets omdat is verondersteld dat deze in 2030 nog steeds wordt gestookt op aardgas. Door een ander ontwerp van het warmtenet en de inzet van alternatieve warmtebronnen zoals biomassa en hoge temperatuur warmtepompen kan de CO₂-emissie van hulpwarmtekets echter worden verminderd en eventueel zelfs klimaatneutraal worden. Hier zijn dan wel hogere kosten aan verbonden.

Figuur S.1 CO₂-emissie van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in de gemeente Utrecht in 2015 en in 2030: achtergrondbeeld en met verhoging van de energiebelasting op aardgas in 2030 in twee varianten.

Emissie van CO₂ bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2030



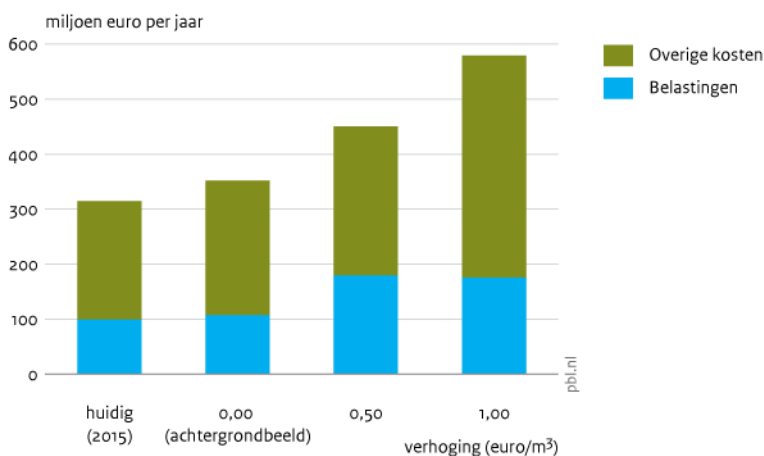
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2018

Kosten

De kosten van de energievoorziening (inkoopkosten van energie door eindgebruikers) van de gebouwde omgeving lagen op ongeveer 315 miljoen euro in 2015. Door groei van het aantal woningen en de utiliteit en stijging van de energieprijzen nemen de totale kosten van de energievoorziening toe in het achtergrondbeeld. De toename is echter beperkt vanwege de implementatie van rendabele energiemaatregelen die zich minimaal over de levensduur terug verdienen. Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas worden de kosten hoger in 2030. Zowel de belastingen als de kosten van de inkoop van energie en afschrijving van gebouwmaatregelen verdubbelen bijna vergeleken met 2015 bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro per m³.

Figuur S.2 Kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in de gemeente Utrecht in 2015 en 2030: achtergrondbeeld en met verhoging van de energiebelasting op aardgas in 2030 in twee varianten.

Kosten van eindgebruikers bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2030



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2018

Bij deze belastingverhoging treden twee kostenverschuivingen op. De eerste is een verschuiving van de inkoopkosten van energie naar investeringen in energiemaatregelen. De tweede is een verschuiving van energiebelasting naar belasting over de toegevoegde waarde (btw).

Terugverdientijd energiebesparing woningen

Om energie te besparen moeten veelal forse investeringen worden gedaan. De vraag die veelal wordt gesteld is na hoeveel jaar de investering in energiebesparing van de woning zich terugverdient. We beschouwen daartoe renovaties waarbij de schil van de bestaande woning wordt verbeterd tot de volgende energiebesparingsniveaus:

- 'midden': isolatie van de schil van het gebouw overeenkomend met energielabel B (warmteweerstand van de schil $R_c = 2,5$);
- 'hoog': isolatie van de schil van het gebouw overeenkomend met energielabel A+ (warmteweerstand van de schil $R_c = 5,0$);
- 'hoog met een elektrische warmtepomp': het gebouw met isolatieniveau 'hoog' wordt tevens verwarmd door een elektrische warmtepomp en wordt daartoe ook geschikt gemaakt met een laag temperatuurafgiftesysteem voor de ruimteverwarming.

De terugverdientijd is bepaald voor de 10 meest voorkomende woningcategorieën bestaande uit een combinatie van woningtype en bouwperiode. De meest voorkomende woningtypes zijn onder andere rijwoningen; meergezinswoningen met maximaal 4 verdiepingen en meergezinswoningen met meer dan 4 verdiepingen. Gezamenlijk vormen zij ongeveer 80% van het totaal van de bestaande woningvoorraad in Utrecht (147.878 in 2017).

Energieprijzen achtergrondbeeld

De renovaties naar energiebesparingsniveau midden verdienen zich terug tussen ongeveer 25 à 70 jaar bij bijna alle woningcategorieën bij de energieprijzen in het achtergrondbeeld. Voor renovaties naar hoog is de terugverdientijd van dezelfde orde grootte, maar de spreiding van terugverdientijden tussen woningcategorieën is kleiner namelijk tussen ongeveer 30 à 55 jaar. Renovaties naar energiebesparingsniveau hoog met een elektrische warmtepomp verdienen zich niet terug bij de energieprijzen van het achtergrondbeeld.

Als gekozen moet worden tussen renovatieniveau midden en hoog op basis van de kortste terugverdientijd dan is maatwerk van belang. Welke renovatie de kortste terugverdientijd heeft, verschilt namelijk tussen woningcategorieën. Renovatieniveau midden heeft de kortste terugverdientijd voor woningcategorie 'rijwoning met bouwperiode 1946-1964' (24 jaar) en 'meergezinswoning met vier of minder dan vier verdiepingen gebouwd voor 1946' (25 jaar). Renovatieniveau hoog heeft de kortste terugverdientijd voor woningcategorieën 'rijwoning gebouwd tussen 1975 en 1991' (54 jaar) en 'meergezinswoning hoger dan 4 verdiepingen gebouwd tussen 1965 en 1974' (55 jaar).

Indien er echter wordt gekozen voor maximale energiebesparing die zich per sé moet terugverdienen binnen een bepaalde periode dan kan de volgende conclusie worden getrokken: de meeste energiebesparing wordt bereikt als alle woningen renovatieniveau hoog treffen indien de terugverdientijd niet langer is dan een bepaalde bovengrens. De bovengrens kan bijvoorbeeld 55 jaar zijn. Dan gaan alle woningen naar renovatieniveau hoog behalve 'meergezinswoningen met maximaal 4 verdiepingen, 1975 – 1991'. Een ander voorbeeld is een bovengrens van 36 jaar: in dat geval komen 4 van de 10 woningcategorieën in aanmerking voor renovatie naar hoog.

Tabel S.1 Terugverdiëntijd (jaar) van renovatie naar schillabel midden en hoog voor woningcategorieën (woningtype en bouwperiode), referentieprijsen.

Woningtype	Bouwperiode	Huidig schillabel	Terugverdiëntijd naar isolatieniveau	
			midden (jaar)	hoog (jaar)
Rijwoning	t/m 1945	G	49	51
Rijwoning	1946 - 1964	F	24	33
Rijwoning	1975 - 1991	C	68	54
Rijwoning	1992 - 2005	B	nvt	41
Rijwoning	2006 - 2014	A	nvt	27
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	t/m 1945	G	25	36
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	1975 - 1991	C	100+	73
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	2006 - 2014	A	nvt	30
Meergezins (> 4 verdiepingen)	1946 - 1964	D	46	47
Meergezins (> 4 verdiepingen)	1965 - 1974	E	70	55

Verhoging van de energiebelasting op aardgas

Voor alle renovatieniveaus geldt dat de terugverdiëntijd korter wordt als de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd. De terugverdiëntijden van renovaties naar niveau midden en hoog halveren zelfs bijna en helemaal of meer bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0,5 respectievelijk 1 euro/m³. Bij de verhoging met 1,0 euro/m³ varieert de terugverdiëntijd ongeveer tussen 10 à 30 jaar voor renovatieniveau midden en tussen 15 à 25 jaar voor renovatieniveau hoog voor bijna alle woningcategorieën. Opvallend is dat deze spreiding van terugverdiëntijden van hoog binnen het spreidingsinterval van midden ligt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de terugverdiëntijden van de meeste renovaties naar niveau hoog vergelijkbaar zijn met die van niveau midden bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³.

De terugverdiëntijden van renovatie naar hoog met elektrische warmtepomp variëren van 35 tot 75 jaar respectievelijk van 25 tot 55 jaar bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ respectievelijk 1,0 euro/m³.

Tabel S.2 Terugverdientijd (jaar) van renovatie naar schillabel midden en hoog voor woningcategorieën (woningtype en bouwperiode), verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³.

Woningtype	Bouwperiode	Schillabel huidig	Terugverdientijd naar isolatieniveau	
			midden (jaar)	hoog (jaar)
Rijwoning	t/m 1945	G	26	28
Rijwoning	1946 - 1964	F	13	18
Rijwoning	1975 - 1991	C	37	29
Rijwoning	1992 - 2005	B	nvt	22
Rijwoning	2006 - 2014	A	nvt	15
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	voor 1946	G	28	28
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	1975 - 1991	C	81	40
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	2006 - 2014	A	nvt	16
Meergezins (> 4 verdiepingen)	1946 - 1964	D	25	25
Meergezins (> 4 verdiepingen)	1965 - 1974	E	38	30

Terugverdientijd energiebesparing Utrechtse wijken

We beschouwen nu de gemiddelde terugverdientijd van woningrenovaties op wijkniveau en gaan na in hoeverre er verschillen optreden tussen de wijken in Utrecht.

Renovatie 'midden'. Om te renoveren naar niveau 'midden' zijn de investeringskosten van de renovatie van de slecht geïsoleerde woning hoger dan van de renovatie van de matig geïsoleerde woning. De gemiddelde investeringskosten per wijk van de slecht geïsoleerde woning lopen uiteen van 6000 tot 12000 euro dat wil zeggen een factor 2. Dit wordt veroorzaakt door een andere samenstelling van het type en de bouwperiode van de woningen in de wijk. Deze varieert van vooral meergezinswoning in onder andere Kanaleneiland, Transwijk, Nieuw Hoograven, Bokkenbuurt en Zamenhofdreef en Neckardreef voor de laagste investeringskosten tot vooral oude vrijstaande woningen in Leidsche Rijn e.o., Het Zand, Terwijde, De Wetering en Rijnenburg voor de bovenkant van de range van de investeringskosten. Zoals verwacht zien we dat ook de per wijk gemiddelde vermeden inkoopkosten van energie hoger zijn in wijken met hogere gemiddelde investeringskosten. De vermeden inkoopkosten van energie na renovatie van de slecht geïsoleerde woningen naar 'midden' varieert tussen de wijken tussen de 60 euro per jaar in Lunetten tot 440 euro per jaar in Leidsche Rijn e.o.. De gemiddelde terugverdientijd naar niveau midden ligt in de meeste wijken tussen de 30 à 50 jaar. Opvallend resultaat is de relatief korte terugverdientijd in wijken met hoge investeringskosten zoals verschillende wijken in en nabij Leidsche Rijn. Het betreft hier de oudere woningen. Recenter gebouwde woningen zijn al gebouwd op energiezuinig niveau 'midden' of 'hoog'.

Renovatie 'hoog'. De per wijk gemiddelde investeringskosten van renovatie van woningen met energiezuinig niveau 'slecht' en 'matig' naar energiezuinig niveau 'hoog' liggen tussen de 8000 en 27000 euro. Voor renovaties van woningen met huidig niveau 'midden' naar hoog liggen de investeringskosten tussen de 4000 en 7000 euro met uitzondering van één wijk waar de gemiddelde investeringskosten hoger zijn. De per wijk gemiddelde vermeden inkoopkosten door renovatie naar 'hoog' varieert afhankelijk van het huidige isolatieniveau tussen de 100 en 500 euro per jaar. De gemiddelde terugverdientijd van huidig niveau 'slecht' naar 'hoog' ligt in de meeste wijken tussen de 40 à 50 jaar. Bij renovatie naar niveau 'hoog' zien we een vergelijkbaar patroon als bij 'midden' namelijk dat de gemiddelde terugverdientijd van wijken met hoge investeringskosten relatief kort is.

Algemene conclusie is dat de gemiddelde terugverdientijd van renovatie naar midden en hoog in wijken varieert tussen de 30 en 50 jaar. De wijken met woningen met een grote warmtevraag hebben hoge investeringskosten maar ook de kortste terugverdientijd. Het gaat hierbij veelal om een deel van de woningen in de wijk namelijk de oudere woningen in wijken waar recent nieuwbouw is gepleegd. De nieuwbouw heeft al op energiezuinig niveau 'midden' of 'hoog' plaatsgevonden waardoor deze niet in de berekening van de gemiddelde terugverdientijd meedoet. Dit alles geldt bij referentieprijzen.

Varianten energiebesparing en verhoging van de energiebelasting op aardgas

In de vorige twee onderdelen zijn de terugverdientijden van de energiebesparende renovaties besproken. De vraag die we nu gaan beantwoorden is welk effect deze renovaties hebben op het gasgebruik en daarmee op de CO₂-emissie van de gemeente Utrecht. Daartoe is opnieuw een integrale doorrekening met het Vesta MAIS model gemaakt. In paragraaf 7.3 was een integrale doorrekening gemaakt in het geval alleen rendabele renovaties worden genomen. In de voorliggende paragraaf worden de energiebesparende renovaties opgelegd dat wil zeggen dat alle woningen en utiliteitsgebouwen worden gerenoveerd. Voor ieder renovatieniveau is bepaald in hoeverre de warmtevraag vermindert, wat een rendabel alternatief is voor de gasaansluiting en wat het gezamenlijke effect is op het gasgebruik van gebouwen en de hulpwarmteketel van warmtenetten.

Dit is net als in paragraaf 7.3 gedaan voor het achtergrondbeeld en dezelfde verhogingen van de energiebelasting op aardgas. Hieronder worden de resultaten gegeven voor de drie renovatieniveaus en de hulpwarmteketel waarna enkele conclusies worden getrokken.

Renovatie naar energiebesparingsniveau midden

- De warmtevraag vermindert tot driekwart in het achtergrondbeeld in 2030 vergeleken met 2015. Er blijft echter genoeg warmtevraag over voor uitbreiding van stadsverwarming. Het aantal woningen dat rendabel kan worden aangesloten op stadsverwarming is vergelijkbaar met de situatie dat alleen rendabele energiebesparing wordt genomen. Dit is zelfs het geval als de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd met 0,5 euro/m³. Bij een verhoging met 1,0 euro/m³ heeft nog slechts een op de tien woningen een gasaansluiting.
- Het gasgebruik van gebouwen vermindert in het achtergrondbeeld in 2030 vergeleken met 2015 vanwege de verminderde warmtevraag door de renovatie naar midden en de uitbreiding van de stadsverwarming. Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³ vermindert het gasgebruik van de gebouwen tot 11% vergeleken met 2015.

Renovatie naar energiebesparingsniveau hoog

- De warmtevraag halveert in het achtergrondbeeld in 2030 vergeleken met 2015. Hierdoor is uitbreiding van de warmtenetten van stadsverwarming niet rendabel. De gebouwen (woningen en utiliteit) zijn nu echter wel zo goed geïsoleerd dat meer gebouwen rendabel kunnen worden aangesloten op WKO. Hoe hoger de energiebelasting op aardgas, hoe meer gebouwen rendabel worden aangesloten op WKO. Van de woningen heeft minder dan één op de tien nog een

gasaansluiting bij een verhoging van 1,0 euro/m³. Verondersteld is dat de huidige aansluitingen op het warmtenet gehandhaafd blijven. Van de bestaande gebouwen met een gasaansluiting gaan de meeste over op WKO en enkele gebouwen maken gebruik van de elektrische warmtepomp;

- Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³ resulteert dit in een vermindering van het gasgebruik tot 8% in 2030 vergeleken met 2015.

Renovatie naar energiebesparingsniveau hoog met elektrische warmtepomp

De warmtevraag is vergelijkbaar met de renovatie naar hoog. Gebouwen gebruiken geen gas meer in 2030 omdat is verondersteld dat alle gebouwen een elektrische warmtepomp hebben of zijn aangesloten op stadsverwarming. Dat laatste geldt voor de gebouwen die al waren aangesloten op stadsverwarming in 2015.

Gasgebruik hulpwarmteketel

Het gasgebruik van de hulpwarmteketels van warmtenetten is afhankelijk van de omvang van de warmtelevering. De warmtelevering zal afnemen door energiebesparing maar kan ook toenemen in het geval gasaansluitingen worden vervangen door een aansluiting op het warmtenet van de stadsverwarming. Daarnaast kan het gasgebruik van de hulpwarmteketel worden vermeden door een ander ontwerp van het warmtenet en de inzet van alternatieve hulpwarmte zoals biomassa en hoge temperatuur warmtepompen. Hier zijn dan mogelijk wel hogere kosten aan verbonden.

Conclusies

In onderstaande tabel staat het gasgebruik van de gebouwde omgeving exclusief en inclusief de hulpwarmteketel. Zowel het achtergrondbeeld als de varianten met renovatie van gebouwen (rijen) zijn gecombineerd met de verhogingen van de energiebelasting op aardgas. Hieruit kunnen de volgende conclusies worden getrokken over het potentieel van een klimaatneutrale warmte en koudevoorziening:

- Achtergrondbeeld (alleen rendabele renovaties): bij een verhoging van de energiebelasting met 1,0 euro/m³ wordt het gasgebruik van gebouwen (woningen en utiliteit) verminderd met ongeveer negentig procent door het nemen van alleen rendabele maatregelen. Van de woningen wordt ongeveer 90 procent aangesloten op het warmtenet van de stadsverwarming. Het gasgebruik van de hulpwarmteketel van het warmtenet neemt toe waardoor het totale gasgebruik inclusief de hulpwarmteketel slechts 70 procent afneemt. Dit kan worden voorkomen door alternatieven voor de hulpwarmteketel maar daar zijn dan mogelijk wel hogere kosten aan verbonden;
- Renovatie naar niveau 'midden': renovatie van alle gebouwen tot minimaal energiebesparingsniveau midden leidt tot dezelfde vermindering van het gasgebruik vergeleken met het nemen van alle rendabele renovaties. Dit betekent dat het renoveren van alle gebouwen naar niveau midden een robuuste optie is omdat het in ieder geval de warmtevraag vermindert maar ook uitbreiding van stadsverwarming rendabel houdt indien de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd;
- Renovatie naar niveau 'hoog': renovatie van alle gebouwen tot minimaal energiebesparingsniveau 'hoog' vermindert het gasgebruik met meer dan de helft, ook zonder verhoging van de energiebelasting. Dit is het gevolg van een vermindering van de warmtevraag. Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas is het rendabel om de gebouwen met dit renovatieniveau rendabel van het gas af te sluiten en over te laten stappen naar WKO en elektrische warmtepomp. Renovatie van alle gebouwen tot energiebesparingsniveau 'hoog' aangevuld met rendabele WKO vermindert het gasgebruik met meer dan 80 procent bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³. Het gasgebruik vermindert met ongeveer 90 procent bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³. Het gasgebruik van de gebouwen (exclusief de hulpwarmteketel van de warmtenetten) is dan ongeveer hetzelfde als alleen de rendabele maatregelen worden genomen omdat bij hoog meer energiebesparing

plaatsvindt maar minder warmtenetten. Het totale aardgasgebruik van de warmte- en koudevoorziening is dus groter als alleen de rendabele maatregelen worden genomen indien de hulpwarmteketel op aardgas wordt gestookt;

- Renovatie naar niveau 'hoog met elektrische warmtepomp': renovatie naar niveau hoog met elektrische warmtepomp zorgt ervoor dat alle gebouwen van het gas af zijn, ook zonder verhoging van de energiebelasting. Verhoging van de energiebelasting op aardgas leidt dus niet tot nog minder gasgebruik. De verhoging van de energiebelasting verkleint wel de terugverdientijd van de renovatie zoals in de vorige paragraaf is geschetst.

Tabel S.3 Aandeel gasgebruik door woningen en utiliteit exclusief (linker getal) en inclusief (rechter getal) de hulpwarmteketel van warmtenetten in 2030 vergeleken met 2015 (4,6 PJ exclusief en 5,2 PJ inclusief hulpwarmteketel in %). Gepresenteerd zijn varianten met rendabele energiebesparing bovenop het minimale renovatieniveau van huidig, midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp in combinatie met de energieprijzen van het achtergrondbeeld met een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0 euro/m³; 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	83 - 86	72 - 77	11 - 32
Midden en rendabel	%	66 - 68	63 - 65	11 - 32
Hoog en rendabel	%	46 - 46	16 - 20	8 - 13
Hoog en elektrische warmtepomp	%	0 - 6	0 - 6	0 - 6

Gevoeligheidsanalyse

Terugverdientijd energiebesparing woningen

Het merendeel van de investeringen in energiebesparing en energiezuinige installaties zoals de elektrische warmtepomp heeft een (te) lange terugverdientijd. Voor de implementatie van het klimaatbeleid is het nodig om te verkennen welke factoren hiervoor van belang zijn en wat de gevoeligheid van deze factoren is. De terugverdientijd van energiebesparing wordt beïnvloed door uitgangspunten omtrent investeringskosten en energieprijzen. Voor meer pessimistische en optimistische sets van uitgangspunten dan in de berekening van het achtergrondbeeld is nagegaan wat het effect is op de terugverdientijden van de renovaties. De sets variëren in huidige investeringskosten (gebaseerd op individuele versus projectmatige aanpak van woningrenovatie), leerfactor (weinig versus veel technologieontwikkeling) en energieprijzen (waarbij een hoger energieprijsscenario is bezien). De meest opvallende conclusies zijn:

- Bij pessimistische uitgangspunten verslechteren de terugverdientijden aanzienlijk bij energieprijzen van het achtergrondbeeld in 2030. Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas vooral met 0,5 euro/m³ is de verslechtering aanzienlijk minder. Een verhoging van de energiebelasting op aardgas verkleint dus niet alleen de terugverdientijd van energiebesparing maar maakt deze ook minder gevoelig voor minder gunstige omstandigheden;
- Bij optimistische uitgangspunten verbeteren de terugverdientijden aanzienlijk. De terugverdientijd van alle woningcategorieën ligt binnen de range van 8 tot 25 jaar voor zowel de renovatie naar hoog als hoog met elektrische warmtepomp in het geval dat de energiebelasting op aardgas

wordt verhoogd met 0,5 of 1,0 euro/m³. In veel gevallen is de terugverdientijd van deze renovaties zelfs korter dan renovatie naar midden;

- Bij de renovatieniveaus midden en hoog scheelt in de meeste gevallen de terugverdientijd tussen pessimistisch en optimistisch ruwweg een factor 2, dat wil zeggen de terugverdientijd is twee keer zo groot bij pessimistische als bij optimistische uitgangspunten. Bij renovatieniveau hoog met elektrische warmtepomp is het verschil in terugverdientijd tussen pessimistische en optimistische uitgangspunten een factor 4 of meer groter.

Uit het voorgaande kunnen een paar meer algemene conclusies worden getrokken. In de eerste plaats kan worden geconcludeerd dat de keuze van uitgangspunten van grote invloed kan zijn op de uitkomst van de terugverdientijd. Eerder hebben we al gezien dat de terugverdientijd tussen woningcategorieën aanzienlijk kan verschillen bij de standaarduitgangspunten. Voor de bepaling van kosteneffectieve maatregelen is dan maatwerk per woningcategorie nodig. De gevoeligheidsberekening laat zien dat ook de terugverdientijd van één woningcategorie aanzienlijk kan veranderen indien andere uitgangspunten worden gekozen. Dit maakt het nog belangrijker om zelfs voor iedere woning (apart of deel van een straat) na te gaan wat precies de omstandigheden in heden en toekomst kunnen zijn die de terugverdientijd bepalen. Met andere woorden meer maatwerk - waaronder kennis van de woning en mogelijke maatregelen - wordt nog belangrijker. In de tweede plaats levert de set met optimistische uitgangspunten een hoopvol beeld met korte terugverdientijden zoals voor renovatieniveau hoog variërend van 17 tot 41 jaar zonder verhoging van de energiebelasting en 9 tot 25 jaar met verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³. Als derde generieke conclusie kan worden gesteld dat het van belang is om beleid in te zetten gericht op het realiseren van leereffecten en schaafeffecten (projectmatige aanpak) welke leiden tot kostendalingen en daarmee een verbetering van de terugverdientijd.

Volgorde van energiebesparing en stadsverwarming

De volgorde waarin beslissingen over de energiebesparing en uitbreiding van het warmtenet wordt genomen kan van invloed zijn op de rentabiliteit van met name de stadsverwarming. Dit is nagegaan voor twee extreme situaties. In de ene situatie wordt (rendabele) energiebesparing genomen in 2020 en vindt (rendabele) uitbreiding van het warmtenet van de stadsverwarming pas plaats in 2030 (linker getal tussen de haakjes). In de andere situatie is de volgorde andersom: de stadsverwarming wordt uitgebreid in 2020 en de energiebesparing wordt genomen in 2030 (rechter getal tussen de haakjes). De resultaten in het vorige hoofdstuk zijn gebaseerd op het gemiddelde van de twee situaties (getal voor de tussenhaakjes).

Voor het gasgebruik van de woningen en utiliteit maakt de volgorde van energiebesparing en stadsverwarming weinig uit als de energiebelasting op aardgas niet of met 0,5 euro/m³ wordt verhoogd. Dit komt omdat het verschil in de vermindering van de warmtevraag tussen beide volgordes klein is en de vervanging van het aantal gasaansluitingen door stadsverwarming ongeveer gelijk is. Daarentegen is de volgorde wel van invloed op het gasgebruik bij een verhoging van 1,0 euro/m³. Het gasgebruik wordt gereduceerd tot ongeveer 20% indien eerst de energiebesparing wordt genomen en tot 2% indien eerst de stadsverwarming wordt genomen. Dit geldt voor het achtergrondbeeld met alleen rendabele renovaties en bij de variant met renovatieniveau midden.

Tabel S.4 Aandeel gasgebruik in 2030 vergeleken met de situatie in 2015 (%) bij verschillende volgordes van de keuze voor de inzet van energiebesparing en warmtenetten. Tussenhaakjes links: eerste keuze is energiebesparing; tussenhaakjes rechts: eerste keuze is stadsverwarming. Het gemiddelde staat voor de haakjes.

Gepresenteerd zijn varianten met rendabele energiebesparing bovenop het minimale renovatieniveau van huidig en midden in combinatie met de energieprijzen van het achtergrondbeeld met een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0 euro/m³; 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³. Het gasgebruik is voor het totaal van de gebouwde omgeving (woningen en utiliteit) maar exclusief inzet van hulpketels voor stadsverwarming uit centrales, industrie en geothermie.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	83 (82-84)	72	11 (19-2)
Midden en rendabel	%	66 (67-65)	63 (64-61)	12 (22-2)

Voor het gasgebruik van woningen en utiliteit inclusief de hulpketel van warmtenetten heeft de volgorde ook een substantieel effect bij de verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³. Er is een redelijk forse spreiding van 5%-punt rondom het gemiddelde aandeel van 32% in 2030 ten opzichte van 2015. De spreiding is echter kleiner dan bij het gasgebruik exclusief de hulpwarmteketel omdat de afname van het gasgebruik door vermindering van het aantal gasaansluitingen wordt getemperd door meer gasgebruik van de hulpwarmteketel.

Tabel S.5 Aandeel gasgebruik in 2030 vergeleken met de situatie in 2015 (%) bij verschillende volgordes van de keuze voor de inzet van energiebesparing en warmtenetten. Tussenhaakjes links: eerste keuze is energiebesparing; tussenhaakjes rechts: eerste keuze is stadsverwarming. Het gemiddelde staat voor de haakjes.

Gepresenteerd zijn varianten met rendabele energiebesparing bovenop het minimale renovatieniveau van huidig en midden in combinatie met de energieprijzen van het achtergrondbeeld met een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0 euro/m³; 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³. Gasgebruik is voor het totaal van de gebouwde omgeving (woningen en utiliteit) en inclusief inzet van hulpketels voor stadsverwarming uit centrales, industrie en geothermie.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	86 (85-87)	77 (76-77)	32 (37-27)
Midden en rendabel	%	68 (68-67)	65 (66-64)	32 (37-26)

Afweging tussen stadsverwarming en WKO

In een gebied kunnen zowel stadsverwarming als WKO rendabel zijn. De afweging tussen stadsverwarming en WKO is echter in de praktijk soms lastig omdat de gebieden waarop ze kunnen worden toegepast niet even groot zijn. Voor stadsverwarming moet veelal een grote investering in de warmtebron en -net worden gedaan die alleen rendabel is als een groot gebied kan worden aangesloten op stadsverwarming. Bij de WKO-installatie is de minimale investering minder groot waardoor deze optie al voor een enkel groot utiliteitsgebouw of een groep van woningen rendabel kan zijn. Het Vesta MAIS model past WKO toe op één gebouw of via een collectief warmte- en koudenet voor meerdere gebouwen. Daarentegen hanteert het Vesta MAIS model een relatief groot gebied voor stadsverwarming- namelijk CBS-buurtten - als minimale grootte voor het gebied met een warmtenet.

Uit gevoeligheidsberekeningen blijkt het voor gebouwen in sommige buurten rendabeler te zijn om een aansluiting te nemen op WKO dan op stadsverwarming. Dit is vooral het geval bij buurten met woningen die al redelijk goed geïsoleerd zijn zoals in delen van Leidsche Rijn. Tevens blijkt dat in sommige buurten waar stadsverwarming rendabel is als alle gebouwen worden aangesloten op de stadsverwarming dit niet meer het geval is als enkele woningen overgaan op een WKO aansluiting. De overige woningen van de buurt gaan dan niet van het gas af terwijl dat bij de keuze voor stadsverwarming wel gebeurt.

Daarnaast is het goed denkbaar dat de investeringskosten van WKO de komende jaren door grootschalige toepassing en projectmatige aanpak een gunstigere kostendaling meemaken dan in deze studie is aangenomen waardoor het aantal WKO aansluitingen van gebouwen aanzienlijk groter zal zijn dan nu is berekend.

Hybride warmtepomp

Bij een hybride warmtepomp blijft de woning wel aangesloten op het aardgasnet maar wordt naast de cv-ketel op aardgas ook een warmtepomp op elektriciteit geïnstalleerd. Het voordeel van de hybride warmtepomp is dat het een relatief makkelijk uitvoerbare maatregel is, ook bij slecht of matig geïsoleerde woningen en relatief lage investeringskosten kent. De hybride warmtepomp halveert ruwweg het jaarlijkse aardgasgebruik van de woning. Het zet daarbij een grote stap, maar niet voldoende om klimaatneutraal te zijn. De hybride warmtepomp wordt dan ook veelal gezien als tussenfase om ervaring op te doen met warmtepompen en om woningen pas later en geleidelijk te

renoveren tot een hoog energiebesparingsniveau met een volledig elektrische warmtepomp. Zowel elektrische als hybride warmtepompen verdienen zich niet tijdens hun levensduur terug bij de referentieprijzen. Bij een verhoging van de energiebelasting is de terugverdientijd van de hybride warmtepomp echter korter dan de energiebesparende renovaties midden, hoog en hoog met de volledig elektrische warmtepomp bij bijna alle woningen. Indien renovatie naar niveau midden wordt gecombineerd met de hybride warmtepomp dan is de combinatie vergelijkbaar of gunstiger dan de renovatie naar hoog en hoog met de elektrische warmtepomp maar ook dan alleen in het geval de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd.

Ervaringen en lessen voor het maken van een regionale studie

Proces voor het maken van de regionale studie

Met medewerkers van de gemeente Utrecht zijn een aantal sessies belegd om:

- De vraagstelling van de gemeente helder te krijgen en af te stemmen met de mogelijke onderzoeksvragen die met het model konden worden beantwoord;
- Helder te krijgen welke gegevens het Vesta MAIS model nodig heeft en de gemeente beschikbaar heeft om zinvolle resultaten te kunnen produceren op lokaal niveau;
- Resultaten te bespreken van de doorrekening met Utrechtse specifieke data versus data standaard aanwezig in het Vesta MAIS model voor Utrecht;
- Kennis te nemen van de mogelijke resultaten en output die door het Vesta MAIS model gegenereerd kunnen worden en in te kunnen gaan op de wensen en informatiebehoefte van de gemeente;
- Specifieke beleidsvarianten te formuleren voor Utrecht voor doorrekening met het Vesta MAIS model;
- De resultaten van deze doorrekening te bespreken, alsmede de betekenis en bruikbaarheid van de resultaten voor Utrecht.

Bruikbaarheid voor de betrokkenen van de regio Utrecht

Uit de evaluatie van de gemeente Utrecht kwamen de volgende aspecten naar voren.

- Voor Utrecht was het van belang om uit te zoeken of nationale en breed gedragen gegevens en kentallen ook op lokale schaal bruikbaar zijn. Dit bleek het geval;
- En om een antwoord te krijgen op de vraag of het mogelijk is om lokale, specifieke data en inzichten toe te voegen en mee te nemen in een 'nationaal' model. Het antwoord is bevestigend;
- En om tenslotte een antwoord te krijgen op de vraag of het mogelijk is om inzicht te krijgen in effecten van beleidsopties en de invloed op marktcondities. Het antwoord is bevestigend waarbij ook inzicht is verkregen in de factoren die hiervoor van belang zijn en hun gevoeligheid.

Voor Utrecht was dit een zeer nuttige exercitie en basis voor de binnenkort op te starten 'Transitievisie Warmte' voor de gemeente Utrecht en de Regionale Energiestrategie voor de regio en samenwerkingsnet U-10.

Verzamelen lokale informatie

Over het verzamelen van lokale informatie kan ten aanzien van het proces om gebruik te maken van het Vesta MAIS model voor Utrecht het volgende worden geconcludeerd:

- Het verzamelen van specifieke gegevens over de toekomstige bouwontwikkeling (omvang en type bebouwing) een relatief tijdsintensieve activiteit was. Gegevens over nieuwbouwprojecten, plannen van woningbouwcorporaties etc. waren niet op een centrale plek binnen de gemeente beschikbaar, maar moesten worden verzameld bij en via verschillende contactpersonen en databronnen. Verder was er nog een stap nodig om de beschikbare gegevens in een format te zetten dat geschikt was voor gebruik in het Vesta MAIS model.

- Voor het verzamelen van specifieke gegevens over de (potentieel) toekomstige aanwezigheid van verschillende (duurzame) energiebronnen kon gebruik worden gemaakt van diverse studies en de potentiëlen die beschikbaar waren gesteld door de provincie. Deze gegevens behoeften geen extra bewerkingsslag vanuit de gemeente.
- Het verkrijgen van meetgegevens van het gerealiseerde energiegebruik op gebouwniveau uit de database van Energie in Beeld is niet gelukt. Wel zijn geaggregeerde energiegebruiken verkregen maar vanwege definitieverschillen bleken deze slecht bruikbaar voor een vergelijking met de Vesta MAIS gebruikte waarden van het energiegebruik op gebouwniveau. Uit de analyse om de modelwaarden te vergelijken met de gerealiseerde waarden konden daardoor geen betrouwbare conclusies worden getrokken, hoewel er veel tijd aan is besteed.

Berekeningen en uitvoer van het model

Om te voorzien in de informatiebehoefte van de gemeente Utrecht is het volgende geleerd over de berekeningen en de uitvoer van het model:

- De gemeente wilde graag meer handvatten om een afweging te kunnen maken op wijkniveau. Dit heeft geleid tot het uitvoeren van resultaten op wijkniveau. De essentiële informatie is beschikbaar in het model. Om de resultaten op wijkniveau zichtbaar te maken heeft een nabewerking plaatsgevonden. In een volgende versie van Vesta MAIS kan dit nog gebruiksvriendelijker worden gemaakt;
- Gedetailleerde informatie op objectniveau is geleverd waarmee de gemeente Utrecht eigen analyses kan uitvoeren. De uitvoermogelijkheden van het Vesta MAIS model waren hiervoor al aanwezig en uitermate nuttig;
- Standaard worden de (meer)kosten van energiemaatregelen uitgedrukt in gemiddelde euro's per jaar; euro's per GJ per jaar; en euro's per vermeden ton CO₂ per jaar. Dit bleken echter geen aansprekende grootheden te zijn voor de medewerkers van de gemeente Utrecht om te communiceren met bewoners en andere betrokkenen. Daarom is overgestapt naar een aansprekender uitdrukking te weten 'terugverdientijd'. De terugverdientijd van energiebesparing is nu standaard opgenomen in Vesta MAIS versie 3.2;
- Visualisatie van de resultaten in kaarten bleek voor de medewerkers van de gemeente helder, inzichtelijk en aanspreekbaar. Om kaarten en andere visualisaties makkelijker te kunnen maken wordt een visualisatietool ontwikkeld voor de Vesta resultaten;
- De optie om hybride warmtepompen in te zetten is geanalyseerd in de gevoeligheidsanalyse van terugverdientijden. In het model kan de hybride warmtepomp worden opgelegd maar nog niet meedoen in de rentabiliteitsafweging. Dit gemis, ook voor nationale analyses, wordt in een volgende versie van het Vesta MAIS model ongedaan gemaakt;
- Ontbrekende opties zijn met name groen gas en waterstof. Tot nu toe zijn er te weinig betrouwbare inschattingen van de productiekosten en consequenties voor de kosten van de infrastructuur om deze op te nemen in het model. Handmatig kunnen in een nabewerking desgewenst schattingen worden toegevoegd. Komende periode kan worden bezien of het zinvol is om deze opties op te nemen in het model indien er meer zekerheid is over de productiemogelijkheden en de kosten daarvan.

Eindconclusie

Uit de regionale toepassing van het Vesta MAIS model voor de gemeente Utrecht blijkt het Vesta MAIS model uitermate bruikbaar te zijn voor het genereren van informatie waaraan behoefte is. Deze informatie geeft de gemeente en betrokkenen inzicht in de opties voor de energietransitie naar klimaatneutrale wijken. Voor het PBL is het aanleiding geweest om het model uit te breiden met enkele functionaliteiten. Belangrijkste is misschien wel dat een beter beeld is ontstaan van de informatiebehoefte. In een volgende analyse die momenteel wordt uitgevoerd voor de regio Drechtsteden worden de lessen van de Utrechtse analyse meegenomen.

1 Inleiding

Om het klimaatverdrag van Parijs te ondersteunen streeft de Nederlandse regering naar een reductie van broeikasgassen met 49 tot 55% in 2030 en 95% in 2050 ten opzichte van 1990 (Regeerakkoord 2017). Het kabinet onderhandelt op dit moment met maatschappelijke partijen om hierover een nationaal klimaat- en energieakkoord af te sluiten. Dit gebeurt aan verschillende sectortafels waarbij de gebouwde omgeving één van de sectoren is. Een brede groep aan partijen variërend van energiebedrijven tot de Woonbond, en van Bouwend Nederland tot de geothermiesector neemt deel aan de sectortafel van de gebouwde omgeving en buigt zich over diverse thema's zoals financiering, nieuwbouw, wijkgerichte aanpak en duurzame warmte (Kamerbrief 2018). Eén van de belangrijkste onderdelen van dit complexe vraagstuk is het potentieel en de kosten van de energiemaatregelen om de klimaat- en energiedoelen te realiseren. Het Vesta MAIS model is ontwikkeld voor nationale verkenningen op dit gebied die bijdragen aan de besluitvorming op nationaal niveau. De mogelijke energiemaatregelen zijn echter afhankelijk van lokale omstandigheden en kunnen sterk verschillen van regio tot regio. In deze studie wordt een casus uitgevoerd om het model toe te passen op de gemeente Utrecht met het doel om bij te dragen aan de besluitvorming door de gemeente en andere belangrijke betrokkenen. Het PBL beoogt daarnaast ervaring en kennis op te doen waarmee de besluitvorming van andere regionale overheden en de nationale overheid kan worden verbeterd.

1.1 Achtergrond: ervaring opdoen met regionale toepassing van het Vesta MAIS model

Met het Vesta MAIS energiemodel voor de gebouwde omgeving kunnen verkenningen worden uitgevoerd van het technisch-economisch potentieel van technieken voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving in Nederland. Hiermee kunnen analyses ter advisering op *regionale* schaal worden uitgevoerd. Daarbij worden alle buurten in Nederland doorgerekend waarbij rekening wordt gehouden met lokale omstandigheden. Het model is daarom in principe ook geschikt om specifiek te worden ingezet om uitspraken te doen voor een *bepaalde regio (een gemeente of een cluster van gemeenten)*.

Tot nu toe is nog weinig ervaring opgedaan met advisering aan gemeenten op wijk of gemeentelijk niveau voor een specifieke regio terwijl er wel veel vraag naar is. In dit project is de regio van de gemeente Utrecht als testcase gebruikt om na te gaan in hoeverre het model behulpzaam kan zijn voor regionale analyses. De *regionale testcase voor de gemeente Utrecht* heeft tot doel om met behulp van het Vesta MAIS model opties voor klimaatneutrale wijken in kaart te brengen. Het potentieel en de kosten worden verkend van de mogelijkheden om de energievraag te beperken en in de resterende energievraag te voorzien met energie-efficiënte technieken gevoed met schone energiedragers. Met deze informatie kan de gemeente zijn visie op de energietransitie van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving beter onderbouwen.

1.2 Doelstelling en beoogde resultaten voor de testcase gemeente Utrecht

De doelstelling van de testcase Utrecht is om na te gaan in hoeverre het Vesta MAIS model geschikt is om regionale analyses uit te voeren en op welke wijze de berekeningen kunnen bijdragen aan de informatiebehoefte van de gemeente voor de besluitvorming over de energietransitie met betrekking tot de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving.

Uitvoering van de testcase voor de gemeente Utrecht met het Vesta MAIS model moet resulteren in:

- Informatie over lokale omstandigheden zoals sloop- en nieuwbouwplannen en andere invoergegevens van het Vesta MAIS model die relevant is om een doorrekening met het Vesta MAIS model te maken;

- Een doorrekening van de regionale casus voor de gemeente Utrecht met het Vesta MAIS model die de mogelijkheden om energie te besparen en alternatieve aanbodtechnieken in beeld brengt. De resultaten dienen behulpzaam te kunnen zijn voor het opstellen en/of de uitwerking van de warmtevisie van de gemeente Utrecht.

Binnen het project is ook de beleidsruimte van de gemeente Utrecht verkend in het realiseren van de energietransitie in de gebouwde omgeving. Uit gesprekken met medewerkers van de gemeente Utrecht en analyse van het klimaat- en energiebeleid op zowel Europees, rijks- als lokaal niveau blijkt dat gemeenten op dit moment weinig tot geen wettelijke middelen hebben om maatregelen af te dwingen. Dit heeft geresulteerd in een eerdere publicatie (Harmelink et al. 2017). Deze publicatie kan als inspiratie dienen voor gemeenten die - meer dan de gemeente Utrecht - aan het begin staan van het traject om een energietransitie in de gebouwde omgeving te bewerkstelligen.

Met de testcase wordt verkend of een bijdrage geleverd kan worden aan het besluitvormingsproces van de gemeente en de regionale energiestrategie Utrecht door op hoofdlijnen potentiële opties voor klimaatneutrale wijken te schetsen. De studie beoogt bij te dragen aan een objectief en breed geaccepteerde kennisbasis in de regio Utrecht. Mogelijk kan hiermee worden voorzien in een leemte omdat lokale informatie veelal vanwege vertrouwelijkheid van bedrijfsinformatie en woningcorporaties niet altijd algemeen toegankelijk is en generieke kennis minder goed kan worden gedeeld. De studie beperkt zich echter wel tot technisch-economische factoren. In het afwegingsproces zullen ook sociale en andere economische factoren zoals natuurlijke investeringsmomenten van belang zijn.

1.3 Opbouw van het rapport

Na een korte beschrijving van het Vesta MAIS model (hoofdstuk 2) en de verzameling van de lokale informatie (hoofdstuk 3) komen de vraagstelling en uitgangspunten aanbod (hoofdstuk 4). Vervolgens worden de resultaten van de doorrekening met het Vesta model (hoofdstuk 5) en een gevoeligheidsanalyse (hoofdstuk 6) besproken. Het rapport eindigt met een uitgebreide samenvatting met conclusies (hoofdstuk 7).

2 Beschrijving van het Vesta MAIS model

Het Vesta MAIS model is een ruimtelijk energiemodel van de gebouwde omgeving (onder andere woningen, kantoren, winkels en ziekenhuizen) en de glastuinbouw. Het doel van Vesta MAIS is het verkennen van mogelijkheden om het energiegebruik en de CO₂-uitstoot te verminderen in de periode tot 2050. Zowel gebouw- als gebiedsmaatregelen kunnen worden doorgerekend waarbij rekening wordt gehouden met lokale omstandigheden in heel Nederland. Met het model kunnen optimalisaties en simulaties worden uitgevoerd om na te gaan welke mix en volgorde van gebouw- en gebiedsmaatregelen het meest kosteneffectief is. Het is echter geen optimalisatiemodel dat 'automatisch' de meest kosteneffectieve route naar een CO₂-arme gebouwde omgeving berekent. Ook is het geen simulatiemodel waarmee een meest waarschijnlijke toekomst kan worden bepaald. Het Vesta MAIS-model is een *beslissingsondersteunend* ruimtelijk model voor beleidsmakers. Het model geeft inzicht in het technisch-economisch potentieel van energiebesparing, hernieuwbare energie en warmtenetten. Daarbij wordt ook inzicht gegeven in de CO₂-reductie; en kosten en baten voor betrokken actoren.

Hoe worden maatregelen ingezet?

Het model weegt per individueel gebouw de kosten van gebouwmaatregelen om energie te besparen af tegen de opbrengsten gerelateerd aan de bespaarde inzet van energiedragers. Dit is een beperkte benadering van de kosten en baten van maatregelen omdat andere baten van energiebesparing niet worden verdisconteerd zoals verhoging van comfort, gezondheidseffecten, waardevermeerdering van panden. Als deze ook in de kosten/baten afweging worden meegenomen levert dit mogelijk een ander plaatje op wat betreft kosteneffectiviteit. Op dit moment is het echter lastig om deze te kwantificeren en daarom worden ze nog niet meegenomen in de afweging.

Tevens berekent het model de gebieden waar warmte- en koude levering door gebiedsmaatregelen rendabel is, dat wil zeggen een financieel voordeel oplevert voor de investeerder en eigenaren van gebouwen. Daarbij wordt rekening gehouden met gebouwmaatregelen die al genomen zijn of nog kunnen worden genomen. Daarnaast kunnen gebouwen geselecteerd worden om wel of niet mee te doen met maatregelen op basis van sociaaleconomische kenmerken.

Hieronder wordt nader ingegaan op de manier waarop het Vesta MAIS model omgaat met respectievelijk gebieds- en gebouwmaatregelen. Een uitgebreidere algemene beschrijving geeft (Wijngaart 2017).

2.1 Gebouwmaatregelen

De belangrijkste gebouwmaatregelen om energie te besparen zijn verbeteringen aan de schil van het gebouw met name gevel-, vloer- en dakisolatie en het vervangen van enkel of dubbel glas door HR++(+)- glas. Andere belangrijke verbeteringen zijn warmteterugwinning bij mechanische ventilatie en douche en energie-efficiënte installaties zoals elektrische en hybride warmtepompen.

De woningen en utiliteitsgebouwen in het Vesta MAIS model hebben in het basisjaar op basis van de energiekwaliteit een energieschillabel. De schillabelklassen lopen van A+ t/m G, oftewel van weinig naar veel besparingsmogelijkheden. Het werkelijke - door RVO gecertificeerde - energielabel van een gebouw is opgenomen in de database van het Vesta MAIS model. Het label van gebouwen zonder RVO gecertificeerd label wordt ingeschat op basis van het bouwtype en de bouwjaarklasse.

Voor een toekomstig jaar kan het Vesta MAIS model simuleren dat er verbeteringen aan de schil van het gebouw plaatsvinden.

Woningen: een woning kan dan 'springen' naar een beter energieschillabel. Er kan worden gesprongen naar:

- Tussenlabel: dit is een sprong met twee labelstappen van een label (E, F en G) naar (C, D respectievelijk E);
- Label B (warmteweerstand van de schil $R_c = 2,5$);
- Label A+ (warmteweerstand van de schil $R_c = 5,0$);
- Label A+ en inzet elektrische warmtepomp.

Indien een sprong is gemaakt kan het gebouw opnieuw springen in een volgend zichtjaar. Voorbeeld: een bestaande woning met schillabel G wordt gerenoveerd in 2020 waardoor de schil naar tussenlabel E springt. Vervolgens kan in een later jaar de woning energetisch verder worden verbeterd waardoor de woning naar schillabel B springt of zelfs naar schillabel A+. De inzet van de elektrische warmtepomp is alleen mogelijk indien de woning voldoende is geïsoleerd. Dit is het geval bij schillabel A+. Bij de inzet van de elektrische warmtepomp worden tevens de radiatoren in een bestaande woning vervangen door een laagtemperatuurafgiftesysteem (vloerverwarming en/of convect radiator). Bij nieuwbouw worden hiervoor geen extra kosten in rekening gebracht omdat ervan wordt uitgegaan dat hier al rekening mee is gehouden bij het ontwerp van de woning.

Utiliteit: Op vergelijkbare wijze als de woningen kunnen utiliteitsgebouwen in het Vesta MAIS model 'springen' naar een schil met een betere isolatiewaarde. Sprongen naar de volgende energieschillabels zijn mogelijk:

- Schil met isolatiewaarde $R_c = 3,5$;
- Schil met isolatiewaarde $R_c = 5,0$;
- Schil met isolatiewaarde $R_c = 5,0$ en inzet elektrische warmtepomp.

Energie-efficiënte installaties: voor woningen en utiliteitsgebouwen die aangesloten blijven op het gasnet wordt aangenomen dat de cv-ketel wordt vervangen door een hoogrendementsketel. Er kunnen echter ook andere energie-efficiënte installaties zoals de hybride warmtepomp worden ingezet door het model (zie de gevoeligheidsanalyse).

2.2 Gebiedsmaatregelen

Door de toepassing van de gebouwmaatregelen vermindert de warmtevraag. De resterende warmtevraag van de gebouwen kan of binnen het gebouw efficiënt worden geproduceerd of decentraal efficiënt en/of schoon via de zogenoemde gebiedsmaatregelen. Hierbij zorgen warmtenetten voor het transport en de distributie van duurzame warmte van een warmtebron naar de gebouwen. Utrecht heeft zo'n stadsverwarmingsnet waarbij de warmte wordt geleverd door op dit moment meerdere fossiele warmtebronnen. In het Vesta MAIS model zijn de volgende typen warmtebronnen opgenomen:

- Restwarmte: warmte van elektriciteitscentrales, afvalverbrandingsinstallaties en industriële bedrijven. Hieronder valt ook warmte van de warmtecentrales gestookt op snoeihout en houtpallets;
- Geothermie: warmte uit diepe aardlagen op 1500 tot 4000 meter diepte;
- Wijk-wkk: efficiënt geproduceerde warmte uit (aardgasgestookte) warmtekrachtkoppeling in de wijk;
- Bio-wijk-wkk: warmte verkregen uit een wijk-wkk door te stoken met biomassa bestaande uit snoeihout, houtpellets of biogas.

Een andere gebiedsmaatregel is warmtekoudeopslag (WKO). Deze installatie levert warmte en koude afkomstig van grondwater op een diepte van 20 tot 200 meter dat wordt benut als energiebuffer.

De gebiedsmaatregelen onderscheiden zich van gebouwmaatregelen vanwege de collectiviteit middels het transport- en distributienet waarbij meerdere gebouwen gezamenlijk gebruik maken van één of meerdere warmte- en/of koude bronnen. Deze bronnen gebruiken zelf geen of weinig energie zoals bij restwarmte uit de industrie of de energie is afkomstig van duurzame bronnen zoals geothermie, WKO en bio-WKK. In veel gevallen is er wel een hulpwarmteketel aanwezig die wordt gestookt op aardgas of groen gas. De hulpwarmteketel functioneert behalve als aanvullend piekvermogen ook als reservevermogen voor de momenten dat de warmtebron in onderhoud is of onverwacht uitvalt. Het model houdt ook rekening met warmteverliezen die optreden bij het transport en de distributie van de warmte.

2.3 Groen gas

Groen gas kan worden ingezet in het aardgasnet zonder dat aanpassingen nodig zijn van leidingen en installaties als gasfornuizen. Groen gas is een gasmengsel dat kan worden geproduceerd uit waterstof of biomassa dat is opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit. Vanwege de hoge kosten en beperkte beschikbaarheid wordt groen gas in deze studie alleen ingezet indien andere opties zijn uitgeput.

3 Case studie gemeente Utrecht: verzameling lokale informatie

3.1 Inleiding

3.1.1 Vraagstelling van de gemeente

De gemeente Utrecht wil in 2030 klimaatneutraal zijn (Dit was de situatie in 2017, de nieuwe coalitie van 2018 noemt geen jaartal maar 'zo spoedig mogelijk (Utrecht 2018)). De CO₂-uitstoot (inclusief van transport en industrie) van Utrecht wordt voor één derde veroorzaakt door het verwarmen van huizen en gebouwen met aardgas (inclusief de stadsverwarming). Ook gebruiken gebouwen op dit moment relatief veel warmte door een lage isolatiegraad en installaties met een laag rendement. Om de doelstelling van de gemeente Utrecht te realiseren, is een omschakeling naar een duurzame warmte- en koudevoorziening nodig (Utrecht 2017). De gemeente heeft PBL gevraagd welke keuzemogelijkheden er zijn voor een dergelijke omschakeling. De onderzoeksvragen die wij in dit project proberen te beantwoorden zijn:

1. Wat zijn de kosten van isolatie en efficiënte installaties om energie te besparen in gebouwen;
2. Welke alternatieven voor aansluiting op het aardgasnet zoals stadsverwarming, warmtekoudeopslag en elektrische warmtepompen zijn mogelijk tegen zo laag mogelijke kosten;
3. In hoeverre worden de twee voorgaande vragen beïnvloed indien de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd.

Aanvullend wil de gemeente graag informatie die kan bijdragen aan een betere afweging per wijk.

De derde hierboven genoemde vraag over 'het verhogen van de energiebelasting op aardgas' is gesteld om erachter te komen met welke extra maatregelen het klimaatdoel 'rendabel' kan worden gehaald. De effecten geven inzicht in de bijdrage en kosten die de verschillende maatregelen kunnen leveren. In de analyse zijn hiertoe de consequenties van energiebesparing en uitbreiding van stadsverwarming integraal in beeld gebracht voor het gasgebruik, de CO₂-emissie en de kosten voor eindgebruikers. Het effect van de gasprijsverhoging kan echter ook met andere stimulansen worden bereikt zoals subsidies en verplichtingen. Het verhogen van de gasprijs staat in deze studie slechts symbool voor het rendabel maken van wat nu nog niet rendabel is. Het is niet bedoeld als evaluatie van een beleidsinstrument. Hierbij spelen veel meer aspecten zoals gedrags- en inkomenseffecten een belangrijke rol.

3.1.2 Het Vesta MAIS model: van nationaal naar regionaal

Om het Vesta MAIS model toe te passen voor Utrecht is extra lokale informatie verzameld.

Het model rekent zowel nationaal als regionaal en houdt standaard rekening met lokale omstandigheden door gebruik te maken van ruimtelijke gegevensbestanden op gebouwniveau zoals de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG), het gecertificeerde energielabel van gebouwen van RVO.nl en op gebiedsniveau de lokale aanwezigheid van warmtebronnen.

Een groot aantal kentallen gebruikt voor de berekeningen – zoals energiegebruik per type woning, energiebesparingspotentieel per maatregel, kosten voor installaties – representeren

veelal het gemiddelde voor heel Nederland. Om nationale analyses uit te voeren zijn deze 'gemiddelde' kentallen voldoende geschikt. Bij de start van dit project was het echter niet duidelijk of deze kentallen representatief zijn voor een specifieke lokale situatie (bijvoorbeeld een individuele gemeente) om een zinvolle/betrouwbare doorrekening uit te voeren met het Vesta MAIS model op lokaal niveau. In dit hoofdstuk wordt daarom aanvullende lokale informatie verzameld.

3.1.3 Doel informatieverzameling

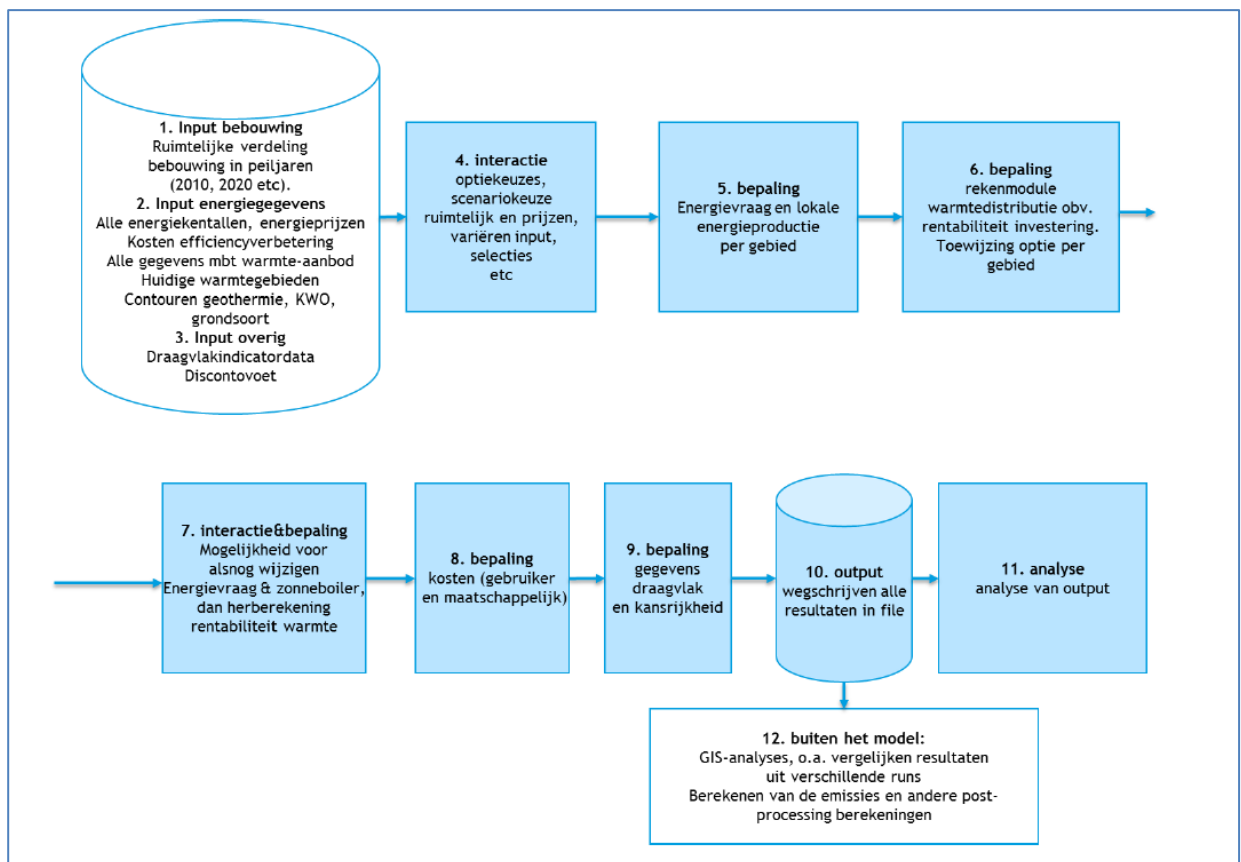
Het doel van het verzamelen van lokale informatie zoals de sloop- en nieuwbouwplannen en de kentallen van belang voor de mogelijkheden voor energiebesparing en –aanbodtechnieken binnen de gemeente Utrecht is om een betrouwbare doorrekening met het Vesta MAIS model uit te kunnen voeren.

3.1.4 Aanpak informatieverzameling

De informatieverzameling is gestart met het opstellen van een overzicht van de invoergegevens waaronder de kentallen die momenteel in het Vesta MAIS worden gebruikt. Dit is gedaan voor alle invoeronderdelen van het model zoals de bebouwing, de energievraag en het energieaanbod. Vervolgens is geanalyseerd welke invoergegevens nader onderzoek vergen omdat gebruikte kentallen mogelijk niet representatief zijn voor Utrecht. De analyse maakte gebruik van informatie van de gemeente - voor zover mogelijk en relevant - onderscheiden naar wijk, buurt of adres niveau op basis van de volgende informatiebronnen:

- Publiek beschikbare documenten en databronnen;
- Onderzoeken binnen de gemeente Utrecht;

Figuur 3.1 Schematisch stroomschema van het model (CE 2017)



- Informatie uit gesprekken met aantal expert op dit gebied binnen de gemeente Utrecht.

De invoergegevens zijn ingedeeld in drie categorieën:

1. Ongewijzigd: Kentallen waarvoor het gemiddelde voor heel Nederland eveneens de situatie in Utrecht goed weer geeft.
2. Specifiek Utrecht: Kentallen waarvoor gereede aanwijzingen/bewijzen zijn dat deze voor Utrecht afwijken van de informatie die in het Vesta MAIS model al aanwezig is en waarvoor redelijk eenvoudig alternatieve databronnen beschikbaar zijn.
3. Specifiek Utrecht o.b.v. expert inschatting: Kentallen waarvoor gereede aanwijzingen/bewijzen zijn dat deze voor Utrecht afwijken van de informatie die in het Vesta MAIS model al aanwezig is en waarvoor geen alternatieve databronnen beschikbaar is.

3.2 Model en invoergegevens¹

Figuur 3.1 geeft een overzicht van de type invoergegevens en de wijze waarop deze gegevens zijn gebruikt in het model. Het model onderscheidt drie blokken invoergegevens: bebouwing, energiegegevens en overig.

In de onderstaande tabellen is voor deze blokken aangegeven welke invoergegevens worden gebruikt, in hoeverre deze bruikbaar/representatief zijn voor Utrecht en wat potentieel betere informatiebronnen zijn. Voor het blok energiegegevens zijn er twee tabellen: één voor de energievraag en één voor het energieaanbod.

Tabel 3.1 Blok input bebouwing

Invoergegevens/kental	Bron Vesta	Extra lokale informatie
Dominant type woning en bouwjaarperiode op adresniveau	BAG bestanden	Geen aanpassing. Data al specifiek voor Utrecht.
Gegevens over sloop/nieuwbouw/inbreiding woningen	Ruimtescanner/WLO scenario's	<p>Specifieke gegevens over nieuwbouw, sloop en renovatie o.b.v.</p> <p>Meerjaren Perspectief Stedelijk Ontwikkeling² met aanvullende informatie uit:</p> <p>Prestatieafspraken met woningbouwcorporaties met overzicht nieuwbouw, sloop, vervanging op wijk/adresniveau³</p> <p>Overzicht panden met transformatiepotentie⁴</p>

¹ Overzicht gemaakt op basis van twee bronnen: 1) CE (2017) Functioneel ontwerp Vesta 3.0. CE Delft, december 2017 en 2) PBL (2012) Vesta ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving Data en methoden. PBL, Den Haag, April 2012.

² [Meerjaren Perspectief Stedelijk Ontwikkeling](#) Het Meerjaren Perspectief Stedelijk Ontwikkeling (MPSO) geeft overzicht van de ruimtelijke ontwikkelingsprojecten in Utrecht wat betreft zowel woningbouw- en commercieel vastgoedprojecten als openbare ruimteprojecten. Voor de relevante bouwprojecten is per locatie aanvullende informatie verzameld over o.a. aantal woningen, type bouw, type utiliteitsbouw en aantal m2 (verzameld februari/maart 2017).

³ Gedetailleerde bestanden over sloop/nieuwbouw/renovatie van woningen op adresniveau (productieprogramma) door woningbouwcorporaties Mitros, Bo-Ex, Portaal en SSH (Email Martin Wisselink maart 2017)

⁴ Overzicht van panden in Utrecht met transformatiepotentie. Dit kan zowel gaan om transformatie van utiliteit naar woningen als verandering van utiliteitsfunctie. <https://utrecht.dataplatform.nl/dataset/transformatiekaart> (download 17 februari 2017)

Invoergegevens/kental	Bron Vesta	Extra lokale informatie
Omvang utiliteitbouw onderscheiden naar type (m ² bvo)	BAG bestanden	Geen aanpassing. Data al specifiek voor Utrecht.
Utiliteit: groei/krimp toekomstige voorraad	Ruimtescanner/WLO scenario's	Meerjaren Perspectief Stedelijke Ontwikkeling (zie voetnoot 2) Overzicht panden met transformatiepotentie (zie voetnoot 4)
Omvang glastuinbouw		Is voor Utrecht geen relevante sector

Tabel 3.2 Blok input energiegegevens: energievraag

Invoergegevens/kental	Bron Vesta MAIS	Extra lokale informatie
Warmtevraag per woning: ruimteverwarming & tapwater & warmtecapaciteit	WoON-enquête & schalen totaal o.b.v. CBS/NEV	Data uit WoON-enquête voor Utrechtse respondenten ⁵ . Vergelijking Utrechtse gegevens met gegevens uit Energie in Beeld ⁶ .
Elektriciteitsvraag per woning	Nibud: gemiddeld verbruik pp per huishouden	Idem Vergelijking maken van Utrechtse gegevens met gegevens uit Energie in Beeld
Potentie van isolatiemaatregelen woningen (schilverbeteringen naar label B, tussenlabel en label A+) & installatie	WOON-enquête & schalen totaal o.b.v. CBS/NEV	Data uit WoON-enquête voor Utrechtse respondenten (zie BIJLAGE 1)
Kosten van isolatiemaatregelen woningen (schilverbeteringen naar label B, tussenlabel en label A+) & installatie	RVO.nl/voorbeeldwoningen	Geen aanpassing. Landelijke kosten zijn representatief voor Utrecht
Energievraag elektriciteit & gas per type utiliteitsbouw (energiegebruik/m ²) & warmtecapaciteit	Energiekompas Agent-schapNL	Vergelijking Utrechtse gegevens met gegevens uit Energie in Beeld.
Potentie van isolatiemaatregelen utiliteit (schilverbeteringen naar label B, tussenlabel en label A+) & installatie		Geen aanpassing. Landelijke kosten zijn representatief voor Utrecht
Kosten van isolatiemaatregelen (schilverbeteringen naar label B, tussenlabel en label A+) & installatie		Geen aanpassing. Landelijke kosten zijn representatief voor Utrecht

⁵ Vergelijking van de resultaten van de WoON-enquête van heel Nederland met de resultaten van Utrecht laat zien dat de resultaten voor Utrecht significant afwijken voor een aantal woningtypen en bouwperiodes. Op basis van deze analyse is de invoer voor Utrecht aangepast (zie Bijlage 1).

⁶ Vergelijking is niet mogelijk geweest (zie Bijlage 1).

Tabel 3.3 Blok input energiegegevens: energieaanbod

Invoergegevens/kental	Bron Vesta MAIS	Extra lokale informatie
Gegevens huidige rest- c.q. aftapwarmtebronnen: omvang, locatie, CO ₂ emissiefactor	PBL, CE	Bestand bevat 3 punten bronnen voor Utrecht. CO ₂ emissiefactor Utrechtse stadsverwarming: 40 kg/GJ warmte geleverd bij de eindverbruiker (EOR 125%)
Kosten van rest- c.q. aftapwarmtebronnen.	CE (2016)	Inventarisatie beschikbaar van Greenvis ⁷
Gegevens over potentiële warmtebronnen: rest- c.q. aftapwarmte (inclusief LT bronnen zoals RWZI), biomassa (boiler & bio-WKK), power-to-heat, warmtebuffers	Deels CE (2016)	Provincie Utrecht kaart met restwarmtebronnen ⁸ Routekaart verduurzaming warmtenet Utrecht ⁹
Kosten potentiële warmtebronnen: rest- c.q. aftapwarmte (inclusief LT bronnen zoals RWZI), biomassa (boiler & bio-WKK), power-to-heat, warmtebuffers	idem	Zie studie Greenvis (zie voetnoot 7) Zie kaarten provincie (zie voetnoot 10, kaart met potentie restwarmtebronnen)
Potentie voor diepe en ultradiepe Geothermie		Zie kaarten provincie (voetnoot 8)
Kosten voor diepe en ultradiepe Geothermie		Zie kaarten provincie (voetnoot 8)
Contourbestanden met bodemgeschiktheid voor geothermie (potentie)	TNO	Zie kaarten provincie (voetnoot 8)
Bodemgeschiktheid voor WKO (potentie)	Warmteatlas RVO (2012)	Zie kaarten provincie (voetnoot 8)
Potentie van zon-PV woningen en utiliteit		Zonneatlas bevat geen extra informatie bruikbaar voor het model ¹⁰
Kosten voor zon-PV woningen en utiliteit		Geen aanpassing voor Utrecht, wijkt niet af van NLs gemiddelde
Potentie van zonneboilers woningen en utiliteit	Berekend o.b.v. voorbeeldwoningen en beschikbaar dakoppervlak utiliteit	Voor Utrecht zijn geen specifieke gegevens beschikbaar
Kosten voor zonneboilers woningen en utiliteit		Geen aanpassing voor Utrecht, wijkt niet af van NLs gemiddelde

⁷ Greenvis (2016) Kansenkaart warmte Provincie Utrecht. Beschrijving afwegingskader kansenkaart warmte (studie is niet openbaar)

⁸ <https://webkaart.provincie-utrecht.nl/viewer/app/Webkaart> (page view 15 januari)

⁹ <https://online.ibabs.eu/ibabsapi/publicdownload.aspx?site=utrecht&id=2fafcfee-0cbc-48f2-bcb4-6fa65351451c>

¹⁰ <http://www.zonatlas.nl/utrecht/>

Invoergegevens/kental	Bron Vesta MAIS	Extra lokale informatie
Potentie elektrische warmtepompen en micro-WKK	Inzet op basis van energieprijzen en investeringskosten van elektrische warmtepompen en micro-WKK	Geen aanpassing voor Utrecht, wijkt niet af van NLs gemiddelde
Kosten elektrische warmtepompen en micro-WKK		Geen aanpassing voor Utrecht, wijkt niet af van NLs gemiddelde

Tabel 3.4 Blok input overige gegevens

Invoergegevens/kental	Bron Vesta MAIS	Extra lokale informatie
Aantal km gas, elektriciteit & warmte-infrastructuur	CE (2017)	Specifieke data gasnet en vervangingsdata beschikbaar via Stedin Open Data ¹¹ GIS data over ligging van warmtenetwerk worden door Eneco aangeleverd
Graaddagencorrectie grid 100 x 100 m	KNMI	Geen aanpassing nodig voor Utrecht.
Kosten/prijzen energie	WLO scenario's	NL gemiddelde ook representatief voor Utrecht
Kosten prijzen CO ₂	WLO scenario's	Geen aanpassing nodig voor Utrecht

3.3 Conclusies

Analyse van de invoergegevens voor het Vesta MAIS model laten voor Utrecht zien dat:

- Invoer ten aanzien van de type bebouwing voor het basisjaar goed overeenkomt met de lokale situatie in Utrecht.
- Ten aanzien van de toekomstige ontwikkeling in omvang en type bebouwing voor Utrecht specifiekere/gedetailleerdere informatie beschikbaar is over locaties en tijdspad dan in de WLO scenario's. Deze gegevens zijn in het model ingevoerd.
- De warmtevraag per woning volgens gegevens uit de WoON-enquête in Utrecht voor aantal woningtype en bouwjaar maar weinig afwijkt van het Nederlandse gemiddelde. De aangepaste warmtevraag voor Utrecht is evengoed in het model opgenomen.
- Voor Utrecht geen specifieke gegevens beschikbaar zijn over potentieel voor energiebesparing op gebouwniveau en kosten van maatregelen. Kosten en potentiële gebruikt voor Nederland lijken echter ook goed bruikbaar voor Utrecht.
- Voor Utrecht specifiekere informatie beschikbaar is over het aanbod van verschillende (duurzame) energiebronnen afkomstig van regionale studies en dan tot nu toe gebruikt in

¹¹ <https://www.stedin.net/zakelijk/open-data/gasvervangingsdata>

het Vesta MAIS model. Evenals voor de energiebesparingsopties zijn voor de energieaanbod-opties geen specifieke gegevens beschikbaar over kosten. Kosten en potentiële gebruikt voor Nederland lijken echter ook goed bruikbaar voor Utrecht.

Ten aanzien van het proces van gebruik van het MAIS-Vesta model voor Utrecht kan worden geconcludeerd dat:

- Het verzamelen van specifieke gegevens over de toekomstige bouwontwikkeling (omvang en type bebouwing) een relatief tijdsintensieve activiteit was. Gegevens over nieuwbouwprojecten, plannen van woningbouwcorporaties etc. waren niet op een centrale plek binnen de gemeente beschikbaar, maar moesten worden verzameld bij en via verschillende contactpersonen en databronnen. Verder was er nog een stap nodig om de beschikbare gegevens in een format te zetten dat geschikt was voor gebruik in het Vesta MAIS model.
- Voor het verzamelen van specifieke gegevens over het potentiële aanbod van verschillende (duurzame) energiebronnen gebruik kon worden gemaakt van diverse studies en de potentiële die beschikbaar waren gesteld door de provincie. Deze gegevens behoeften geen extra bewerkingsslag vanuit de gemeente.
- Het verkrijgen van meetgegevens van het gerealiseerde energiegebruik op gebouwniveau uit de database van Energie in Beeld was onvoldoende om een goede vergelijking met de Vesta MAIS gegevens op gebouwniveau te doen. Wel zijn geaggregeerde energiegebruiken verkregen maar vanwege definitieverschillen zijn deze slecht bruikbaar voor een vergelijking met de Vesta MAIS gebruikte waarden van het energiegebruik op gebouwniveau. De analyse om de modelwaarden te vergelijken met de gerealiseerde waarden is daardoor mislukt ondanks dat er veel tijd aan is besteed. Het Vesta MAIS model heeft daarom met de nationaal gemiddelde waarden gerekend.
- Het PBL heeft een aantal sessies belegd om:
 - Helder te krijgen welke gegevens het Vesta MAIS model nodig heeft om zinvolle resultaten te kunnen produceren op lokaal niveau;
 - Resultaten te bespreken van de doorrekening met Utrechtse specifieke data versus data standaard aanwezig in het Vesta MAIS model voor Utrecht;
 - Kennis te nemen van de mogelijke resultaten en output die door het Vesta MAIS model gegenereerd kunnen worden en in te kunnen gaan op de wensen en informatiebehoefte van de gemeente;
 - Specifieke beleidsvarianten te formuleren voor Utrecht voor doorrekening met het Vesta MAIS model;
 - De resultaten van deze doorrekening te bespreken, alsmede de betekenis en bruikbaarheid van de resultaten voor Utrecht.

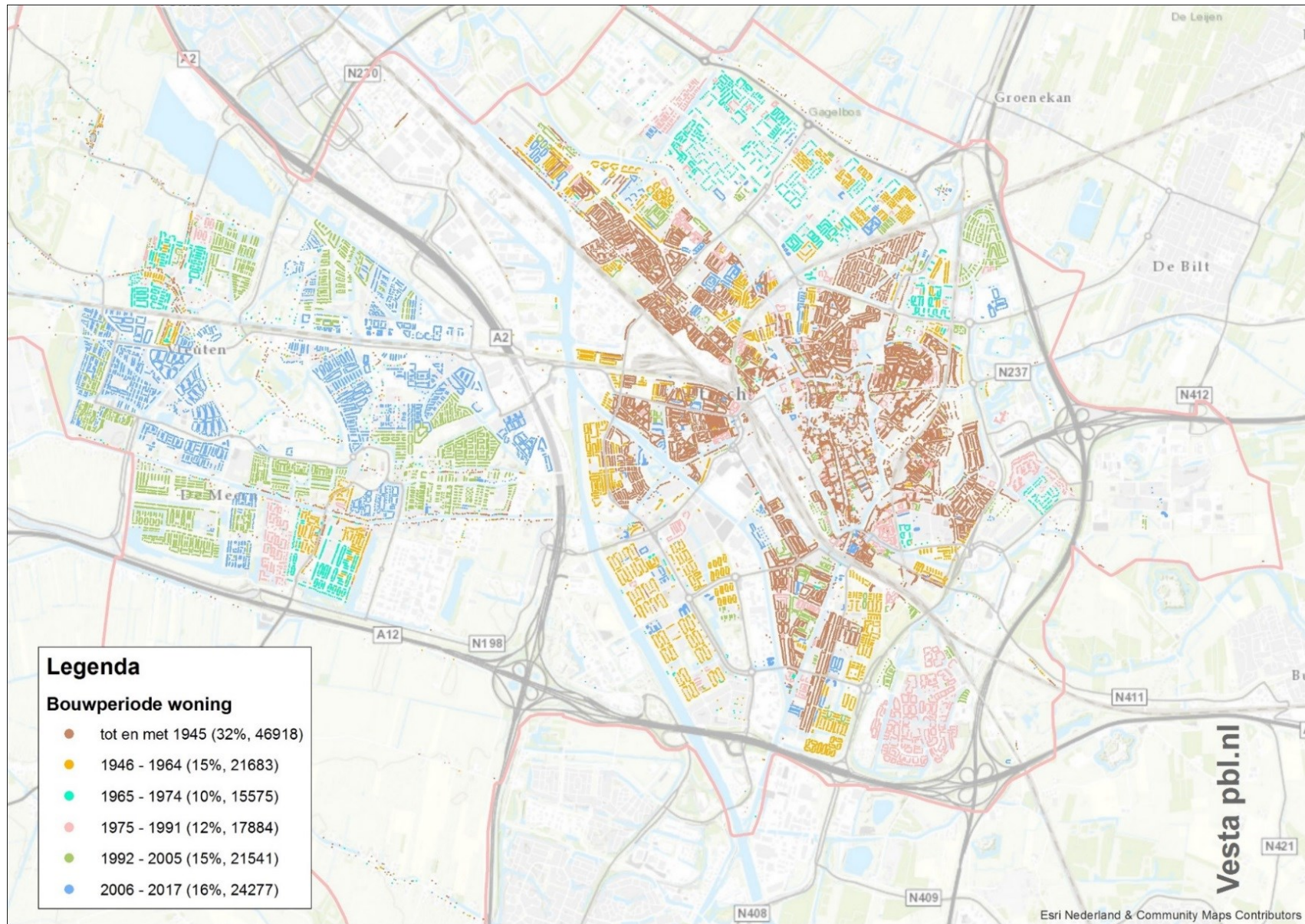
4 Uitgangspunten doorrekening Utrecht

4.1 Ruimtelijke componenten

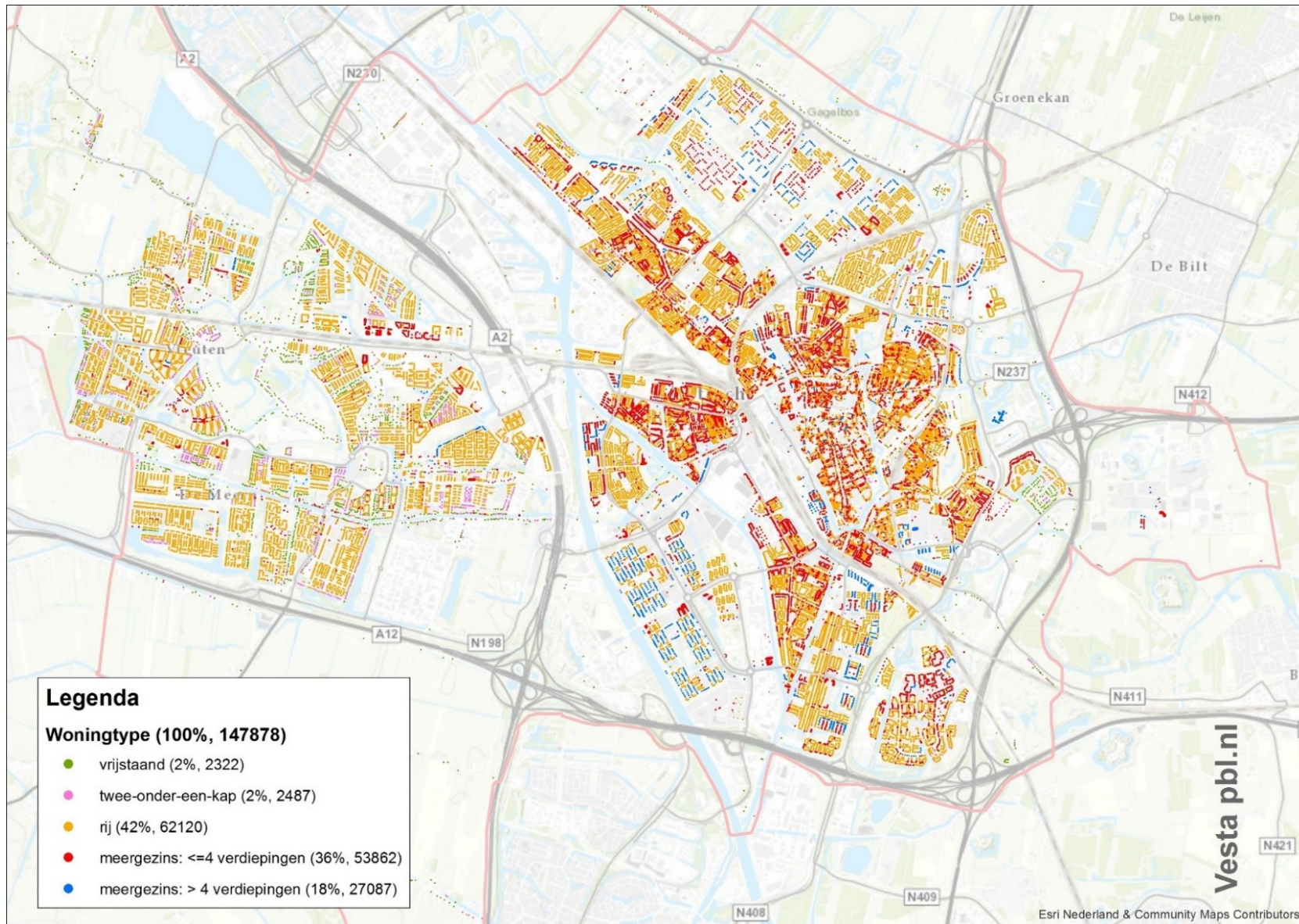
4.1.1 BAG

Voor de BAG-data van Utrecht wordt uitgegaan van de BAG op 01-01-2017 (BAG 2017), waarbij een uitsnede van de BAG is gemaakt voor Utrecht. In het startjaar zijn er dan 147878 woningen in Utrecht, en 6604139 m² utiliteit. De woningen zijn ingedeeld in type woningen en bouwperiodes zoals beschreven in hoofdstuk 2. De ligging van de woningen staan in figuur 5.1 en 5.2. De meest voorkomende woningcombinaties van type en bouwperiode staat in figuur 5.3. De gecertificeerde energielabels van RVO en de geschatte energielabels staan en in figuur 5.4. In de figuren 5.5 tot en met 5.8 wordt voor verschillende wijken de samenstelling naar bouwperiode, woningtype en energielabel getoond. Hieruit wordt duidelijk dat de samenstelling sterk kan verschillen op wijkniveau.

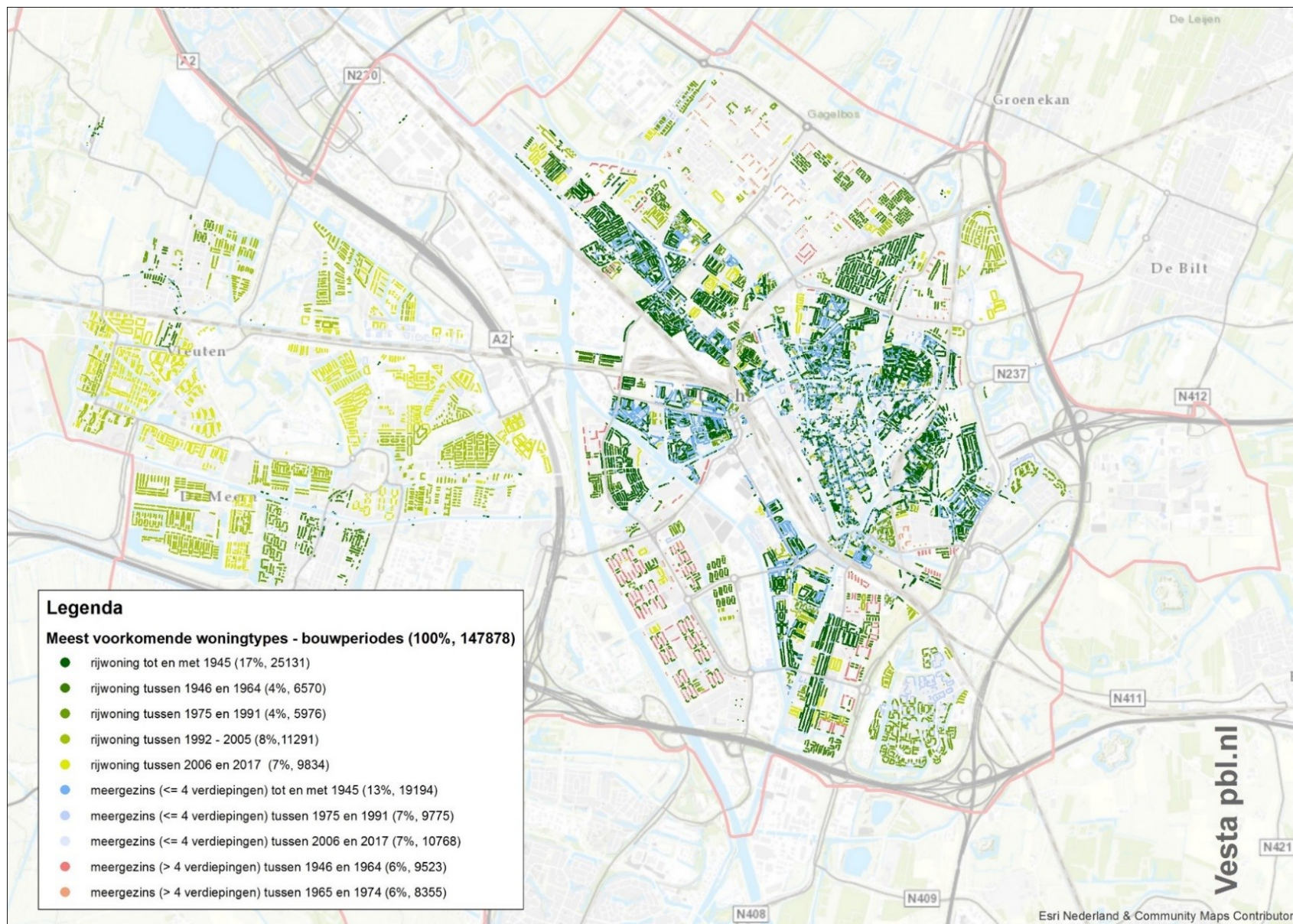
Figuur 5.1 Bouwperiode woningen



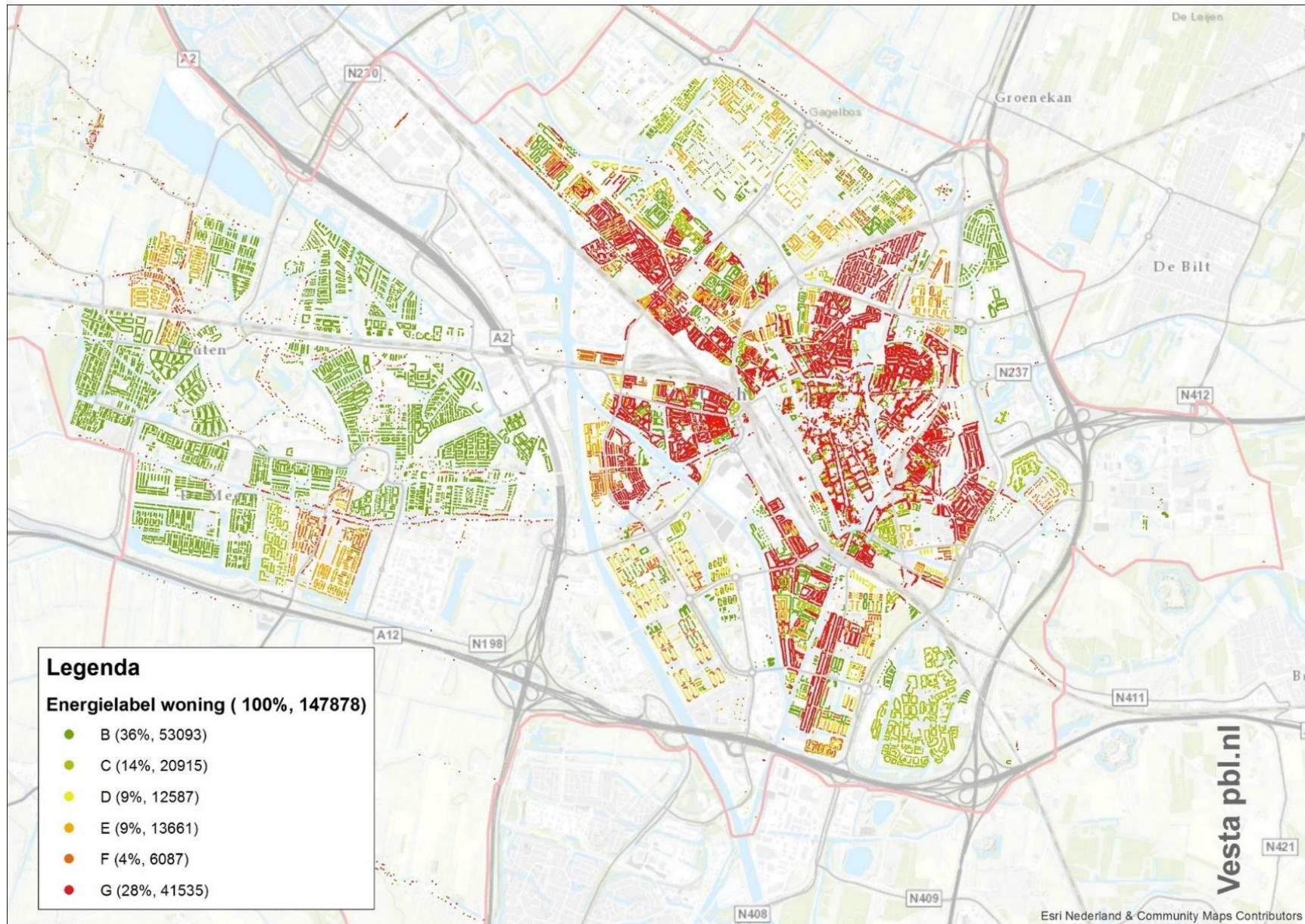
Figuur 5.2 Woningtype



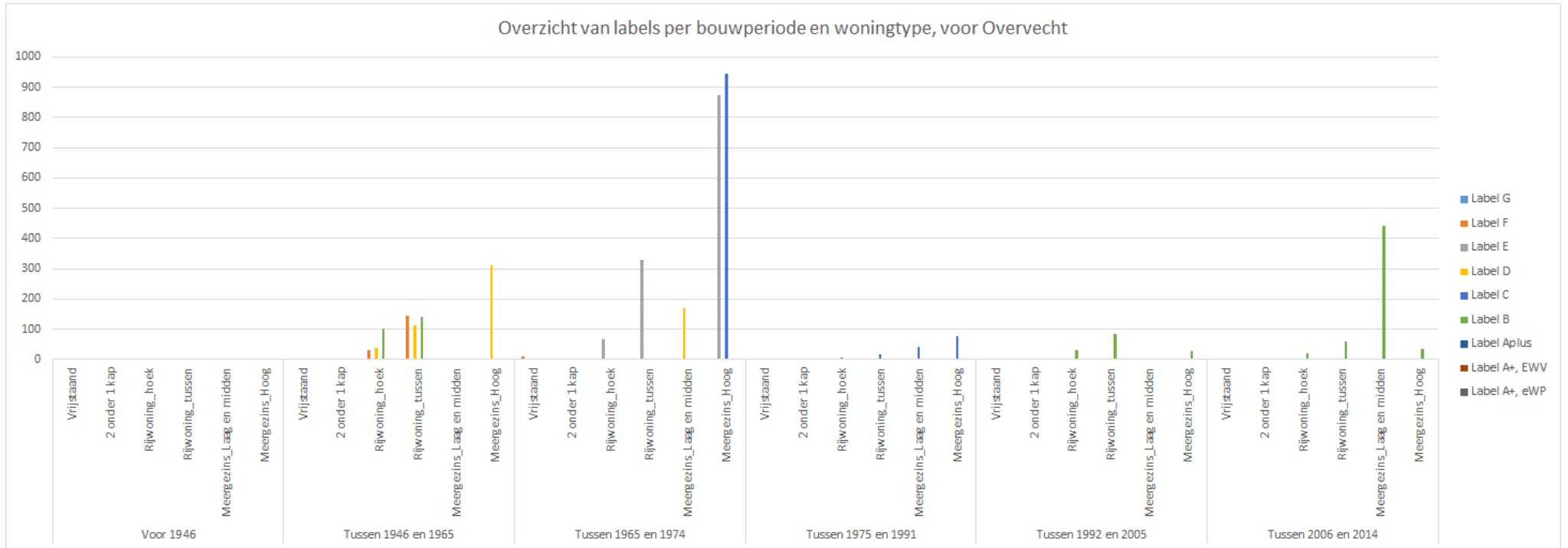
Figuur 5.3 Meest voorkomende woningtypes – bouwperiodes



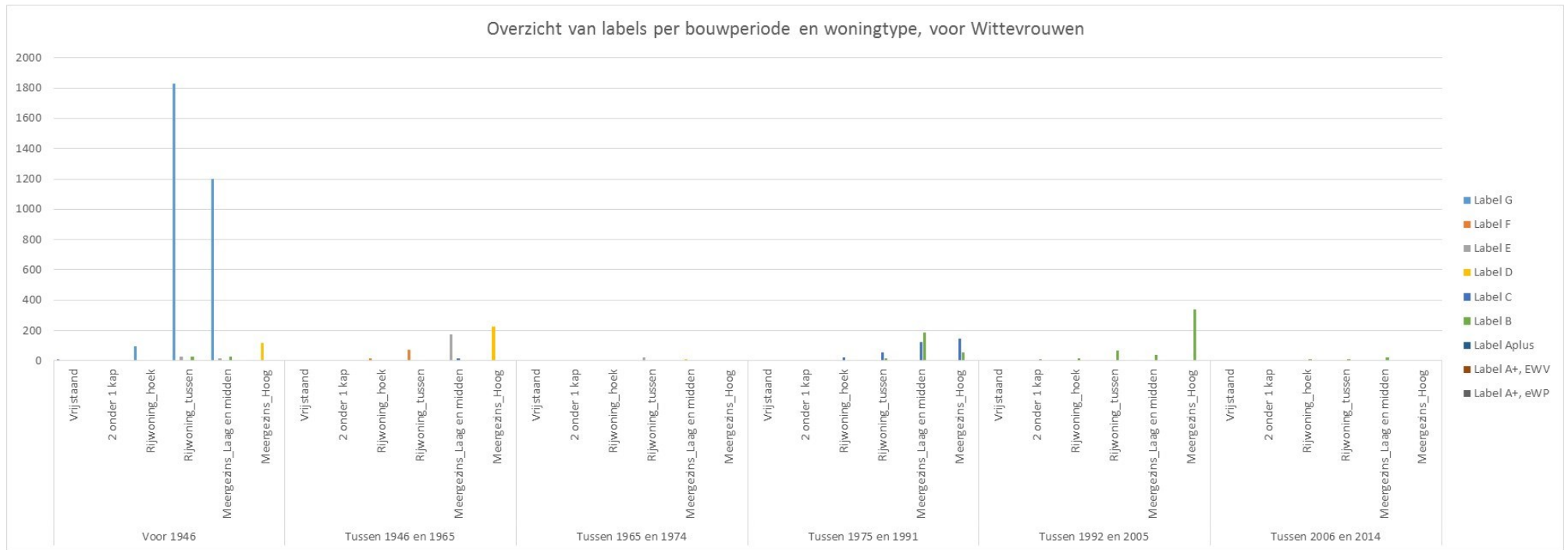
Figuur 5.4 Energielabel woningen



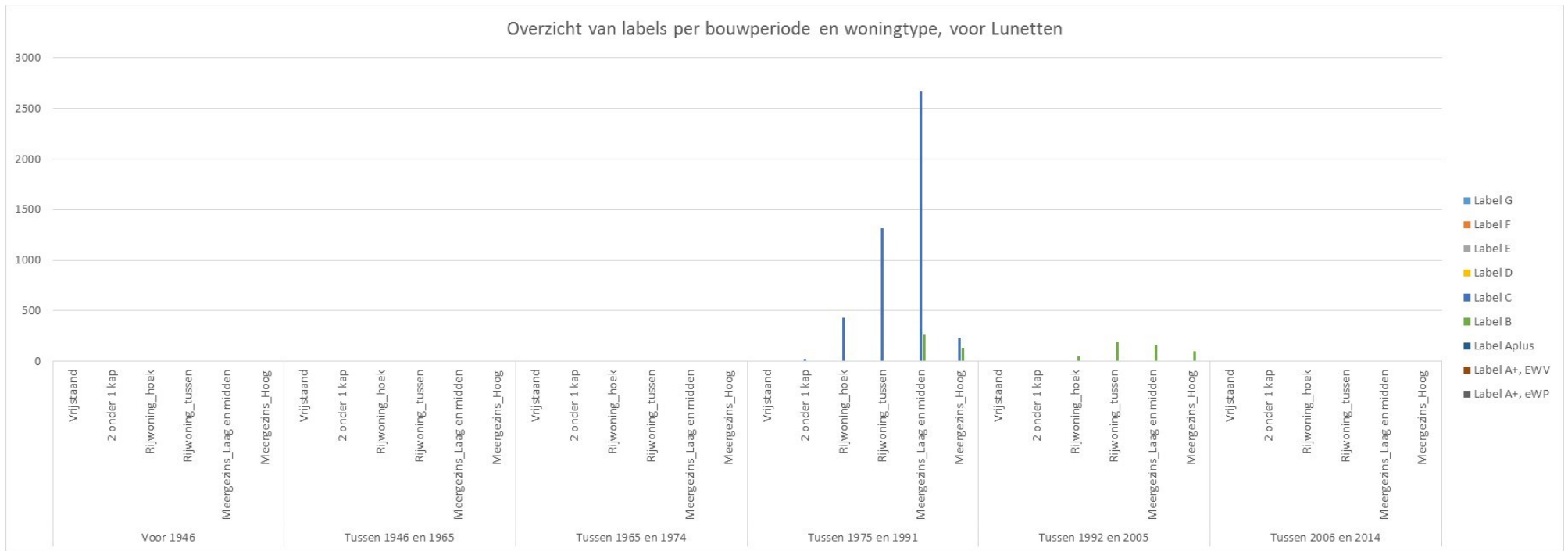
Figuur 5.5 Samenstelling naar bouwperiode, type en energielabel van de wijk Overvecht



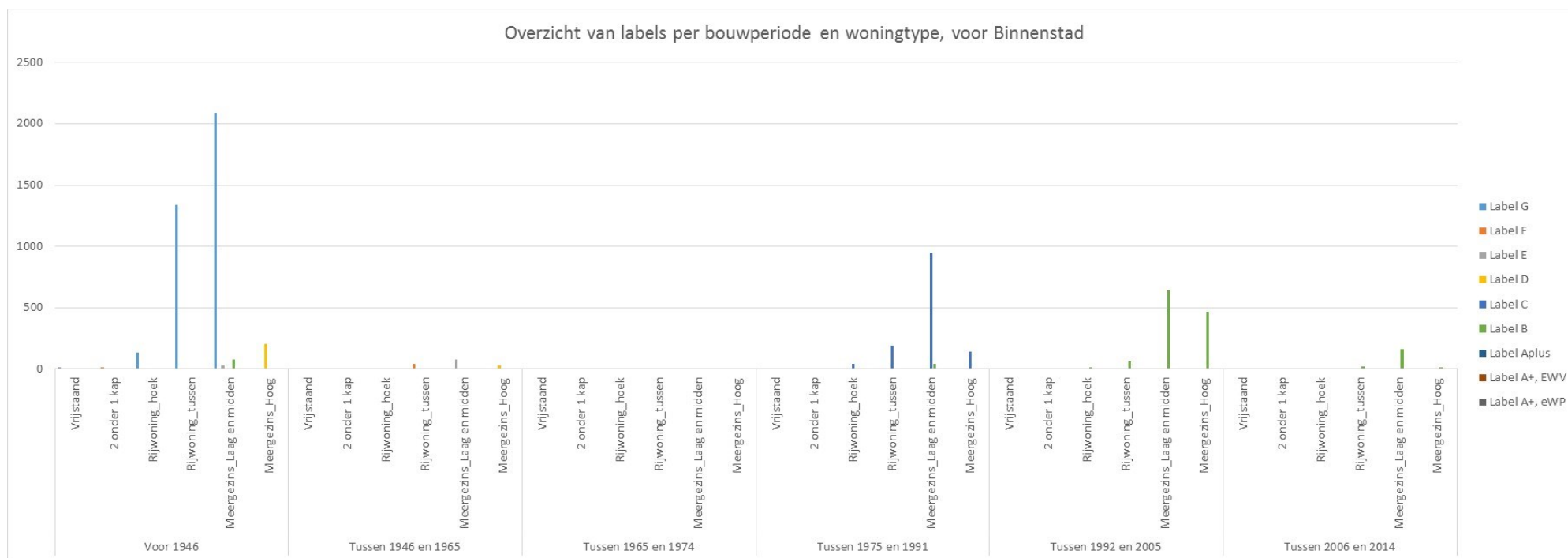
Figuur 5.6 Samenstelling naar bouwperiode, type en energielabel van de wijk Wittevrouwen



Figuur 5.5 Samenstelling naar bouwperiode, type en energielabel van de wijk Lunetten



Figuur 5.5 Samenstelling naar bouwperiode, type en energielabel van de wijk Binnenstad



4.1.2 Toekomstige ontwikkeling bebouwing Utrecht

- Voor de ruimtelijke ontwikkeling tot 2020 zijn gegevens verzameld van geplande nieuwbouwprojecten waarbij de volgende gegevens dienden als invoer voor het Vesta MAIS model:
 - o Coördinaten (Lengte- en breedte graad)
 - o Aantal woningen
 - o Type woningen
 - o Hoeveelheid m2 utiliteitsbebouwing
 - o Type utiliteitsbebouwing
 - o Grote renovatie/Nieuwbouw
- Deze nieuwbouw wordt binnen Vesta MAIS geplaatst in grid-cellen van 100*100 meter. Utrecht wordt dus verdeeld in grids van 100*100, waarbij per cel wordt aangegeven wat er gesloopt of nieuw gebouwd wordt.
- Het is mogelijk om deze gebouwen in toekomstige analyses te verdelen over verschillende grid-cellen die eromheen liggen.
- Verzamelde informatie over de ontwikkeling van bevolking/bebouwing na 2020 voor Utrecht is niet ruimtelijk specifiek genoeg om te kunnen gebruiken in het model. Daarom is besloten de ruimtelijke ontwikkeling na 2030 niet mee te nemen.
- Dit resulteert in het volgende kwantitatieve overzicht van de sloop/nieuwbouw voor Utrecht:
 - o Sloop woningen tot 2020: 1333 woningen
 - o Sloop utiliteit tot 2020: 12209 m2
 - o Nieuwbouw woningen tot 2020: 18351 woningen
 - o Nieuwbouw utiliteit tot 2020: 196025 m2
 - o Totaal hoeveelheid woningen 2020: 164896 woningen
 - o Totale hoeveelheid utiliteit 2020: 6787955 m2

4.2 Energievraag en -maatregelen

Speciaal voor deze analyse is de energievraag van woningen in Utrecht opnieuw bepaald (zie ook paragraaf 4.3.1). De energievraag van woningen en utiliteitsgebouwen komt overeen met de CBS cijfers voor Utrecht in 2015. Voor de energiemaatregelen worden dezelfde uitgangspunten en berekeningsmethoden gehanteerd als voor een berekening van heel Nederland. Dit wordt beschreven in hoofdstuk 2 van de algemene beschrijving van het Vesta MAIS model (Wijngaart 2017).

De energievraag van woningen gebaseerd op de data voor Nederland uit WoON 2012 is vergeleken met de data voor Utrecht uit WoON 2012. Dit levert de volgende resultaten:

- Het gemiddelde energieverbruik (1315 m³/jaar) voor alle woningtypen ligt in Utrecht ongeveer 14% lager dan voor heel Nederland. Dit verschil wordt veroorzaakt door een andere samenstelling van woningtype en bouwperiode in Utrecht dan gemiddeld in Nederland.
- Ook is een vergelijking gemaakt van de woningen van hetzelfde woningtype en bouwperiode. Het bleek dat hierbij slechts kleine verschillen waren in het energiegebruik van Utrecht vergeleken met heel Nederland, zie hiervoor de toelichting bij tabel 4.1.
- De Utrechtse energiegebruiken per woningtype en bouwperiode van WoON 2012 zijn geschaald met dezelfde schaalfactor (0,78) die wordt gebruikt om het verbruik van de woningen in Nederland te schalen op het landelijk sectortotaal volgens de NEV 2015 (Wijngaart, 2017). De investeringskosten van de gebouwmaatregelen zijn met dezelfde factor geschaald. Dit betekent dat het energiegebruik en de investeringskosten met 22% zijn verlaagd om op de CBS cijfers uit te komen. Er zijn diverse oorzaken voor de overschatting onder andere omdat de BAG meer objecten van de gebouwde omgeving bevat dan er volgens de CBS cijfers zijn, er gebouwen leeg staan, het CBS het energiegebruik overschat en de Voorbeeldwoningen het energiegebruik onderschatten (zie ook PBL 2012).
- De resulterende energiekentallen zoals deze gebruikt zijn voor de doorrekening van Utrecht staan in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Functionele energievraag van warm water en ruimteverwarming voor woningcategorieën (woningtype en bouwperiode) in Utrecht met relatieve afwijking ten opzichte van Nederland (bron: WoON2012).

		Warmtevraag		Relatieve afwijking Utrecht t.o.v. NL %
		Warmwater	Ruimte-verwarming	
		GJ/jaar	GJ/jaar	
vrijstaand	voor 1946	6.6	58.9	-0.1%
vrijstaand	1946 - 1964	6.6	58.9	-0.1%
vrijstaand	1965 - 1974	7.2	59.7	-0.1%
vrijstaand	1975 - 1991	6.7	47.1	-11.8%
vrijstaand	1992 - 2005	7.3	40.3	-11.8%
vrijstaand	2006 - 2014	7.3	41.0	-11.8%
<hr/>				
2 onder 1 kap	voor 1946	5.9	45.7	-0.1%
2 onder 1 kap	1946 - 1964	5.9	45.7	-0.1%
2 onder 1 kap	1965 - 1974	6.4	45.1	-0.1%
2 onder 1 kap	1975 - 1991	5.6	33.1	-11.8%
2 onder 1 kap	1992 - 2005	5.9	28.6	-11.8%
2 onder 1 kap	2006 - 2014	5.9	28.4	-11.8%
<hr/>				
rijwoning tussen	voor 1946	5.3	34.4	-5.1%
rijwoning tussen	1946 - 1964	5.1	35.1	3.4%
rijwoning tussen	1965 - 1974	6.8	40.9	19.4%
rijwoning tussen	1975 - 1991	5.8	29.0	1.0%
rijwoning tussen	1992 - 2005	6.3	26.8	4.3%
rijwoning tussen	2006 - 2014	6.7	31.0	11.4%
<hr/>				
rijwoning hoek	voor 1946	5.3	34.4	-5.1%
rijwoning hoek	1946 - 1964	5.1	35.1	3.4%
rijwoning hoek	1965 - 1974	6.8	40.9	19.4%
rijwoning hoek	1975 - 1991	5.8	29.0	1.0%
rijwoning hoek	1992 - 2005	6.3	26.8	4.3%

rijwoning hoek	2006 - 2014	6.7	31.0	11.4%
meergezins: laag en midden	voor 1946	4.0	22.5	2.7%
meergezins: laag en midden	1946 - 1964	4.6	21.8	11.0%
meergezins: laag en midden	1965 - 1974	4.8	22.5	11.2%
meergezins: laag en midden	1975 - 1991	4.3	18.3	-1.2%
meergezins: laag en midden	1992 - 2005	4.7	19.6	4.6%
meergezins: laag en midden	2006 - 2014	4.5	20.8	1.2%
meergezins: hoog	voor 1946	4.8	22.2	9.8%
meergezins: hoog	1946 - 1964	4.5	20.8	9.8%
meergezins: hoog	1965 - 1974	4.9	20.2	2.9%
meergezins: hoog	1975 - 1991	3.4	15.6	-20.6%
meergezins: hoog	1992 - 2005	3.7	12.7	-20.6%
meergezins: hoog	2006 - 2014	3.7	15.8	-20.6%

Toelichting bij tabel 4.1

De vergelijking van de resultaten van WoON2012 gemiddeld landelijk verbruik met de Utrechtse steekproef levert de volgende conclusies:

- Het totale gasgebruik van Utrecht gebaseerd op de landelijk gemiddelde cijfers komt vrijwel geheel overeen met de Utrechtse steekproef. De afwijking is -1%
- Van de 19 beschouwde combinatie categorieën woningtype/bouwperiode wijkt het gasgebruik van 6 combinaties met 10% of meer af ten opzichte van de Utrechtse steekproef. (Deze 6 combinaties vertegenwoordigen 24% van het totale gasgebruik.) De grootste afwijkingen zijn een onderschatting van 19% bij rijwoningen gebouwd tussen 1965 en 1974 en een overschatting van 21% bij meergezinswoningen met meer dan 4 verdiepingen gebouwd na 1975.

Er is niet getoetst of de verschillen tussen Utrecht en NL significant zijn. Er is alleen getoetst of er in Utrecht 'voldoende' waarnemingen per woningtype/bouwperiode zijn. Omdat er voldoende waarnemingen zijn per woningtype/bouwperiode zijn op basis van deze analyse de invoergegevens voor Utrecht aangepast.

De energievraag van woningen in het Vesta MAIS model is ook vergeleken met de database van Energie in Beeld (EiB). In de verkregen data van Energie in Beeld zat echter veel 'ruis' omdat voor de categorie kleinverbruik(ers) geen onderscheid gemaakt kon worden tussen woningen en utiliteitsgebouwen. Er zaten verschillen tussen het aantal aansluitingen in de EiB data en Vesta MAIS data per PC06 gebied om de volgende redenen:

- In sommige PC06 gebieden zaten meer aansluitingen in EiB dan in Vesta MAIS doordat er ook utiliteitsgebouwen met een G4 of G6 aansluiting in het databestand van EiB zitten;

- In sommige andere PC06 gebieden zaten minder aansluitingen in EiB dan in Vesta MAIS doordat in EiB alleen gasaansluitingen zaten en in Vesta MAIS zowel de gas- als de aansluitingen op stadsverwarming waren meegenomen;
- In de EiB data worden in de PC06 gebieden ook aansluitingen meegenomen waar het gasgebruik alleen nodig is om te koken maar niet voor ruimteverwarming;
- Verder zat er een verschil in het aantal PC06 gebieden gerekend tot het gebied Utrecht, dit is meer een opletpuntje over wat wel/niet tot de gemeente gerekend wordt.

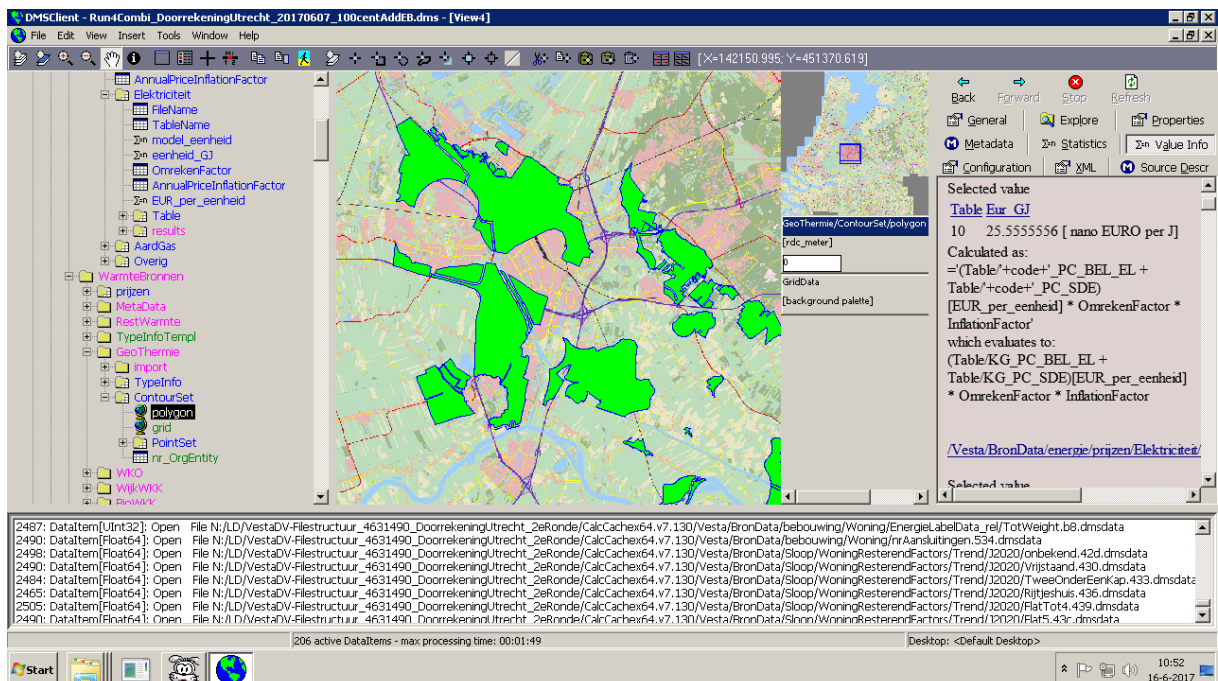
Al met al waren de geaggregeerde energiegebruiken verkregen uit de EiB database vanwege definitieverschillen slecht bruikbaar voor een vergelijking met de Vesta MAIS gebruikte waarden van het energiegebruik op gebouwniveau. Uit de analyse om de modelwaarden te vergelijken met de gerealiseerde waarden konden daardoor geen betrouwbare conclusies worden getrokken.

4.3 Gebiedsopties

4.3.1 Geothermie

Voor Geothermie maken we gebruik van het regionale bestand dat door de provincie Utrecht beschikbaar is gesteld (Greenvis 2016). De contour zoals gebruikt in Vesta MAIS staat in figuur 4.1.

Figuur 4.1 Screenshot van de geografische user interface (GUI) van het Vesta model met de contour van geothermie in Utrecht (bron: Greenvis 2016).

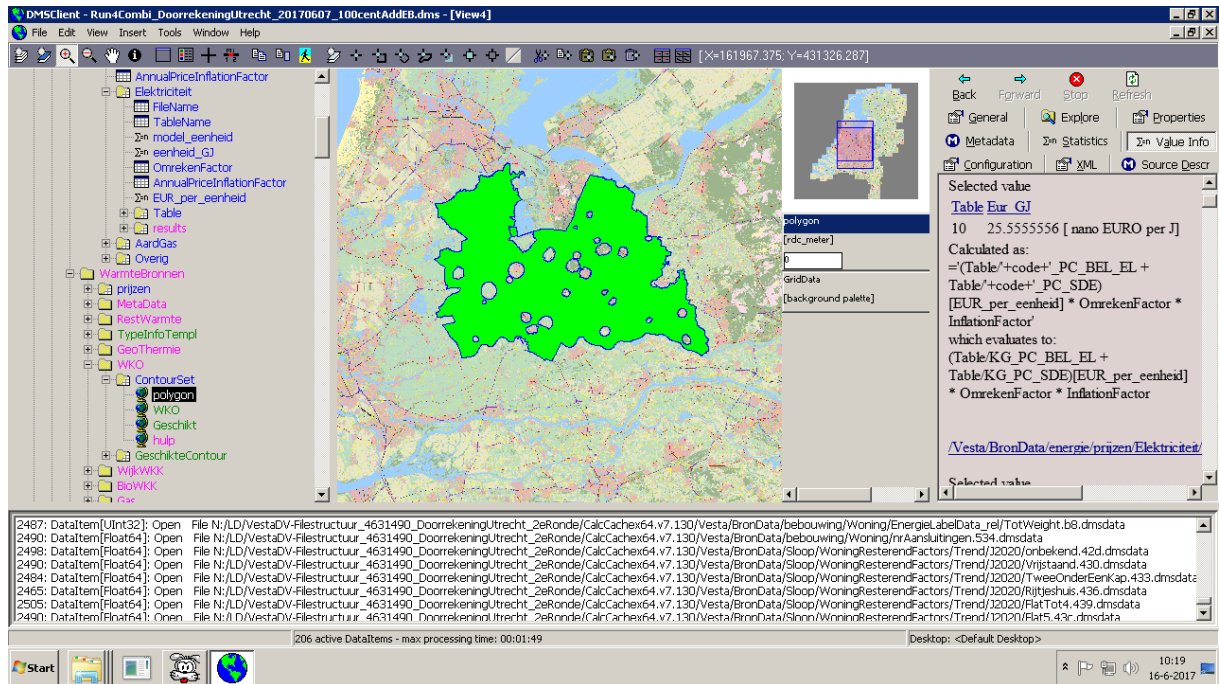


4.3.2 WKO

Naast de conventionele mogelijkheden op hoge temperatuur, zijn kleinschalige lokale warmtesystemen met lagere temperaturen mogelijk. Lage temperatuurbronnen zijn bijvoorbeeld restwarmte van koelprocessen van datacenters, supermarkten en ijsbanen, riool- en oppervlaktewater en warmtebuffering in gebouwen en de ondergrond. In de huidige versie van

Vesta MAIS wordt dit nog gestileerd samengevat met een warmtekoudeopslag systeem voor de levering van warmte en koude. Voor WKO maken we gebruik van het landelijke bestand voor WKO (RVO, 2017), waarbij gebieden met een andere functie zoals de drinkwatergebieden worden weggelaten (PBL, 2017). De contour zoals gebruikt in Vesta MAIS staat in figuur 4.2.

Figuur 4.2 Screenshot van de geografische user interface (GUI) van het Vesta MAIS model met de contour van WKO in Utrecht (bron: RVO 2017 en PBL 2017).



4.3.3 Puntbronnen voor warmtelevering

Om te komen tot het bestand met puntbronnen voor warmtelevering voor Utrecht zijn verschillende acties uitgevoerd.

De eerste stap is dat is gekeken welke puntbronnen van het nationale puntbronnenbestand in Utrecht liggen. Uit deze selectie komen 3 verschillende puntbronnen naar voren, namelijk:

- Gasgestookte WKC Lage Weide
- Gasgestookte WKC Merwede
- Gasgestookte WKC Vijfwal

Stap twee is het omzetten van de typering van de centrale Lage Weide van een gascentrale naar een Biomassacentrale (BMC). In Utrecht is in 2017 namelijk besloten dat een Biomassacentrale (BMC) de Lage Weide centrale deels gaat overnemen.

Stap drie is de aanpassing van de hoeveelheid CO₂/GJ geleverde warmte. In hoofdstuk 3 is aangegeven dat de gemiddelde CO₂ uitstoot per GJ geleverde warmte 40 kg CO₂/GJ is. Hierbij gaat het om de uitstoot in de keten van de bron tot aan het einde van de pijplijn. Deze uitstoot wordt overgenomen voor Vesta MAIS waarbij de uitstoot per puntbron wordt gecorrigeerd. In deze correctie zit het feit dat er ook emissies zijn gerelateerd aan de warmteproductie van de hulpwarmteketel tijdens piekvraagmomenten en warmteverlies in de leidingen, wat mee wordt genomen in de correctie van de CO₂ uitstoot per puntbron.

In stap vier wordt de capaciteit (uitgedrukt in het thermisch vermogen, eenheid MWth) voor deze puntbronnen aangepast. De reden hiervoor is dat deze puntbronnen in de bestaande situatie al leveren aan het huidige warmtenet in Utrecht. Het aangepaste vermogen geeft aan hoeveel extra capaciteit kan worden ingezet voor uitbreiding van het warmtenet.

De laatste stap voor de puntbronnen is het toevoegen van enkele industriële puntbronnen die nog niet waren opgenomen in het nationale puntbronnenbestand. Het gaat hierbij om de volgende puntbronnen:

- Asphaltcentrale
- Hulpwarmtecentrale Kanaleneiland
- Dichtersbaan
- Hulpwarmtecentrale ir. A.J. Mijnlief

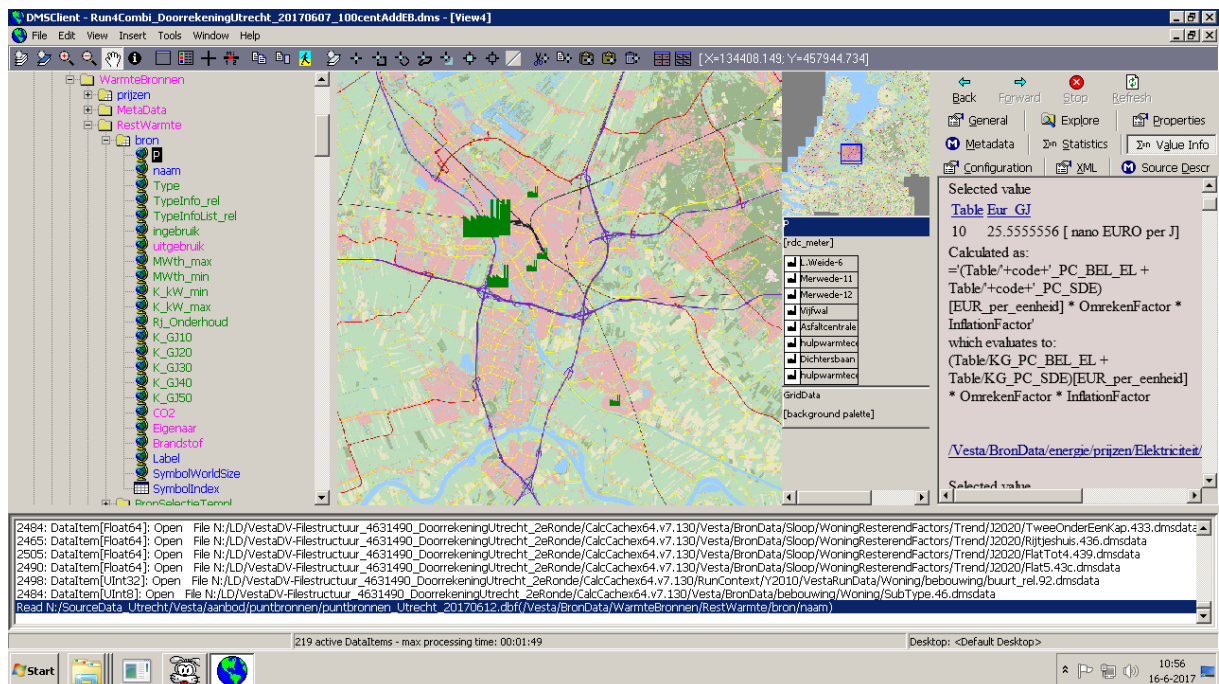
Enkele potentiële warmtebronnen waaronder die van de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) betreffen lage temperatuurbronnen en vallen onder de modellering van de WKO in de huidige versie van het Vesta MAIS model. In het totaal zijn acht puntbronnen opgenomen in de studie en in tabel 4.2 wordt weergegeven hoe deze verdeeld zijn over Utrecht.

Tabel 4.2 Warmtecentrales stadsverwarming Utrecht

Naam centrale	Type puntbron		MWth_max [MW]		CO ₂ [kgCO ₂ /GJ warmte]	
	Voor aanpas-sing	Na aanpas-sing	Voor aanpas-sing	Na aanpas-sing	Voor aanpas-sing	Na aanpassing
L.Weide-6	STEG	BMC	145.3	115.6	11.3	0.0
Merwede-11	STEG	STEG	60.6	48.2	11.3	25.1
Merwede-12	STEG	STEG	127.6	101.6	11.3	25.1
Vijfwal	Gasmotor	Gasmotor	5.0	5.0	70.3	70.3
Asfaltcentrale	n.a.	Industrie	n.a.	40.0	n.a.	0.0
Hulpwarmtecentrale Kanaleneiland	n.a.	Industrie	n.a.	4.0	n.a.	0.0
Dichtersbaan	n.a.	Industrie	n.a.	4.0	n.a.	0.0
Hulpwarmtecentrale ir. A.J. Mijnlief	n.a.	Industrie	n.a.	4.0	n.a.	0.0

n.a. = niet aanwezig

Figuur 4.3 Screenshot van de geografische user interface (GUI) van het Vesta MAIS model met warmtecentrales in Utrecht.



4.4 Volgorde gebiedsmaatregelen

Het Vesta MAIS model neemt per gebied een beslissing om gebouwen aan te sluiten op het warmte- en koudenet indien warmte- en koudelevering in de buurt rendabel is. Om te berekenen welke gebiedsoptie rendabel is wordt een voorkeursvolgorde aangehouden die de gebruiker zelf kan instellen. In deze studie is er voor gekozen om eerst te berekenen of stadsverwarming rendabel is op buurtniveau. Als dat niet het geval is wordt berekend of WKO rendabel is in de PC06 gebieden van de buurt. De koude wordt geleverd aan de utiliteit en aan woningen. In het model is standaard al een koudevraag opgenomen voor utiliteitsgebouwen. Voor woningen is standaard geen koudevraag opgenomen maar wordt de koudevraag wel geleverd indien er een WKO wordt toegepast. De koudelevering wordt dan gewaardeerd als comfortwinst.

4.5 Investeringskosten en leerfactoren

De investeringskosten van de maatregelen zijn zo goed mogelijk ingeschat op basis van de huidige situatie en daarnaast is geprobeerd om rekening te houden met toekomstige ontwikkelingen (Wijngaart 2017). Deze laatste worden gesimuleerd met leerfactoren.

Huidige investeringskosten

De huidige kosten van woningrenovatie zijn geïnventariseerd voor een individuele aanpak (particuliere eigenaar) en voor een projectmatige aanpak. De kosten voor een projectmatige aanpak zijn vaak aanzienlijk lager vanwege de schaalvoordelen. Dit levert minimale en maximale waarden voor de investeringskosten.

a) Huidige investeringskosten in het achtergrondbeeld

In de integrale doorrekening van gebouw- en gebiedsmaatregelen en in de berekening van de terugverdientijden in het achtergrondbeeld wordt gewerkt met de gemiddelde waarden.

b) Huidige investeringskosten in de gevoeligheidsberekening van terugverdientijden

De extreme waarden zijn gebruikt in een pessimistische en optimistische variant van de berekening van de terugverdientijd van energiebesparende renovaties van gebouwen.

Tabel 4.3 Huidige investeringskosten die zijn gebruikt voor de berekening van terugverdientijden van woningrenovaties in achtergrondbeeld en gevoeligheidsvarianten pessimistisch en optimistisch.

	Achtergrondbeeld	Pessimistisch	Optimistisch
Schillabelsprong B	Gemiddelde waarde	Maximale waarde	Minimale waarde
Schillabelsprong A+	Gemiddelde waarde	Maximale waarde	Minimale waarde
Warmtepomp	Gemiddelde waarde	Maximale waarde	Minimale waarde

Ook voor de gebiedsopties in het Achtergrondbeeld is uitgegaan van de gemiddelde waarden van de investeringskosten van de warmtebronnen en -netten (Wijngaart et al. 2017).

Leerfactoren

Al deze maatregelkosten kunnen in de toekomst veranderen door ontwikkelingen in materialenprijzen, arbeidskosten en productiviteit. Zo kunnen door innovaties de kosten voor bepaalde materialen dalen. De kosten kunnen echter ook toenemen, bijvoorbeeld door schaarste van grondstoffen en stijgende lonen. De ontwikkeling van de kosten kan worden weergegeven in zogenaamde leercurves. De basisgedachte van leercurves is dat de kosten dalen door het opdoen van ervaring met een technologie. De leercurves van maatregelen zijn in een eerdere studie (Leguijt 2013) geïnventariseerd voor een minimale en maximale waarde die het innovatiesucces en het opdoen van ervaring weerspiegelen in de loop van de tijd.

a) Leerfactoren in het achtergrondbeeld

In het achtergrondbeeld is gewerkt met de gemiddelde waarde van de leerfactor voor de woningrenovaties naar niveau midden en de gebiedsopties. Voor renovatieniveau hoog en de warmtepomp is voor een "voorzichtige" benadering gekozen. Hier is namelijk verondersteld dat het leren nog op gang moet komen omdat het om relatief nieuwe technologieën gaat waardoor de kosten in 2030 niet lager zijn dan de huidige kosten. Dit is in lijn met signalen uit de praktijk die aangeven dat de huidig gerealiseerde kosten veelal hoger zijn dan oorspronkelijk in het basisjaar van Vesta MAIS is aangenomen. Ook het aantal gerealiseerde renovaties van bijvoorbeeld de nul-op-de-meter woningen blijft achter bij de destijds verwachte ontwikkelingen van de Stroomversnelling.

Voor de warmtebronnen en -netten zijn de gemiddelde leerfactoren gebruikt van het jaar waarin het warmtenet voor het eerst rendabel is en wordt ingezet door het Vesta MAIS model. Meestal is dat 2020. Dat geldt ook voor het doublet en de netten van WKO. Voor de warmtepomp van de WKO-installatie is echter geen kostendaling aangenomen.

b) Leerfactoren in de gevoeligheidsanalyse van de terugverdientijden

Voor de berekening van de terugverdientijden van woningrenovaties in de pessimistische variant zijn de leerfactoren gelijk gesteld het Achtergrondbeeld. We zullen later zien dat de terugverdientijden in de pessimistische variant toch slechter zijn dan in het achtergrondbeeld. Dit komt door de lagere energieprijzen in de pessimistische variant. In de optimistische variant is voor alle renovatiemaatregelen uitgegaan van de meest gunstige waarde van de leercurve in 2030.

Tabel 4.4 Leerfactoren die zijn gebruikt voor de berekening van terugverdientijden van woningrenovaties in het achtergrondbeeld en de gevoeligheidsvarianten pessimistisch en optimistisch (100 is geen daling; x is x% van de initiële investeringskosten).

Renovatie naar	Achtergrondbeeld	Pessimistisch	Optimistisch
Midden	93	93	72
Hoog	100	100	58
Hoog+warmtepomp	100	100	58

4.6 Energieprijzen

Voor de energieprijzen is gebruik gemaakt van de studie Welzijn en Leefomgeving 2015 (WLO 2015) met een actualisatie van de energiebelasting zoals deze was vastgesteld in 2017 en een schatting van de opslag voor Duurzame Energie zoals voorzien in de Nationale Energieverkenning 2016 (NEV 2016).

a) Energieprijzen in de integrale doorrekening

De energieprijzontwikkeling van de groothandelprijs van fossiele brandstoffen, biomassa, elektriciteit en de CO₂-prijs die van toepassing is op de elektriciteitssector is overgenomen van de studie Welzijn en Leefomgeving (PBL & CPB, 2015). De in 2017 vastgestelde energiebelastingen zijn constant gehouden in het achtergrondbeeld in de gehele periode tot en met 2030. De opslag duurzame energie is tot en met 2030 overgenomen uit de Nationale Energieverkenningen 2016 (NEV 2016). Bovenstaande uitgangspunten resulteren in de energieprijzen van het kleinverbruik zoals weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 4.5 Energieprijzen kleinverbruik inclusief BTW die zijn gebruikt voor de integrale doorrekening van het achtergrondbeeld (prijzen in euro2010).

	2015	2020	2030
Aardgas (euro/m ³)	0,68	0,76	0,72
Elektra (euro/kWh)	0,19	0,22	0,26

De doorrekening met het Vesta MAIS model heeft plaatsgevonden in het voorjaar van 2017. Dit was nog voordat de energieprijzen bekend waren van de Nationale Energieverkenning 2017 (NEV 2017) die in het najaar van 2017 uitkwam. Ter vergelijking zijn hieronder de energieprijzen van de NEV 2017 weergegeven.

Tabel 4.6 Energieprijzen kleinverbruik inclusief BTW volgens de Nationale Energieverkenning 2017 (prijzen in euro2010).

	2015	2020	2030
Aardgas (euro/m ³)	0,54	0,62	0,83
Elektra (euro/kWh)	0,19	0,18	0,20

b) Energieprijzen in de berekening van de terugverdientijden

Voor de berekening van de terugverdientijden in het Achtergrondbeeld is uitgegaan van de energieprijzen in het jaar 2030 volgens het scenario WLO Hoog. In de pessimistische variant is uitgegaan van de veel lagere aardgasprijs gerealiseerd in 2015 (NEV 2017) terwijl in de optimistische variant gebruik is gemaakt van de substantieel hogere aardgasprijs in 2030 volgens het scenario WLO Laag. De elektriciteitsprijzen zijn in beide varianten lager dan in het Achtergrondbeeld.

Tabel 4.7 Energieprijzen kleinverbruik inclusief BTW die zijn gebruikt voor de berekening van de terugverdientijden (prijzen in euro2010).

	Achtergrondbeeld	Pessimistisch	Optimistisch
Bron	Prijzen in 2030 volgens WLO Hoog	Prijzen in 2015 volgens NEV2017	Prijzen in 2030 volgens WLO Laag
Aardgas (euro/m ³)	0,72	0,55	0,88
Elektra (euro/kWh)	0,26	0,19	0,23

4.7 CO₂-emissiefactor

Voor de elektriciteit die wordt ingekocht van de elektriciteitssector wordt uitgegaan van de gemiddelde CO₂-emissiefactor van het nationale elektriciteitsverbruik volgens de Nationale energieverkenning (NEV 2017). Deze neemt sterk af in de periode tot 2030. Bij realisatie van het klimaatdoel uit het regeerakkoord zal de gemiddelde emissiefactor echter nog lager zijn.

De CO₂-emissie van stadsverwarming neemt af omdat de warmteproductie van de in 2015 aardgasgestookte STEG centrale Lage Weide-6 deels wordt overgenomen door de biomassacentrale in 2030. Bij (sterke) uitbreiding van de warmtenetten wordt verondersteld dat de warmte afkomstig is van geothermie waarnaar de gemeente Utrecht naast andere bronnen momenteel onderzoek laat doen. Bij de uitbreiding van de warmtenetten neemt de CO₂-emissie wel toe van de hulpwarmteketel van stadsverwarming als de warmtelevering toeneemt omdat er is verondersteld dat deze nog wel wordt gestookt op aardgas. Dit is een

conservatieve schatting. Door een ander ontwerp van het warmtenet en de inzet van alternatieve warmtebronnen zoals biomassa, lage temperatuur warmtebronnen en hoge temperatuur warmtepompen kan de CO₂-emissie van hulpwarmteketels mogelijk tot nul worden gereduceerd.

4.8 Rekenvarianten

4.8.1 Achtergrondbeeld en varianten met verhoging van de energiebelasting op aardgas

Er zijn drie integrale doorrekeningen gedaan:

- Achtergrondbeeld: referentie met energieprijzen in 2030 conform scenario WLO Hoog;
- Achtergrondbeeld met verhoging energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³;
- Achtergrondbeeld met Verhoging energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³.

4.8.2 Terugverdientijd energiebesparing woningen

Terugverdientijd van energiebesparing van woningen zijn bepaald voor renovaties van het huidige niveau naar:

- renovatieniveau midden (schillabel B);
- renovatieniveau hoog (schillabel A+);
- renovatieniveau hoog met elektrische warmtepomp.

Dit is gedaan voor de energieprijzen van het Achtergrondbeeld en de verhogingen van de energiebelasting op aardgas.

4.8.3 Terugverdientijd energiebesparing Utrechtse wijken

De terugverdientijd van energiebesparing is tevens bepaald voor het gemiddelde van woningen per wijk voor renovaties van het huidige niveau naar:

- renovatieniveau midden;
- renovatieniveau hoog.

Voor het huidige niveau is daarbij onderscheid gemaakt naar slecht, matig en midden. Evenals in de vorige paragraaf is dit gedaan voor de energieprijzen van het Achtergrondbeeld en de verhogingen van de energiebelasting op aardgas.

4.8.4 Varianten energiebesparing en verhoging van de energiebelasting op aardgas

Een integrale doorrekening is gedaan voor varianten waarbij alle gebouwen naar de niveau's uit paragraaf 4.9.2 worden gerenoveerd met energieprijzen van het Achtergrondbeeld en de verhogingen van de energiebelasting op aardgas.

4.8.5 Gevoeligheidsanalyses

Voor verschillende factoren is nagegaan in hoeverre de gekozen uitgangspunten van invloed zijn op de terugverdientijden, potentiëlen en kosten van de opties. De eerste gevoeligheidsanalyse beschouwt de terugverdientijd van renovatie van woningen met optimistische en pessimistische uitgangspunten omtrent toekomstige investeringskosten en energieprijzen. Een tweede analyse kijkt naar het effect op het potentieel van maatregelen indien energiebesparing en stadsverwarming in een andere volgorde worden genomen (en berekent). Ook is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de volgorde van de inzet van stadsverwarming en WKO. Tenslotte is beschouwd wat de terugverdientijd is van de hybride warmtepomp indien deze wordt ingezet als alternatief voor renovatie van de schil en de elektrische warmtepomp.

5 Resultaten

5.1 Achtergrondbeeld en varianten met verhoging van de energiebelasting op aardgas

5.1.1 Energiegebruik

Achtergrondbeeld

Het totale energiegebruik van gebouwen in de gemeente Utrecht bedraagt 9,5 PJ in 2015. Ruim 70 procent hiervan wordt gebruikt voor ruimteverwarming en warm water (6,7 PJ) en 30 procent is voor de elektra die wordt gebruikt door apparaten en verlichting (2,8 PJ). In onze analyse gaan we verder in op de warmtevoorziening. De warmtevoorziening bestaat voornamelijk uit aardgas (70%; 4,6 PJ) en stadsverwarming (30%; 2,1 PJ). De gebruikers onderscheiden we in woningen (70%; 4,8 PJ) en utiliteit (30%; 1,9 PJ).

In het achtergrondbeeld 2030 worden alle rendabele maatregelen van de warmtevoorziening getroffen. De totale warmtevraag vermindert door energiebesparingsmaatregelen ondanks de toename van het aantal gebouwen vooral woningen. Daarnaast zien we een verschuiving van aardgas naar warmtenetten. De totale energievraag blijft op hetzelfde niveau door een stijging van de elektriciteitsvraag. Door uitbreiding van gebieden met stadsverwarming neemt de warmtelevering via warmtenetten toe waardoor het gasgebruik extra afneemt.

De warmte van stadsverwarming wordt voor een deel (20%) geproduceerd door hulpwarmteketels om te voorzien in de piekvraag. Momenteel worden de hulpwarmteketels gestookt op aardgas. Het verbruik van de hulpwarmteketels is 0,6 PJ in 2015 en blijft - bij ongewijzigde uitgangspunten - (afgerond) hetzelfde in het achtergrondbeeld in 2030. In de toekomst kunnen de hulpwarmteketels echter een kleiner deel gaan leveren en worden ze verduurzaamd door over te gaan op biomassa of hoge temperatuur warmtepompen in combinatie met lage temperatuur warmtebronnen. Dit is echter niet meegenomen.

Voor de warmte- en koude levering door WKO verbruiken collectieve warmtepompen elektriciteit. De warmtelevering van WKO is onder de warmtenetten van stadsverwarming opgenomen. De inzet is echter beperkt in het achtergrondbeeld in 2030 (het extra elektra verbruik is 0,1 PJ).

Tabel 5.1 Energiegebruik gebouwde omgeving, gemeente Utrecht in 2015. Het energiegebruik is gesplitst naar het gebruik door de gebouwen en het gebruik van de hulpwarmteketel van de warmtenetten dat naast de warmte uit de warmtebronnen nodig is voor de warmtelevering aan de gebouwen.

	Woningen		Utiliteit		Totaal
	Bestaand	Nieuwbouw	Bestaand	Nieuwbouw	
	PJ/jaar	PJ/jaar	PJ/jaar	PJ/jaar	PJ/jaar
Warmtevoorziening	4,8	0	1,9	0	6,7
w.v. gas	3,5	0	1,1	0	4,6

w.v. warmtenet	1,3	0	0,8	0	2,1
Elektra	1,4	0	1,3	0	2,8
Totaal gebouwen	6,3	0	3,2	0	9,5
Hulpwarmteketel warmtenetten					0,6
Totaal gebouwde omgeving					10,0

Tabel 5.2 Energiegebruik gebouwen gemeente Utrecht, achtergrondbeeld 2030.

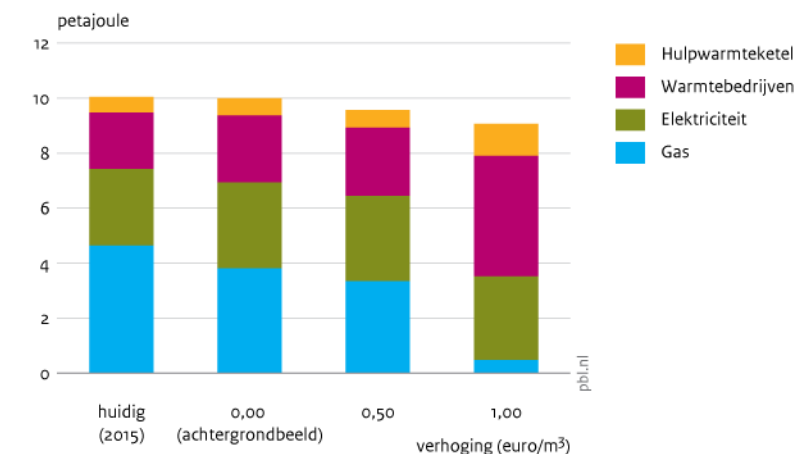
	Woningen		Utiliteit		Totaal
	Bestaand	Nieuwbouw	Bestaand	Nieuwbouw	
	PJ/jaar	PJ/jaar	PJ/jaar	PJ/jaar	PJ/jaar
Warmtevoorziening	4,2	0,4	1,7	0,0	6,3
w.v. gas	3,0	0,0	0,8	0,0	3,8
w.v. warmtenet	1,2	0,4	0,9	0,0	2,5
Elektra	1,4	0,2	1,3	0,1	3,1
Totaal metervraag	5,7	0,6	3,0	0,1	9,4
Hulpwarmteketel warmtenetten					0,6
Totaal gebouwde omgeving					10,0

Verhoging energiebelasting aardgas

Door de verhoging van de energiebelasting op aardgas wordt er meer energie bespaard dan in het achtergrondbeeld waardoor het gasgebruik afneemt. Daarnaast worden warmtenetten in meer gebieden rendabel waardoor het stoken op aardgas bij veel gebouwen wordt vervangen door het gebruik van warmte geleverd door warmtebedrijven. Dit is het meest extreem bij de verhoging van de energiebelasting op aardgas van 1,0 euro/m³. Door de energiesparing en de overgang naar warmtenetten daalt het aardgasgebruik van de gebouwen dan tot 11% van het gebruik in 2015. Er moet echter wel rekening mee worden gehouden dat de warmteproductie door de hulpwarmteketels toeneemt vanwege de grotere warmtelevering.

Figuur 5.5 Warmte en elektriciteitsvraag van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in de gemeente Utrecht in 2015 en in 2030: achtergrondbeeld en met verhoging van de energiebelasting op aardgas in 2030 in twee varianten.

Warmte- en elektriciteitsvraag bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2030



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2018

5.1.2 CO₂-emissie

Achtergrondbeeld

In het achtergrondbeeld neemt de CO₂-emissie die wordt veroorzaakt door de warmte- en elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving substantieel af (van 720 kton CO₂ in 2015 naar 410 kton CO₂ in 2030). Dit is voor het grootste deel het gevolg van een afname van de CO₂-emissie van elektriciteit ondanks de groei in het elektriciteitsverbruik die samenhangt met de uitbreiding van het aantal woningen en utiliteitsgebouwen. De afname van de CO₂-emissie van elektriciteit wordt veroorzaakt door de schonere landelijke productie van elektriciteit. In de analyse is voor de gebouwde omgeving in Utrecht uitgegaan van de gemiddelde CO₂-emissiefactor van het nationale elektriciteitsverbruik volgens de Nationale energieverkenning (NEV 2017). Bij realisatie van het klimaatdoel uit het regeerakkoord zal de gemiddelde emissiefactor nog vele malen lager zijn. In onze studie is geen aparte analyse gemaakt van de mogelijkheden om schone elektriciteit middels zon- en windenergie te produceren in Utrecht.

Daarnaast neemt – ondanks de groei van warmtenetten - de CO₂-emissie van stadsverwarming af omdat een deel van de de warmteproductie van de in 2015 aardgasgestookte STEG centrale Lage Weide-6 is overgenomen door de biomassacentrale in 2030.

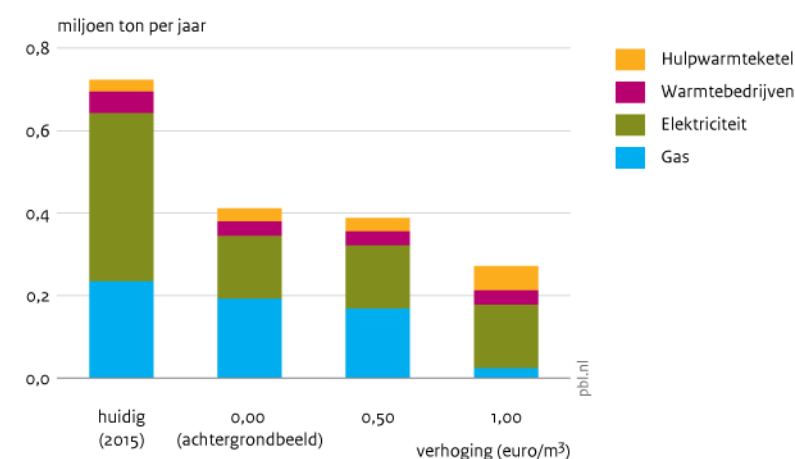
Verhoging van de energiebelasting op aardgas

Bij de verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ is de CO₂-emissie in 2030 iets lager dan in het achtergrondbeeld. Bij de verhoging van de energiebelasting met 1,0 eur/m³ is de CO₂-emissie in 2030 die samenhangt met de warmtevoorziening substantieel lager. Oorzaken zijn de uitgelokte energiebesparing en vooral de uitbreiding van de warmtenetten waarbij is verondersteld dat de warmte afkomstig is van geothermie. Geothermie is één van de potentieel grootste warmtebronnen naast restwarmte en oppervlaktewater waarnaar de gemeente Utrecht momenteel onderzoek laat doen. Wel

neemt de CO₂-emissie toe van de hulpwarmteketel omdat is verondersteld dat deze nog wel wordt gestookt op aardgas. Dit is een conservatieve schatting. Door een ander ontwerp van het warmtenet en de inzet van alternatieve warmtebronnen zoals biomassa, lage temperatuur warmtebronnen en hoge temperatuur warmtepompen kan de CO₂-emissie van hulpwarmteketels mogelijk tot nul worden gereduceerd. Hier zijn dan wel hogere kosten aan verbonden.

Figuur 5.6 CO₂-emissie van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in de gemeente Utrecht in 2015 en in 2030: achtergrondbeeld en met verhoging van de energiebelasting op aardgas in 2030 in twee varianten.

Emissie van CO₂ bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2030



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2018

5.1.3 Kosten

Achtergrondbeeld

De jaarlijkse kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving stijgen van 315 miljoen euro in 2015 tot 350 miljoen euro in het achtergrondbeeld in 2030. De toename van de kosten wordt veroorzaakt door de toename van het aantal woningen en utiliteitsgebouwen en van de energieprijzen in het achtergrondbeeld. Het totale energiegebruik blijft gelijk zoals we eerder zagen doordat de volumegroei van woningen en utiliteit wordt gecompenseerd door energiebesparing.

Verhoging van de energiebelasting op aardgas

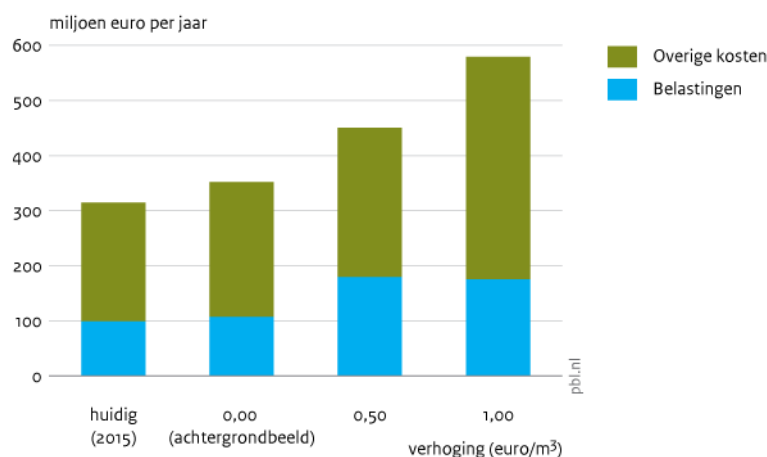
De jaarlijkse kosten stijgen tot 450 respectievelijk 580 miljoen euro in 2030 bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0,5 respectievelijk 1,0 euro/m³. Dit zijn de volledige kosten van het energiegebruik en de energiebesparingsmaatregelen. Hierbij worden de investeringen in de energiebesparingsmaatregelen afgeschreven over de levensduur van de maatregelen.

De belastingen bestaan uit de energiebelasting en de belasting over de toegevoegde waarde (btw). Bij de (tarief)verhoging van de energiebelasting op aardgas stijgen de uitgaven aan belastingen vergeleken met het achtergrondbeeld. Dit komt deels door hogere uitgaven aan energiebelasting indien het aardgasgebruik gelijk blijft of maar beperkt daalt en deels door

hogere uitgaven aan de btw die wordt betaald voor zowel de inkoop van energie als de energemaatregelen. Bij de verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³ vermindert het gasgebruik echter zodanig dat de uitgaven aan energiebelasting teruglopen maar dit wordt ruimschoots gecompenseerd door hogere uitgaven aan btw.

Figuur 5.7 Kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in de gemeente Utrecht in 2015 en 2030: achtergrondbeeld en met verhoging van de energiebelasting op aardgas in 2030 in twee varianten.

Kosten van eindgebruikers bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2030



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2018

5.2 Terugverdiëntijd energiebesparing woningen

Om energie te besparen moeten veelal forse investeringen worden gedaan. In deze paragraaf bezien we na hoeveel jaar de investering in energiebesparing van (alleen) woningen zich terugverdiënt. We beschouwen renovaties waarbij de schil van de bestaande woning wordt verbeterd tot energiebesparingsniveau 'midden' (schillabel B), 'hoog' (schillabel A+) en 'hoog met een elektrische warmtepomp'. In het laatste geval wordt de woning ook geschikt gemaakt voor een laag temperatuurafgiftesysteem dat nodig is voor ruimteverwarming met een elektrische warmtepomp. De terugverdiëntijd oftewel het aantal jaren waarin de investering zich terugverdiënt is gedefinieerd als de investering gedeeld door de jaarlijks gemiddelde vermeden energie-inkoopkosten (kosten voor de eindgebruiker dus inclusief energiebelasting). Indien verwarming met gas wordt vervangen door de elektrische warmtepomp wordt ook het vastrecht van de gasaansluiting uitgespaard.

In de tabel staan de 10 meest voorkomende woningcategorieën bestaande uit een combinatie van woningtype en bouwperiode. Het betreft rijwoningen uit 5 bouwperiodes; meergezinswoningen met maximaal 4 verdiepingen uit 3 bouwperiodes; en meergezinswoningen met meer dan 4 verdiepingen uit 2 bouwperiodes. Gezamenlijk vormen zij 79% van het totaal van de bestaande woningvoorraad in Utrecht (147.878 in 2017).

5.2.1 Renovatieniveau midden

Renovaties naar energiebesparingsniveau midden hebben een lange terugverdiëntijd bij energieprijzen in het achtergrondbeeld. In de tabel zien we namelijk dat de terugverdiëntijd ligt tussen ongeveer 25 en 70 jaar met uitzondering van één woningcategorie die een terugverdiëntijd heeft van meer dan 100 jaar. Voor veel eigenaren zal deze terugverdiëntijd te lang zijn om op basis van alleen een kostenafweging de renovatie uit te voeren hoewel de

technische levensduur van maatregelen in de meeste gevallen redelijk overeenkomt met de terugverdientijd. Bij de verhogingen van de energiebelasting op aardgas is de terugverdientijd korter. Hoe groter de verhoging, des te korter de terugverdientijd. Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 1,0 euro/m³ wordt de terugverdientijd van bijna alle woningcategorieën verkort tot ruwweg 10 tot 30 jaar. Structurele ingrepen zoals deze renovaties zullen voor een deel van de eigenaren zoals woningcorporaties vanuit kostenperspectief (enigszins) acceptabel zijn met dergelijke terugverdiertijden.

Tabel 5.3 Terugverdientijd (jaar) renovatiewoningen naar niveau midden

Woningtype	Bouw periode	Schillabel	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
			0,0	0,5	1,0
Rijwoning	t/m 1945	G	49	26	23
Rijwoning	1946 - 1964	F	24	13	11
Rijwoning	1975 - 1991	C	68	37	32
Rijwoning	1992 - 2005	B	nvt	nvt	nvt
Rijwoning	2006 - 2014	A	nvt	nvt	nvt
Meergezins <=4 verdiepingen	t/m 1945	G	25	14	12
Meergezins <=4 verdiepingen	1975 - 1991	C	100+	81	69
Meergezins <=4 verdiepingen	2006 - 2014	A	nvt	nvt	nvt
Meergezins > 4 verdiepingen	1946 - 1964	D	46	25	21
Meergezins > 4 verdiepingen	1965 - 1974	E	70	38	32

5.2.2 Renovatieniveau hoog

We beschouwen nu renovatieniveau hoog en beginnen met een vergelijking met het renovatieniveau midden. Renovaties naar het energiebesparingsniveau hoog hebben hogere investeringskosten maar besparen meer energie dan midden. Het effect hiervan op de terugverdientijd kan twee kanten op gaan. De terugverdientijd wordt langer als de extra investering maar (relatief) weinig extra energiebesparing oplevert. Andersom wordt de terugverdientijd korter als door de extra investering juist (relatief) veel energie wordt bespaard.

Energieprijzen van het achtergrondbeeld

Vergelijken we de terugverdientijd van midden en hoog bij energieprijzen in het achtergrondbeeld (dus zonder verhoging van de energiebelasting) dan zien we twee opmerkelijke effecten:

- 1) In de eerste plaats zien we een langere terugverdientijd van renovatieniveau hoog bij woningcategorieën die de kortste terugverdientijd hebben bij renovatieniveau midden. De woningcategorie 'rijwoning, 1946 – 1964' is hiervan een voorbeeld. De terugverdientijd van renovatieniveau hoog is 33 jaar terwijl die van midden 24 jaar is. Dit komt overeen met wat vaak intuïtief wordt verwacht: "Ingrijpende renovaties waarbij veel energie wordt bespaard zijn duur en de investering heeft een lange terugverdientijd". Echter, daarnaast zien we – net andersom – een kortere terugverdientijd van renovatieniveau hoog bij woningcategorieën die de langste terugverdientijd hebben bij renovatieniveau midden. De woningcategorie 'meergezinswoning meer dan 4 verdiepingen, 1965 – 1974' is hiervan een voorbeeld. De terugverdientijd van renovatieniveau hoog is 55 jaar en die van midden is 70 jaar. Dit komt overeen met een andere intuïtieve verwachting: "Structurele renovaties met hoge investeringskosten verdienen zich op de lange duur toch terug";
- 2) Het tweede opmerkelijke effect is een direct gevolg van het voorgaande. De spreiding van terugverdientijden tussen woningcategorieën is kleiner bij het energiebesparingsniveau hoog dan bij midden: namelijk 25 tot 70 jaar bij midden en 30 tot 55 jaar bij hoog (hierbij is de woningcategorie met de langste terugverdientijd niet meegenomen).

Uit het eerste effect kan de conclusie worden getrokken dat de keuze tussen renovatieniveau midden en hoog een kwestie van maatwerk is. Als de afweging wordt gebaseerd op de kortste terugverdientijd dan zal voor sommige woningcategorieën - met name rijwoning met bouwperiode 1946-1964 en meergezinswoning met vier of minder dan vier verdiepingen gebouwd voor 1946 - gekozen worden voor renovatieniveau midden. Voor andere woningcategorieën - met name rijwoning gebouwd tussen 1975 en 1991 en meergezinswoning hoger dan 4 verdiepingen gebouwd tussen 1965 en 1974 - wordt dan juist gekozen voor renovatiecategorie hoog.

Om maximale energiebesparing te realiseren die zich moet terugverdienen binnen een bepaalde periode kan uit het tweede effect een andere conclusie worden getrokken: de meeste energiebesparing wordt bereikt als alle woningen renovatieniveau hoog treffen indien de terugverdientijd niet langer is dan een bepaalde bovengrens. De bovengrens kan bijvoorbeeld 55 jaar zijn. Dan gaan alle woningen naar renovatieniveau hoog behalve 'meergezinswoningen met maximaal 4 verdiepingen, 1975 – 1991'. Een ander voorbeeld is een bovengrens van 36 jaar: in dat geval komen 4 van de 10 woningcategorieën in aanmerking voor renovatie naar hoog.

Verhoging van de energiebelasting op aardgas

Net als bij het renovatieniveau midden geldt ook voor renovatieniveau hoog dat de terugverdientijd korter wordt als de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd. De terugverdientijden van renovaties naar niveau hoog halveren zelfs bijna of helemaal bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0,5 respectievelijk 1,0 euro/m³. De terugverdientijd ligt dan tussen ongeveer 15 en 25 jaar voor alle woningcategorieën met uitzondering van één woningcategorie. Opvallend is dat deze spreiding van terugverdientijden van hoog binnen het spreidingsinterval, 10 tot 30 jaar, van midden ligt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de terugverdientijden van de meeste renovaties naar niveau hoog vergelijkbaar zijn met die van niveau midden bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³.

Tabel 5.4 Terugverdiëntijd (jaar) renovatiewoningen naar niveau hoog

Woningtype	Bouwperiode	Schillabel	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m3)		
			0,0	0,5	1,0
Rijwoning	t/m 1945	G	51	28	24
Rijwoning	1946 - 1964	F	33	18	15
Rijwoning	1975 - 1991	C	54	29	25
Rijwoning	1992 - 2005	B	41	22	19
Rijwoning	2006 - 2014	A	27	15	13
Meergezins <=4 verdiepingen	t/m 1945	G	36	20	17
Meergezins <=4 verdiepingen	1975 - 1991	C	73	40	34
Meergezins <=4 verdiepingen	2006 - 2014	A	30	16	14
Meergezins > 4 verdiepingen	1946 - 1964	D	47	25	22
Meergezins > 4 verdiepingen	1965 - 1974	E	55	30	25

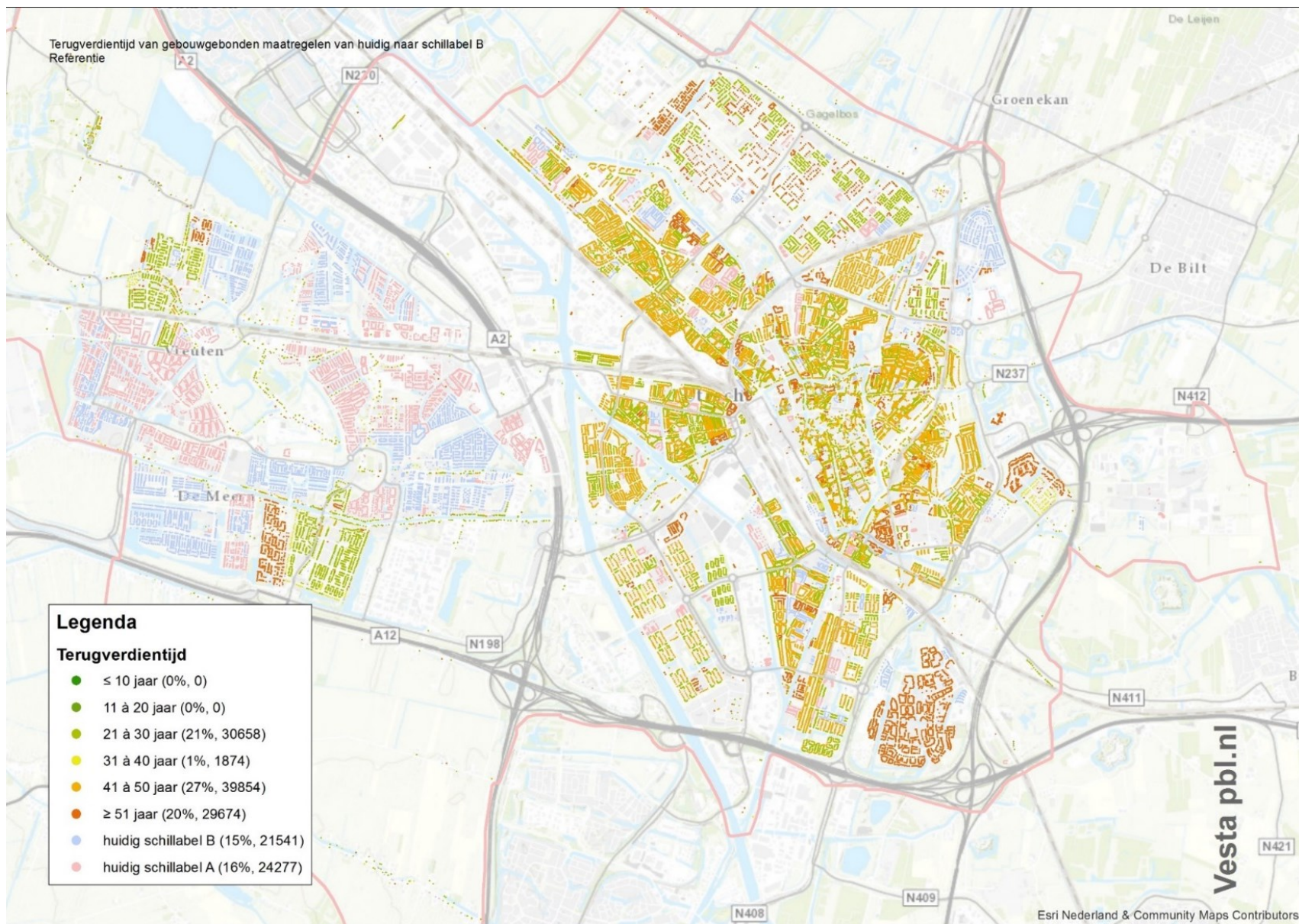
5.2.3 Renovatieniveau hoog met elektrische warmtepomp

Extra investeringen bij uitbreiding van het renovatieniveau hoog met een elektrische warmtepomp en een lage temperatuur afgiftesysteem zijn relatief hoog. Hierdoor ligt de terugverdiëntijd van renovaties naar niveau hoog met een elektrische warmtepomp boven de 100 jaar bij energieprijzen van het achtergrondbeeld. Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m3 ligt de terugverdiëntijd tussen ongeveer 35 en 75 jaar en bij 1,0 euro/m3 tussen 25 en 55 jaar voor alle wooncategorieën op één na. Deze lange terugverdiëntijd wordt onder andere veroorzaakt doordat de elektrische warmtepomp veel elektriciteit verbruikt. Naast een verhoging van de energiebelasting op aardgas kan een verlaging van de energiebelasting op elektriciteit een extra gunstig effect hebben voor de terugverdiëntijd van renovatieniveau hoog met een elektrische warmtepomp. Dit is echter niet geanalyseerd in deze studie.

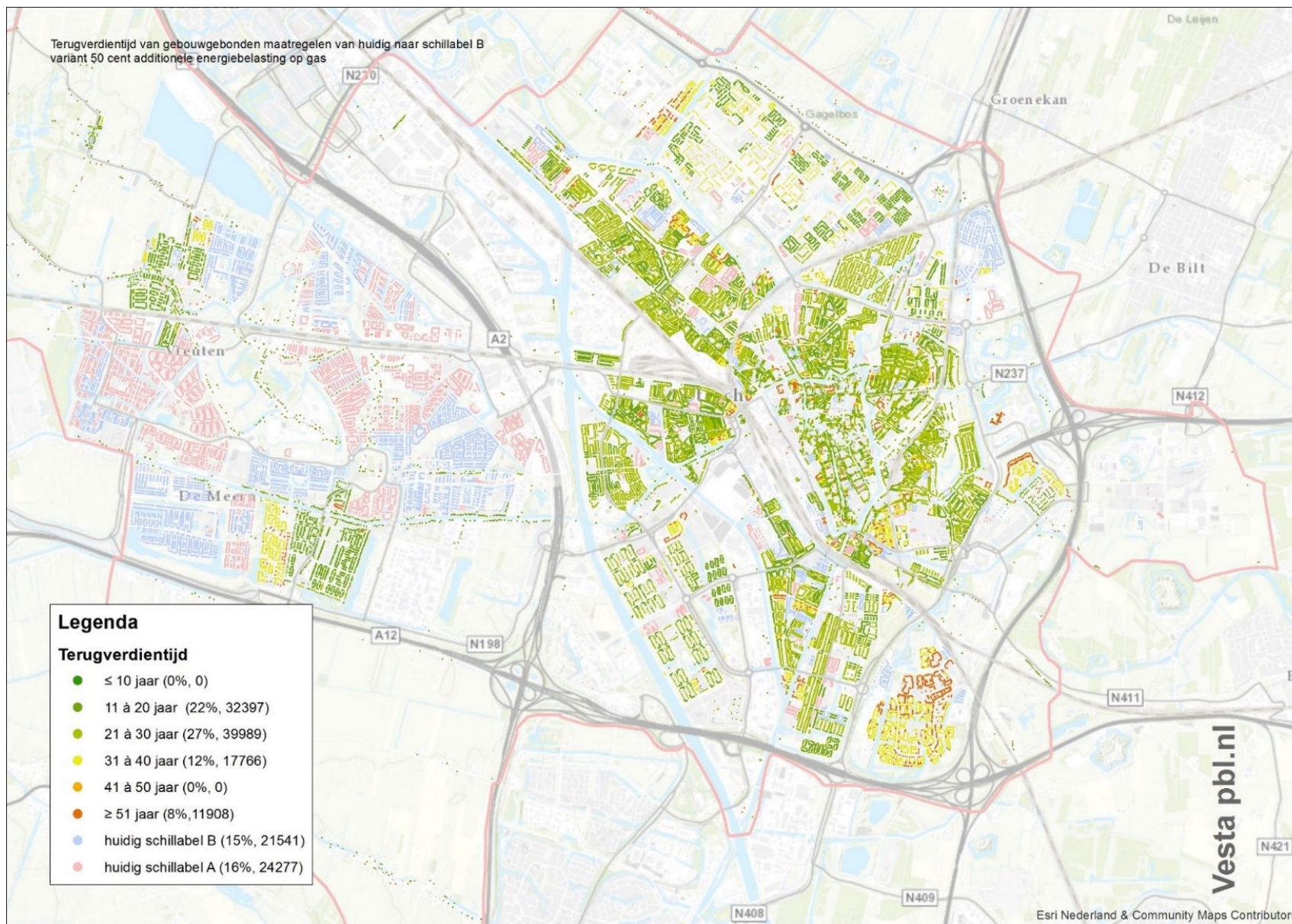
Tabel 5.5 Terugverdientijd (jaar) renovatiewoningen naar niveau hoog met elektrische warmtepomp

Woningtype	Bouwperiode	Schillabel	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m3)		
			0,0	0,5	1,0
Rijwoning	t/m 1945	G	100+	45	36
Rijwoning	1946 – 1964	F	100+	34	28
Rijwoning	1975 – 1991	C	100+	52	40
Rijwoning	1992 – 2005	B	100+	48	36
Rijwoning	2006 – 2014	A	100+	34	26
Meergezins <=4 verdiepingen	voor 1946	G	100+	54	42
Meergezins <=4 verdiepingen	1975 – 1991	C	100+	104	74
Meergezins <=4 verdiepingen	2006 – 2014	A	100+	58	43
Meergezins > 4 verdiepingen	1946 – 1964	D	100+	65	50
Meergezins > 4 verdiepingen	1965 – 1974	E	100+	73	54

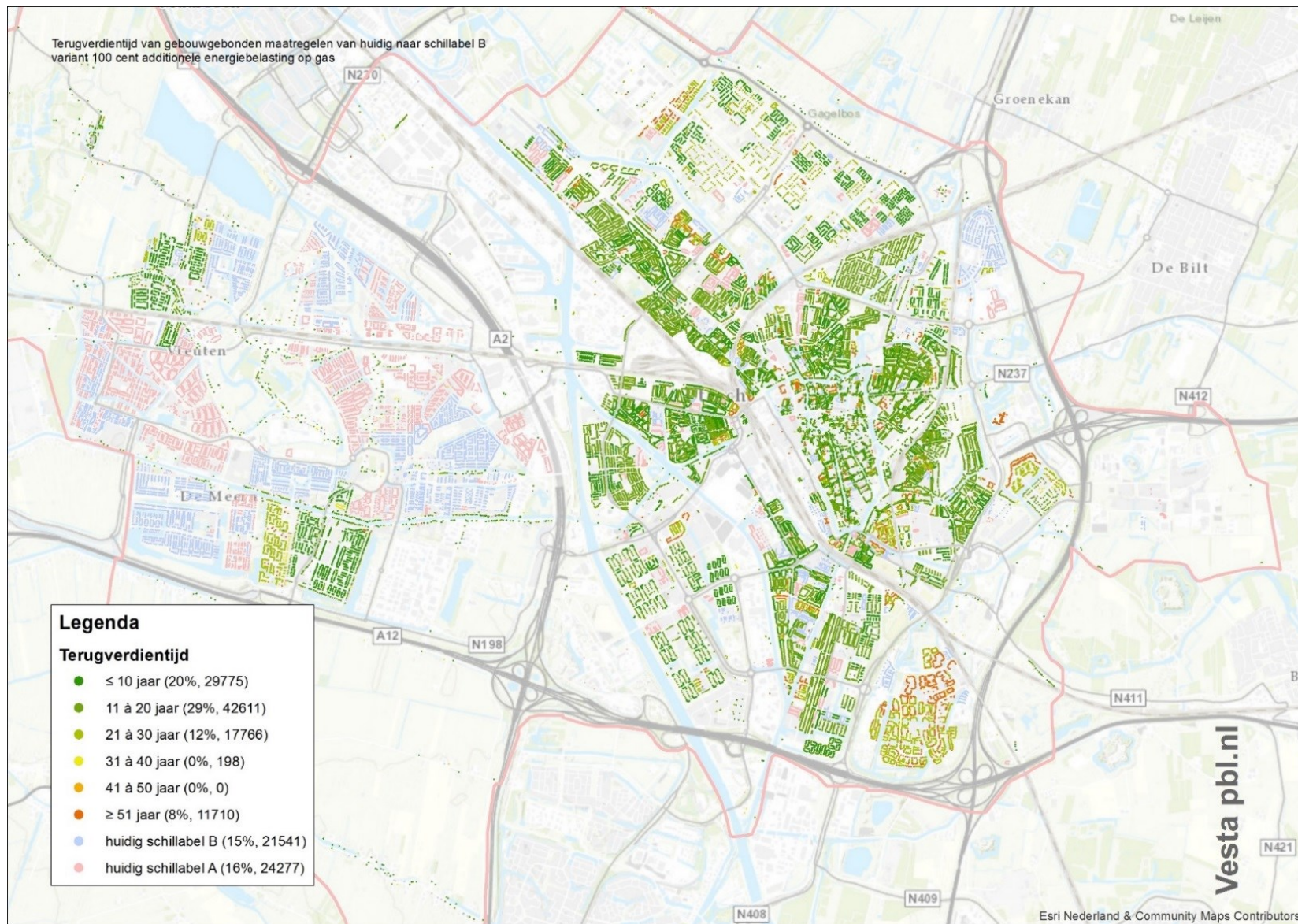
Figuur 5.8 Terugverdientijd van energielabel in 2015 naar schillabel B. Variant: referentieprijsen.



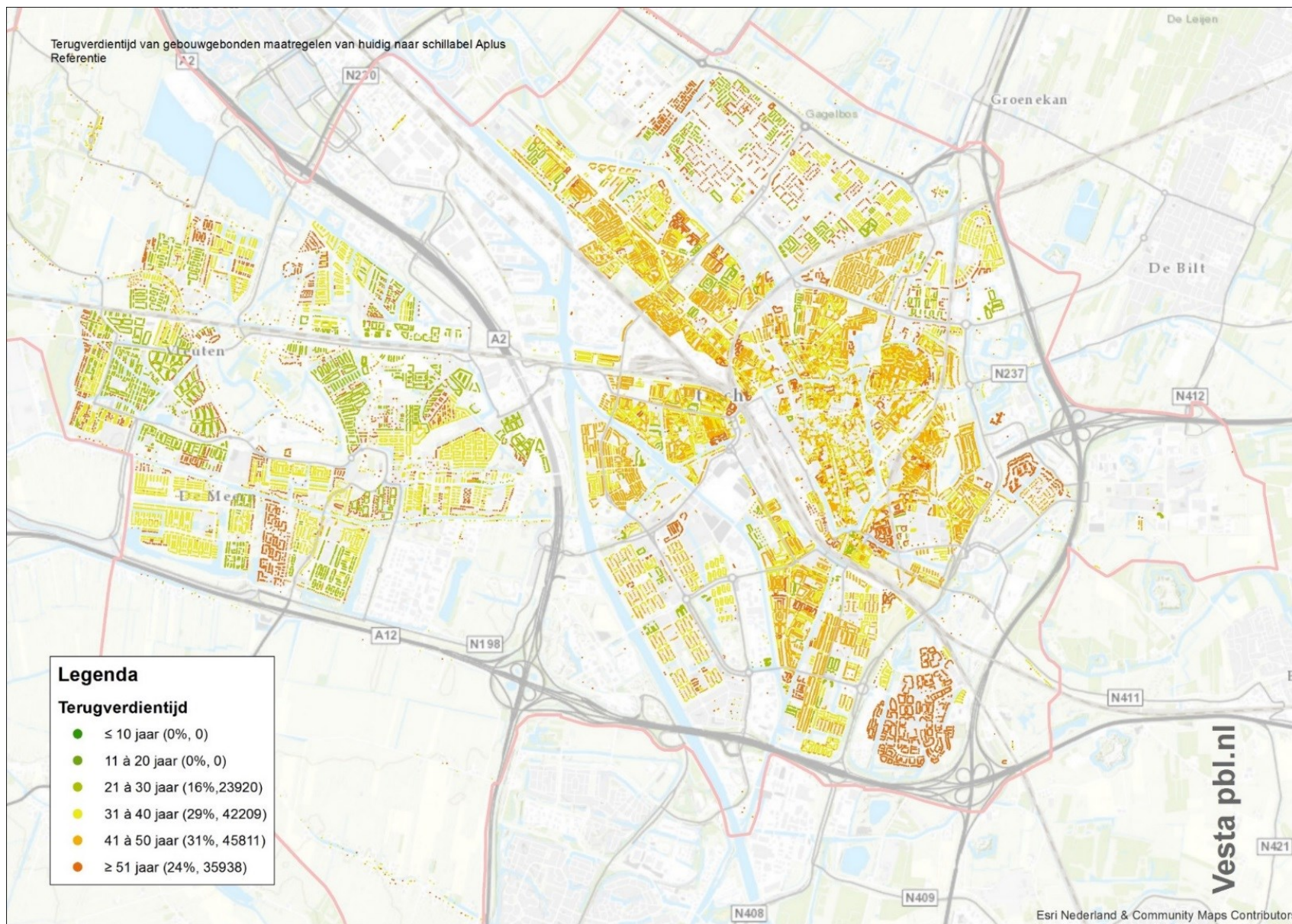
Figuur 5.9 Terugverdiertijd van energielabel in 2015 naar schillabel B. Variant: verhoging energiebelasting op aardgas met 0,50 euro/m3.



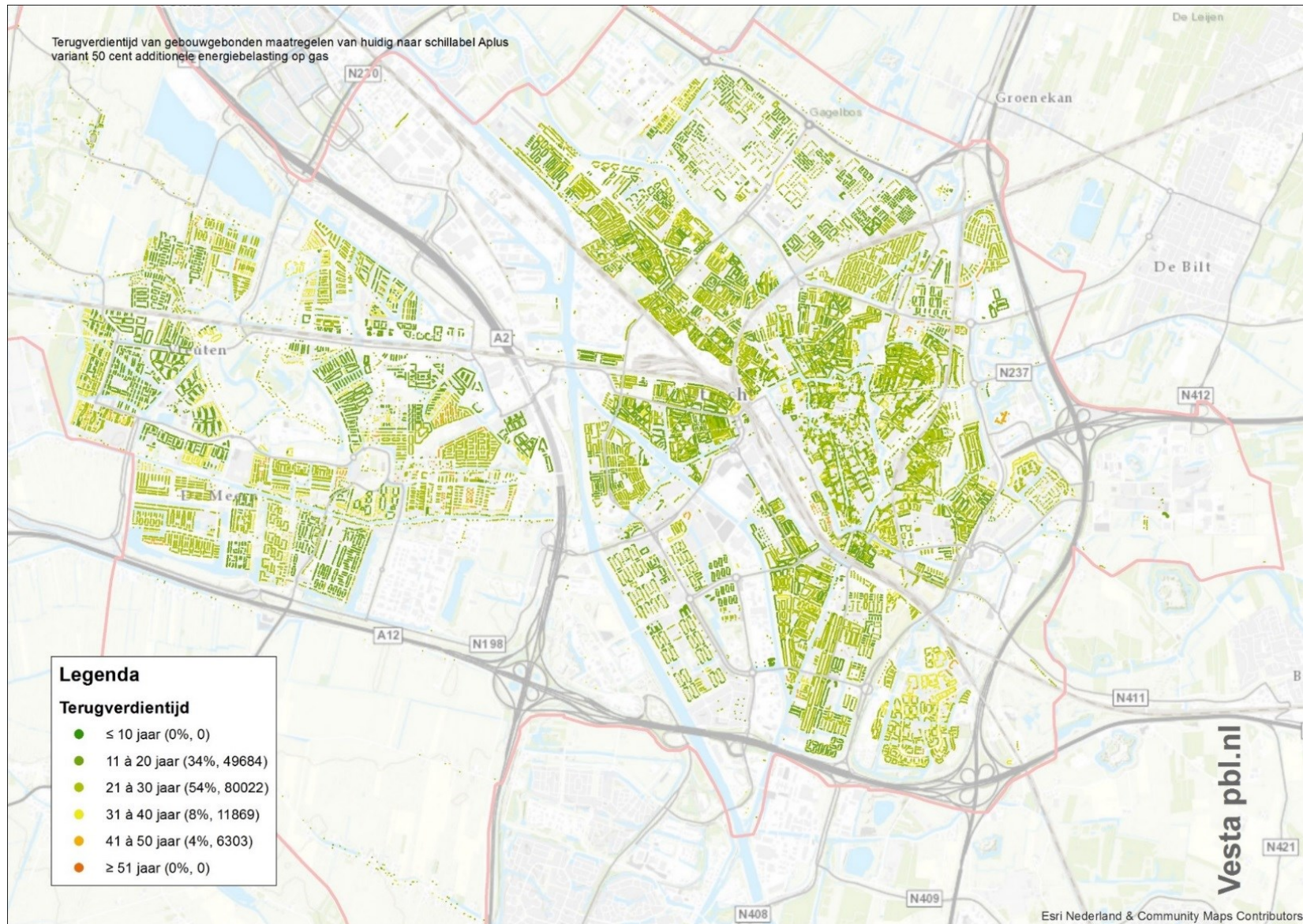
Figuur 5.10 Terugverdiertijd energiesprong van energielabel in 2015 naar schillabel B. Variant: verhoging energiebelasting op aardgas met 1,00 euro/m³.



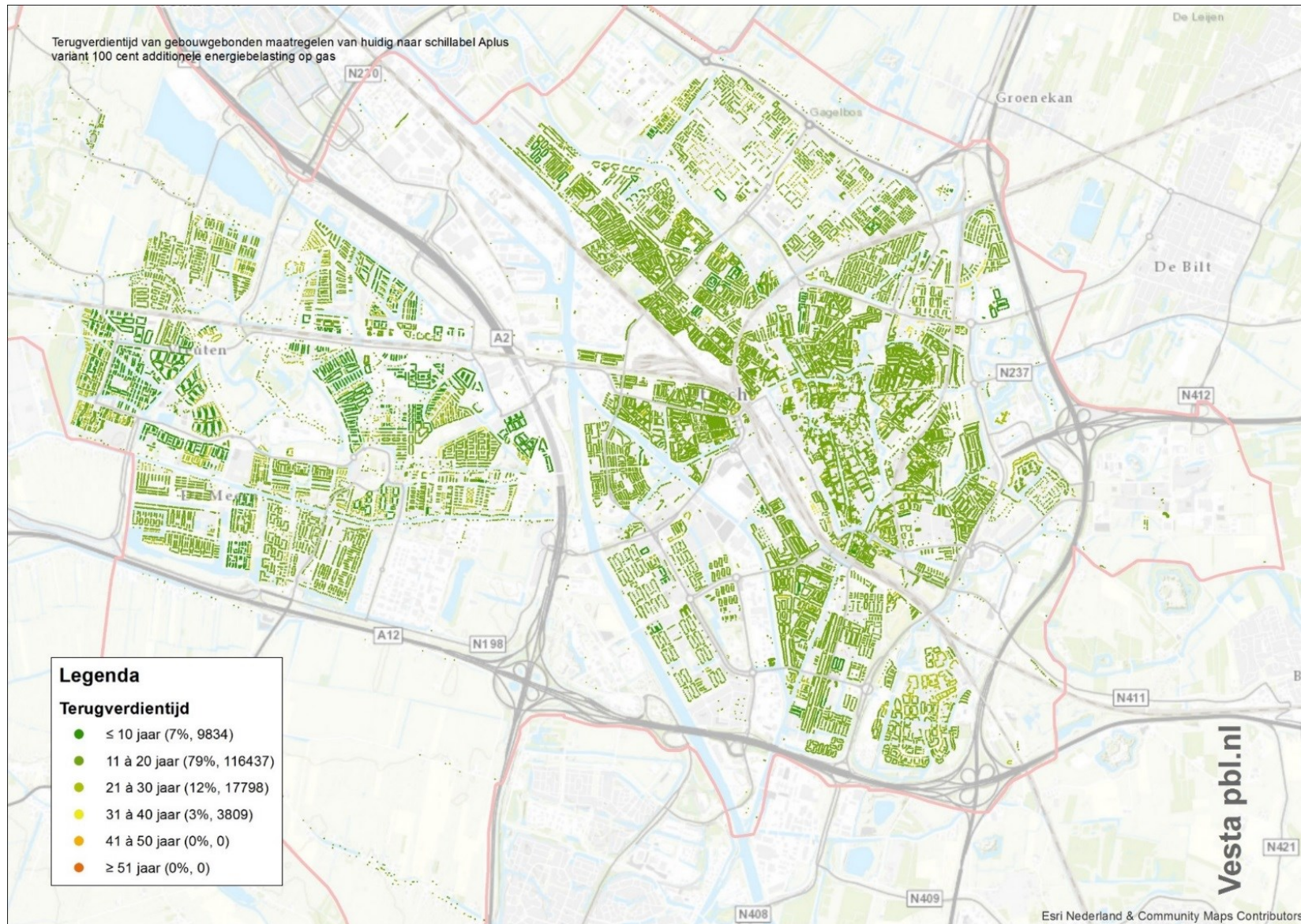
Figuur 5.11 Terugverdiertijd energiesprong van energielabel 2015 naar schillabel Aplus. Variant: referentieprijzen.



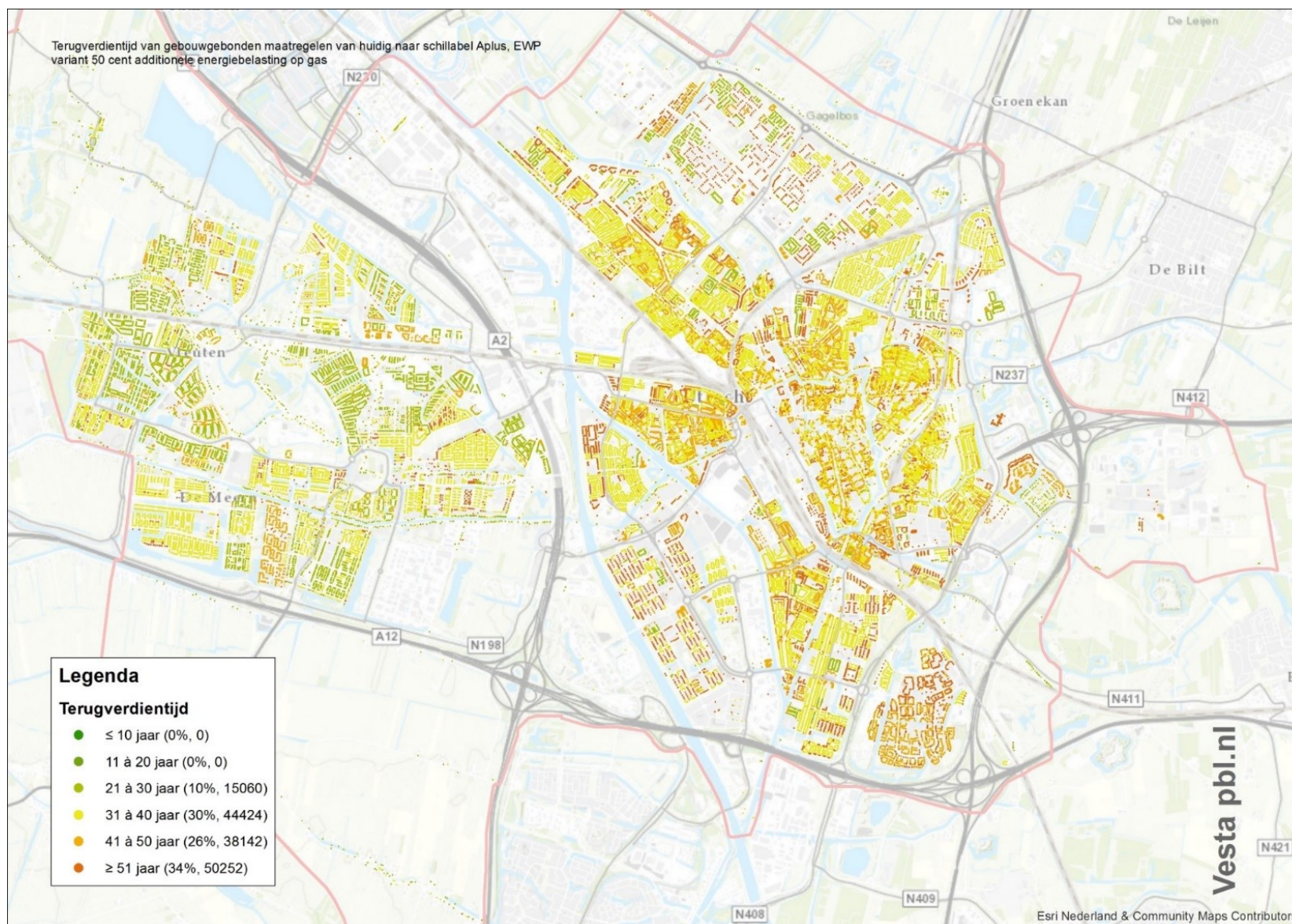
Figuur 5.12 Terugverdientijd energiesprong van energielabel 2015 naar schillabel Aplus. Variant: verhoging energiebelasting op aardgas met 0,50 euro/m3.



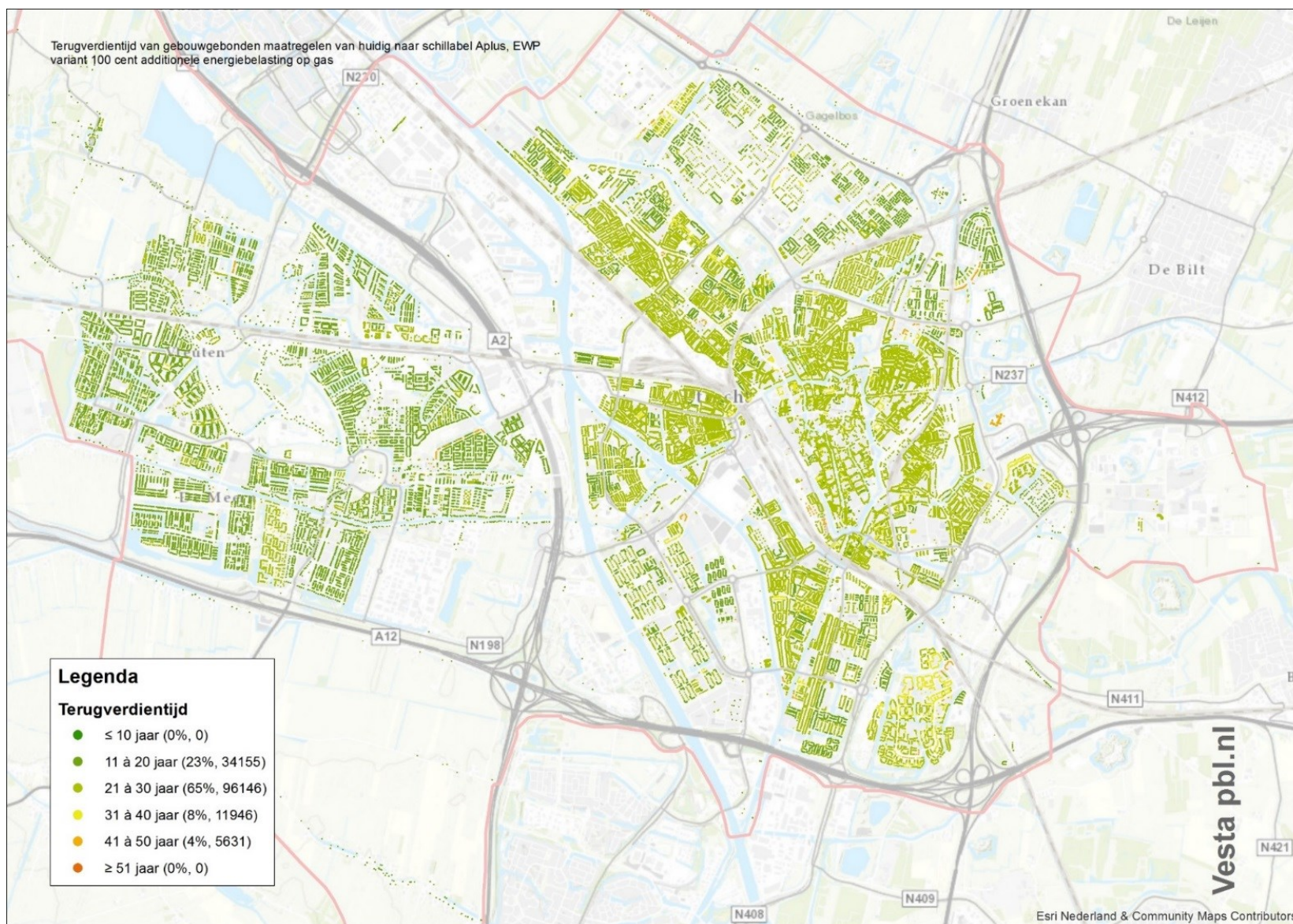
Figuur 5.13 Terugverdientijd energiesprong van energielabel 2015 naar schillabel Aplus. Variant: verhoging energiebelasting op aardgas met 1,00 euro/m3.



Figuur 5.14 Terugverdiertijd energiesprong van energielabel 2015 naar schilabel Aplus met elektrische warmtepomp. Variant: verhoging energiebelasting op aardgas met 0,50 euro/m3.



Figuur 5.15 Terugverdiertijd energiesprong van energielabel 2015 naar schillabel Aplus met elektrische warmtepomp. Variant: verhoging energiebelasting op aardgas met 1,00 euro/m3.



5.3 Terugverdientijd energiebesparing Utrechtse wijken

In deze paragraaf zoomen we in op de wijken en gaan we na hoe groot de gemiddelde terugverdientijd van woningen is bij een simultane aanpak van alle woningen in een wijk. Daarbij kijken we ook of er grote verschillen tussen wijken bestaan. Daartoe is eerst de samenstelling van de wijken geanalyseerd en op basis daarvan zijn het aardgasgebruik, de investeringskosten van renovaties en vermeden inkoopkosten van energie berekend. Voor woningen met stadsverwarming is dezelfde benadering gebruikt waarbij het gasgebruik wordt vervangen door collectieve warmtelevering.

Samenstelling van wijken

De wijken zijn samengesteld uit woningcategorieën die bestaan uit een combinatie van bouwperiode en type woning. Voor iedere woningcategorie is het aantal woningen bepaald met bijbehorend energielabel. Een voorbeeld is gegeven voor wijk 22 in tabel 5.6.

Gasrekening

Voor iedere woning is de gasrekening bepaald op basis van de woningcategorie en het schil-label. Vervolgens is de gemiddelde gasrekening van de woningen in een wijk bepaald. De per wijk gemiddelde gasrekening varieert tussen de 650 euro per jaar in de Binnenstad en Kanaleneiland waar het overgrote deel van de woningen bestaat uit appartementen en 1050 euro per jaar in Rijnenburg waar relatief veel vrijstaande woningen staan.

Renovatie 'midden'

Voor iedere woning in een wijk zijn de investeringskosten, de vermeden inkoopkosten van energie en de terugverdientijd bepaald indien de woning wordt gerenoveerd naar niveau 'midden'. Een deel van de woningen is nu al gerenoveerd of is al gebouwd met energiezuinig niveau 'midden' of 'hoog'. Energiezuinige nieuwbouw is vooral het geval bij recent gebouwde woningen omdat de energieprestatie-eisen voor nieuwbouw sinds de jaren negentig steeds strenger zijn geworden. In tabel 5.7 staat het percentage woningen per wijk dat nog gerenoveerd kan worden van een slecht of matig niveau naar 'midden' of 'hoog'.

De investeringskosten, vermeden inkoopkosten van energie en terugverdientijden van de woningen die nog wel gerenoveerd kunnen worden naar het energiezuiniger niveau van 'midden' en 'hoog' zijn gemiddeld voor iedere wijk en staan achtereenvolgens in de figuren 5.17 tot en met 5.22. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het huidige niveau van isolatie variërend van slecht geïsoleerde woningen (label F en G) tot matig geïsoleerde woningen (label C, D en E).

Zoals te verwachten valt zijn de investeringskosten én de vermeden inkoopkosten van energie van de slecht geïsoleerde woningen hoger dan de matig geïsoleerde woningen. De gemiddelde investeringskosten van de slecht geïsoleerde woningen verschillen tussen wijken van 6000 tot 12000 euro oftewel een factor 2. Dit hangt samen met de samenstelling van de wijk variërend van vooral meergezinswoningen in onder andere Kanaleneiland, Transwijk, Nieuw Hoograven, Bokkenbuurt en Zamenhofdreef en Neckardreef tot vooral vrijstaande woningen in Leidsche Rijn e.o., Het Zand, Terwijde, De Wetering en Rijnenburg. Zoals verwacht zien we dat ook de gemiddelde vermeden inkoopkosten van energie hoger zijn in wijken met hogere gemiddelde investeringskosten. De vermeden inkoopkosten door renovatie van de slecht geïsoleerde woningen naar 'midden' varieert tussen de wijken tussen de 60 euro per jaar in Lunetten tot 440 euro per jaar in Leidsche Rijn e.o..

De gemiddelde terugverdientijd naar niveau midden ligt in de meeste wijken tussen de 30 à 50 jaar. Dergelijke terugverdientijden zullen voor de meeste woningeigenaren allesbehalve financieel aantrekkelijk zijn. Om deze renovaties te realiseren zullen daarom stimulansen nodig zijn om de terugverdientijden te verbeteren of om andere redenen zoals comfortverbetering deze renovaties aantrekkelijk te maken. Opvallend resultaat is de relatief korte terugverdientijd van wijken met hoge investeringskosten zoals verschillende wijken in en nabij Leidsche Rijn en Rijnenburg. Uit tabel 5.7 blijkt echter dat het om weinig woningen gaat. In de meeste gevallen gaat het om oude en/of vrijstaande woningen in wijken waar in meer recente jaren veel woningen met energiezuinig niveau 'midden' zijn bijgebouwd.

Renovatie 'hoog'

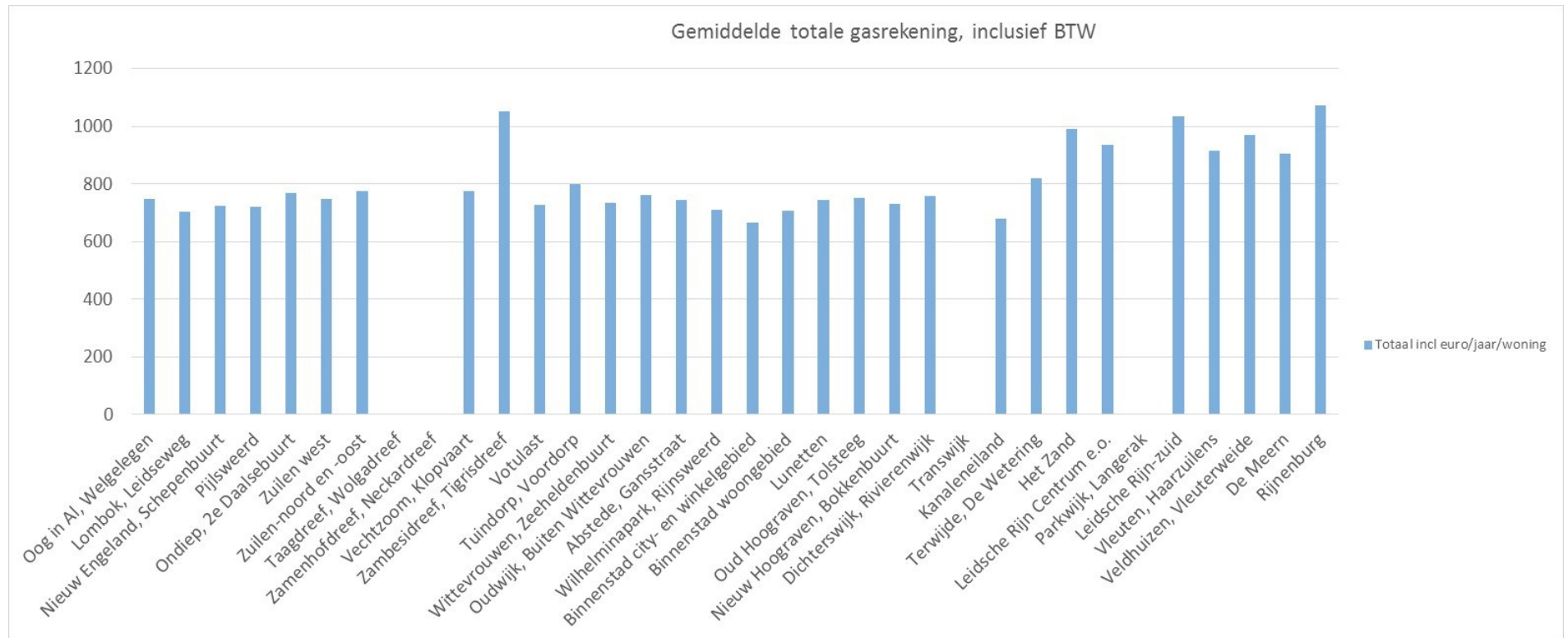
De gemiddelde investeringskosten van wijken naar niveau 'hoog' liggen tussen de 8000 en 27000 euro voor huidig slecht en matig geïsoleerde woningen en tussen de 4000 en 7000 euro voor woningen met huidig niveau 'midden' met uitzondering van één wijk waar de gemiddelde investeringskosten hoger zijn. De vermeden inkoopkosten door renovatie naar 'hoog' varieert tussen de wijken en is afhankelijk van het huidige isolatieniveau tussen de 100 en 500 euro per jaar. De gemiddelde terugverdientijd van huidig niveau slecht naar hoog ligt in de meeste wijken tussen de 40 à 50 jaar. Net als bij renovatie naar midden zijn meer stimulansen en redenen nodig om deze renovaties aantrekkelijk te maken voor eigenaren.

Bij renovatie naar niveau 'hoog' zien we een vergelijkbaar patroon als bij 'midden' namelijk dat de gemiddelde terugverdientijd van wijken met hoge investeringskosten relatief kort is.

Tabel 5.6 Samenstelling van woningen in wijk 'Ondiep - 2^{de} Daalsebuurt' naar bouwjaar, woningtype en energielabel in 2017.

Bouwjaar	Woningtype	Label G	Label F	Label E	Label D	Label C	Label B
Voor 1946	Vrijstaand	7	0	0	0	0	1
Voor 1946	2 onder 1 kap	0	17	0	4	0	5
Voor 1946	Rijwoning_hoek	204	0	42	0	0	21
Voor 1946	Rijwoning_tussen	1711	0	453	0	0	101
Voor 1946	Meergezins_Laag en midden	1136	0	24	0	0	67
Voor 1946	Meergezins_Hoog	0	0	0	21	0	9
Tussen 1946 en 1965	Vrijstaand	1	0	0	0	0	0
Tussen 1946 en 1965	2 onder 1 kap	0	2	0	0	0	0
Tussen 1946 en 1965	Rijwoning_hoek	0	80	0	1	0	3
Tussen 1946 en 1965	Rijwoning_tussen	0	284	0	24	0	9
Tussen 1946 en 1965	Meergezins_Laag en midden	0	0	373	0	26	0
Tussen 1946 en 1965	Meergezins_Hoog	0	0	0	0	0	0
Tussen 1965 en 1974	Vrijstaand	0	0	0	0	0	0
Tussen 1965 en 1974	2 onder 1 kap	0	0	0	0	0	0
Tussen 1965 en 1974	Rijwoning_hoek	0	0	0	0	0	0
Tussen 1965 en 1974	Rijwoning_tussen	0	0	1	0	0	0
Tussen 1965 en 1974	Meergezins_Laag en midden	0	0	0	10	0	0
Tussen 1965 en 1974	Meergezins_Hoog	0	0	115	0	0	0
Tussen 1975 en 1991	Vrijstaand	0	0	0	0	0	0
Tussen 1975 en 1991	2 onder 1 kap	0	0	0	0	4	0
Tussen 1975 en 1991	Rijwoning_hoek	0	0	0	0	42	0
Tussen 1975 en 1991	Rijwoning_tussen	0	0	0	0	160	3
Tussen 1975 en 1991	Meergezins_Laag en midden	0	0	0	0	210	5
Tussen 1975 en 1991	Meergezins_Hoog	0	0	0	0	50	2
Tussen 1992 en 2005	Vrijstaand	0	0	0	0	0	1
Tussen 1992 en 2005	2 onder 1 kap	0	0	0	0	0	0
Tussen 1992 en 2005	Rijwoning_hoek	0	0	0	0	0	3
Tussen 1992 en 2005	Rijwoning_tussen	0	0	0	0	0	11
Tussen 1992 en 2005	Meergezins_Laag en midden	0	0	0	0	0	221
Tussen 1992 en 2005	Meergezins_Hoog	0	0	0	0	0	178
Tussen 2006 en 2014	Vrijstaand	0	0	0	0	0	0
Tussen 2006 en 2014	2 onder 1 kap	0	0	0	0	0	0
Tussen 2006 en 2014	Rijwoning_hoek	0	0	0	0	0	62
Tussen 2006 en 2014	Rijwoning_tussen	0	0	0	0	0	313
Tussen 2006 en 2014	Meergezins_Laag en midden	0	0	0	0	0	226
Tussen 2006 en 2014	Meergezins_Hoog	0	0	0	0	0	83
		3059	383	1008	60	492	1324

Figuur 5.16 Gemiddelde gasrekening woningen voor wijken in Utrecht in 2015. Deze bestaat uit vastrecht, gaslevering, netbeheerkosten, energiebelasting en opslag duurzame energie en btw (jaar).

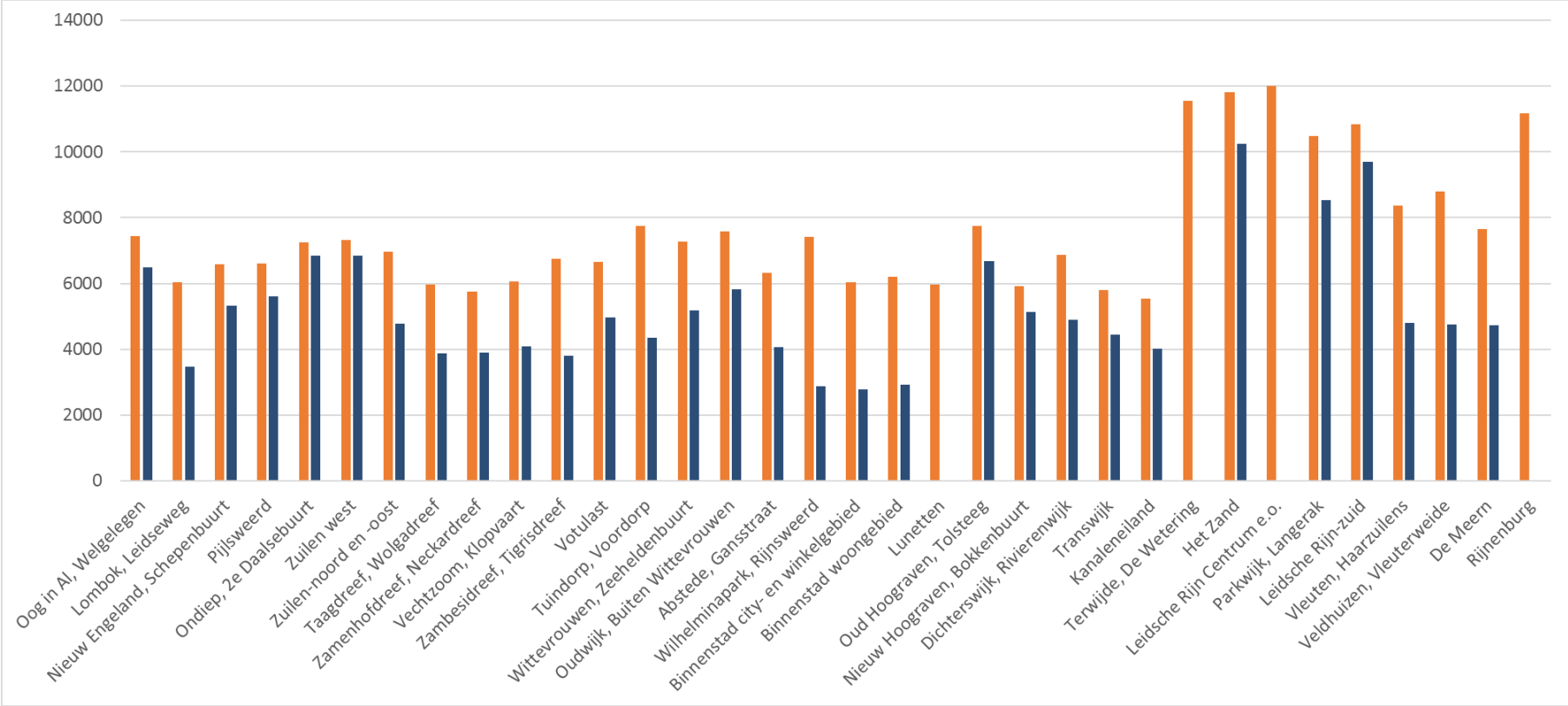


Tabel 5.7 Aantal woningen en aandeel (%) dat gerenoveerd kan worden naar niveau midden en hoog per wijk in Utrecht.

Wijk	Aantal woningen per wijk	Potentieel aandeel woningen naar renovatieniveau	
		'midden'	'hoog'
Oog in Al, Welgelegen	3416	85.4%	100.0%
Lombok, Leidseweg	5917	80.2%	99.7%
Nieuw Engeland, Schepenbuurt	3190	87.3%	100.0%
Pijlsweerd	2778	77.4%	97.0%
Ondiep, 2e Daalsebuurt	6326	76.8%	96.1%
Zuilen west	5114	87.3%	97.2%
Zuilen-noord en -oost	5585	58.7%	100.0%
Taagdreef, Wolgadreef	4154	75.3%	96.4%
Zamenhofdreef, Neckardreef	3508	79.4%	98.4%
Vechtzoom, Klopvaart	3812	59.2%	100.0%
Zambesidreef, Tigrisdreef	4219	73.4%	100.0%
Votulast	5847	84.5%	98.3%
Tuindorp, Voordorp	5790	63.6%	97.9%
Wittevrouwen, Zeeheldenbuurt	5020	83.4%	100.0%
Oudwijk, Buiten Wittevrouwen	4338	90.8%	100.0%
Abstede, Gansstraat	4182	81.6%	100.0%
Wilhelminapark, Rijnsweerd	5158	68.4%	100.0%
Binnenstad city- en winkelgebied	2316	86.5%	96.5%
Binnenstad woongebied	6844	77.2%	99.2%
Lunetten	5615	83.5%	100.0%
Oud Hoograven, Tolsteeg	4209	72.8%	100.0%
Nieuw Hoograven, Bokkenbuurt	3098	64.0%	100.0%
Dichterswijk, Rivierenwijk	6513	68.1%	100.0%
Transwijk	4000	51.0%	100.0%
Kanaleneiland	6552	77.8%	100.0%
Terwijde, De Wetering	3699	0.5%	99.6%
Het Zand	3233	3.2%	97.1%
Leidsche Rijn Centrum e.o.	1140	0.5%	100.0%
Parkwijk, Langerak	4554	2.3%	100.0%
Leidsche Rijn-zuid	48	87.5%	100.0%
Vleuten, Haarzuilens	3445	53.9%	98.8%
Veldhuizen, Vleuterweide	9487	2.5%	98.9%
De Meern	4697	59.8%	99.6%
Rijnenburg	74	77.0%	100.0%
Totaal	147878	63.6%	99.1%

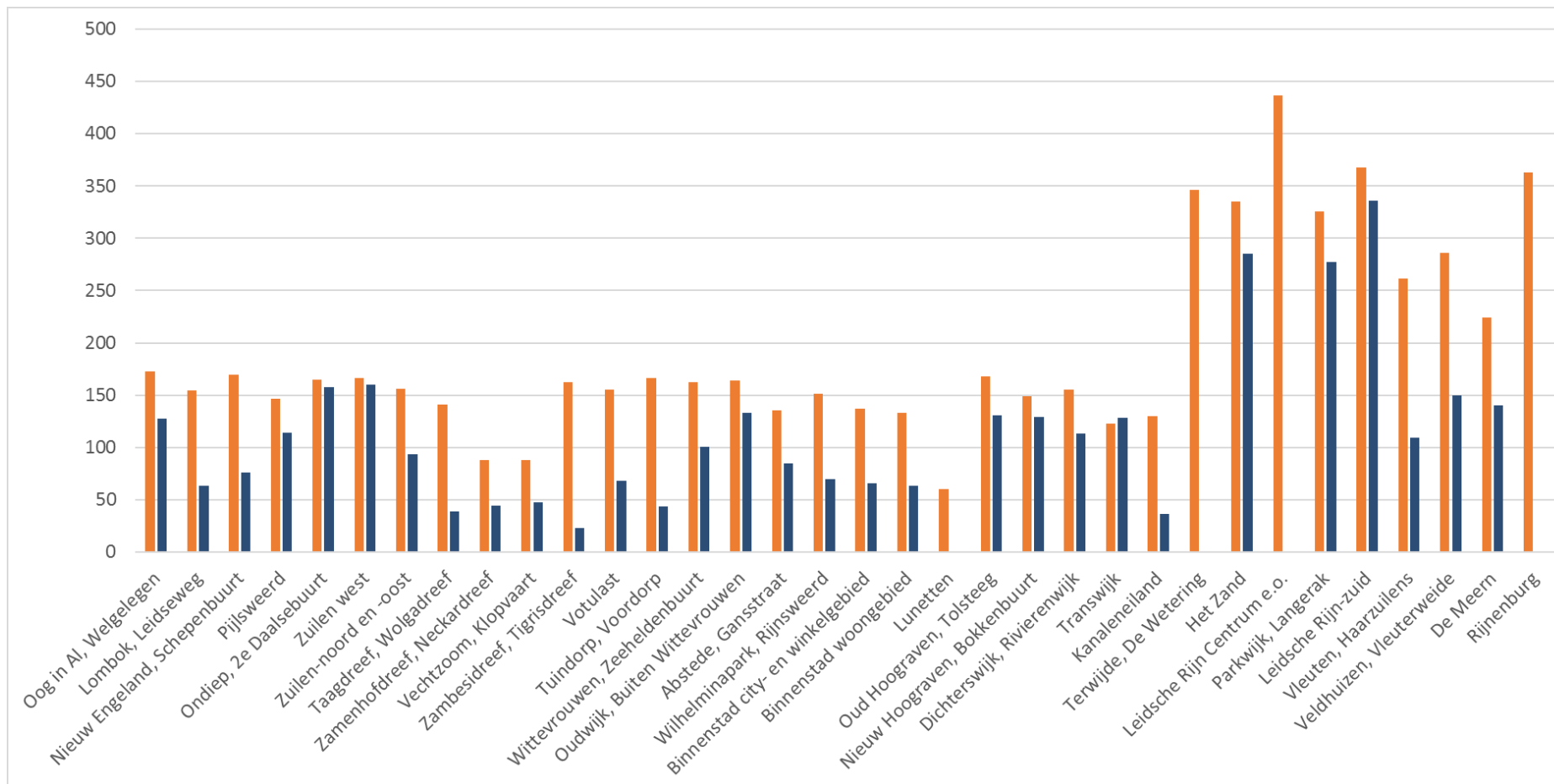
Figuur 5.17 Gemiddelde investeringskosten renovatie naar energiebesparingsniveau 'midden' van huidig slecht en matig geïsoleerde woningen in wijken van Utrecht (euro).

Oranje: huidige isolatie is slecht; blauw: huidige isolatie is matig.



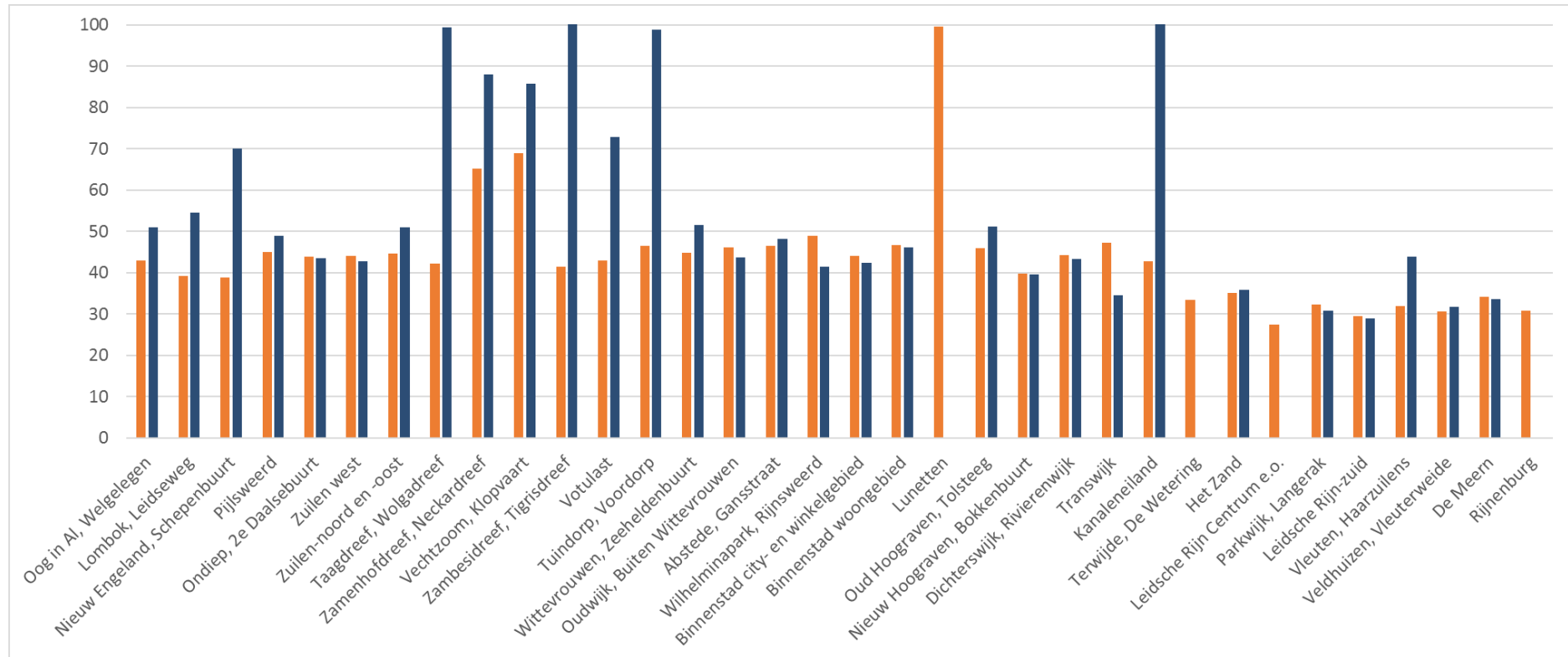
Figuur 5.18 Jaarlijks gemiddelde vermeden energiekosten renovatie naar energiebesparingsniveau 'midden' van slecht en matig geïsoleerde woningen in wijken van Utrecht bij referentieprijzen (euro per jaar).

Oranje: huidige isolatie is slecht; **blauw:** huidige isolatie is matig.



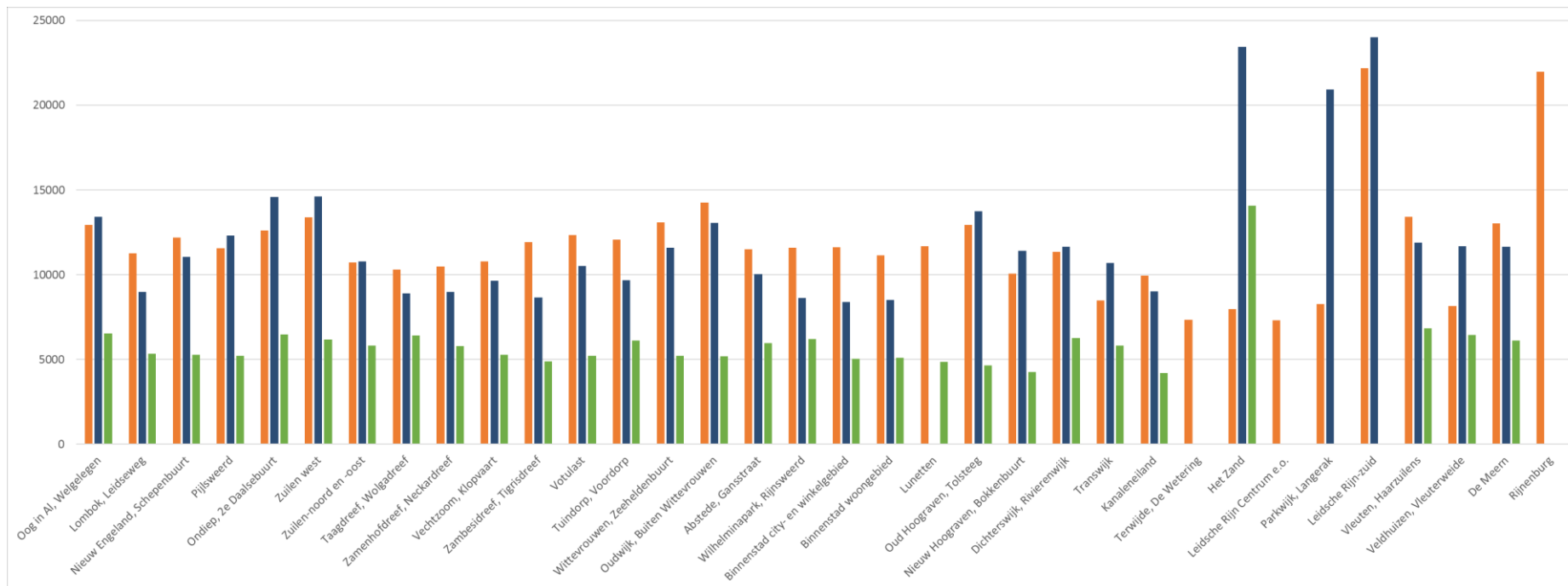
Figuur 5.19 Gemiddelde terugverdientijd renovatie naar energiebesparingsniveau 'midden' van slecht en matig geïsoleerde woningen in wijken van Utrecht (jaar).

Oranje: huidige isolatie is slecht; blauw: huidige isolatie is matig.



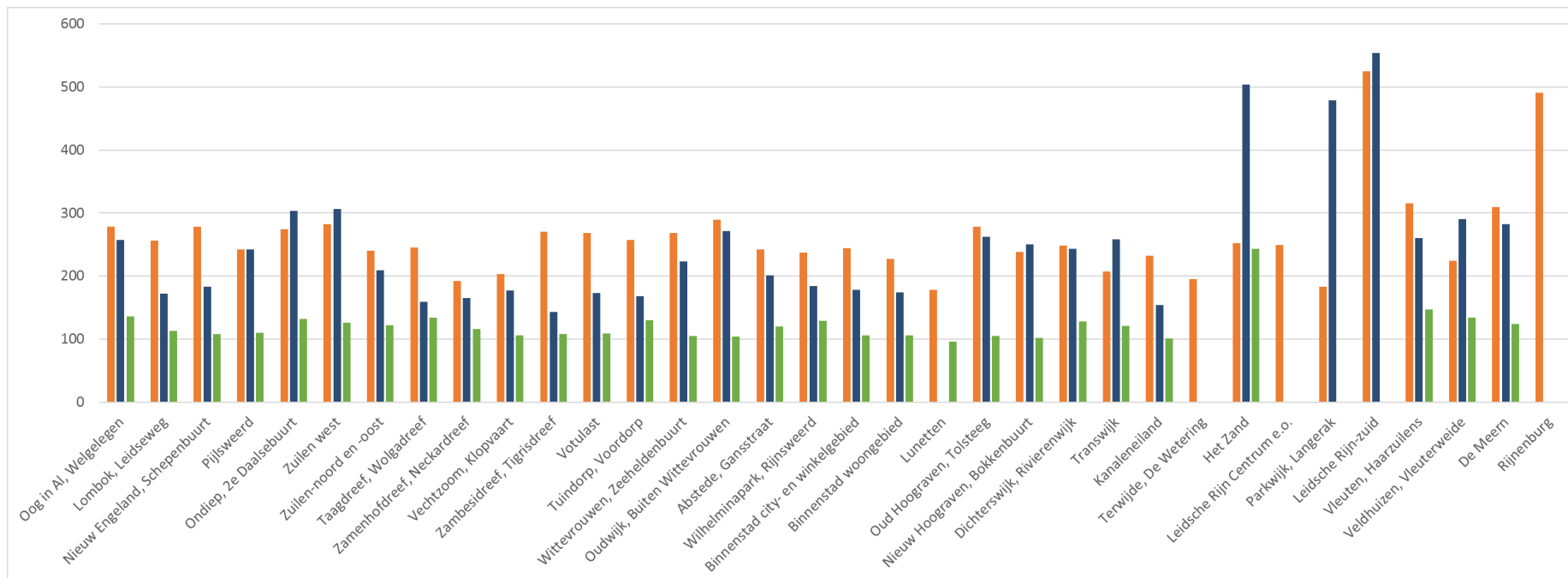
Figuur 5.20 Gemiddelde investeringskosten renovatie naar energiebesparingsniveau 'hoog' van slecht, matig en niveau 'midden' geïsoleerde woningen in wijken van Utrecht (euro).

Oranje: huidige isolatie is slecht; blauw: huidige isolatie is matig; groen: huidige isolatie is van niveau midden.



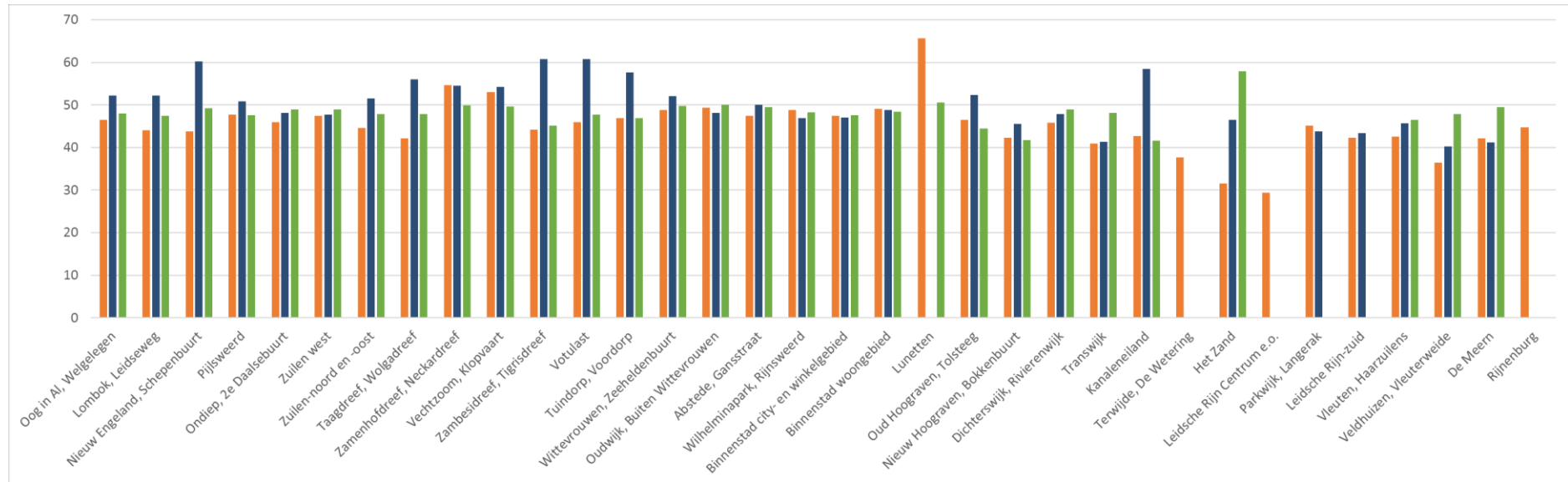
Figuur 5.21 Jaarlijks gemiddelde vermeden energiekosten renovatie naar energiebesparingsniveau 'hoog' van slecht, matig en niveau 'midden' geïsoleerde woningen in wijken van Utrecht (euro per jaar).

Oranje: huidige isolatie is slecht; blauw: huidige isolatie is matig; groen: huidige isolatie is van niveau midden.



Figuur 5.22 Gemiddelde terugverdiertijd renovatie naar energiebesparingsniveau 'hoog' van slecht, matig en niveau 'midden' geïsoleerde woningen in wijken van Utrecht (jaar).

Oranje: huidige isolatie is slecht; blauw: huidige isolatie is matig; groen: huidige isolatie is van niveau midden.



5.4 Varianten energiebesparing en verhoging van de energiebelasting op aardgas

Het potentieel van rendabele maatregelen en de kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in het achtergrondbeeld is geanalyseerd in de eerste paragraaf van dit hoofdstuk. (In tegenstelling tot de vorige twee paragrafen gaat het hier zowel om de woningen als de utiliteit). Daarbij zijn ook varianten doorgerekend om het effect te bepalen van een verhoging van de energiebelasting op aardgas. Vervolgens zijn de terugverdientijden van energiebesparende renovatieniveaus van alleen woningen besproken in de tweede en derde paragraaf. Zie ook paragraaf 4.8 voor een overzicht van alle doorgerekende varianten.

In de voorliggende paragraaf gaan we – net als in paragraaf 5.1 – na wat het potentieel van rendabele maatregelen is maar nu gaan we er vanuit dat woningen en utiliteit voldoen aan een minimaal renovatieniveau. Op deze manier krijgen we – naast de terugverdientijden uit de vorige paragraaf – inzicht in het effect van energiebesparing op de warmtevraag, het gasgebruik, de warmtenetten, de CO₂-emissie en de kosten van de energievoorziening.

Dit doen we door hieronder de resultaten van een integrale doorrekening van varianten met verschillende renovatieniveaus in combinatie met verhoging van de energiebelasting op aardgas te presenteren.

Warmtevraag

Als eerste wordt nagegaan in hoeverre de warmtevraag van de gebouwde omgeving (woningen en utiliteit) vermindert als energiebesparende maatregelen in gebouwen worden genomen ten gevolge van twee mogelijke situaties:

1. Er worden geen minimale eisen gesteld aan de energiezuinigheid van gebouwen maar wel worden alle energiebesparende maatregelen genomen die zichzelf terugverdienen. Dit is de situatie zoals besproken in paragraaf 5.1;
2. In alle gebouwen worden energiebesparende maatregelen genomen die leiden tot een bepaald niveau van energiezuinigheid te weten het 'midden' en 'hoog' niveau. Verdergaande maatregelen die de gebouwen nog energiezuiniger maken worden ook nog genomen als ze zichzelf terugverdienen. Tevens is een variant van het 'hoog' niveau toegevoegd waarbij de gasketel in alle gebouwen wordt vervangen door een elektrische warmtepomp. De gebouwen met een 'hoog' niveau zijn namelijk dermate goed geïsoleerd dat zij met een aanpassing van het verwarmingssysteem kunnen worden verwarmd door een elektrische warmtepomp. Dit levert nog eens een extra energiebesparing op.

De energiebesparende maatregelen zijn eerder rendabel naarmate de gasprijs hoger is. Het effect van hogere gasprijzen op de vermindering van de warmtevraag wordt tevens gepresenteerd. De hogere gasprijs is gesimuleerd door uit te gaan van een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³.

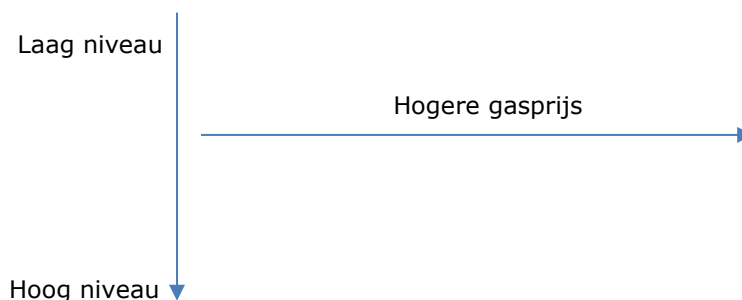
Schematisch is het bovenstaande weergegeven in figuur 5.19. Voor iedere uitgangssituatie variërend van een laag tot hoog niveau van energiebesparing wordt het effect van een hogere gasprijs beschouwd.

Aansluitingen

Als tweede wordt gekeken op welke wijze aan de warmtevraag kan worden voldaan. In Utrecht wordt momenteel in de warmtevraag voorzien door aardgas (68%) en stadsverwarming (32%). In de berekeningen vindt vervanging van gas plaats indien het duurzame alternatief (dwz elektrische warmtepomp, stadsverwarming en WKO) mogelijk en rendabel is.

Figuur 5.23 Schematische weergave van doorgekende varianten die een combinatie zijn van energiezuinige renovatie van gebouwen en verhoging van de energiebelasting op aardgas.

Uitgangssituatie energiebesparing



Gebouwen die al een alternatieve warmtevoorziening zoals aansluiting op het warmtenet van stadsverwarming hebben ondergaan geen verandering.

De mogelijke overstap van een gebouw met een gasaansluiting naar stadsverwarming wordt beïnvloed door twee tegengestelde effecten. De stadsverwarming wordt namelijk financieel minder aantrekkelijk voor warmtebedrijven naarmate het energiebesparingsniveau hoger is. In het schema hierboven zal het aandeel warmteaansluitingen dus niet toenemen naarmate het besparingsniveau hoger is.

Daar staat tegenover dat stadsverwarming - gegeven een minimaal besparingsniveau - voor warmtebedrijven financieel aantrekkelijker wordt naarmate de gasprijs hoger is omdat de warmteprijs die zij mogen vragen gekoppeld is aan de gasprijs door het Niet meer dan anders principe. Het aandeel warmteaansluitingen neemt dan mogelijk toe. De andere beschouwde alternatieven, WKO en elektrische warmtepompen, zijn fysiek alleen mogelijk indien de gebouwen een hoog niveau van energiebesparing hebben. Deze warmtesystemen worden pas rendabel bij een hogere gasprijs.

Gasgebruik gebouwen

Als derde beschouwen we het gasgebruik van de gebouwen. Dit is het resultaat van de vorige stappen. In de eerste plaats neemt het gasgebruik af door een verminderde warmtevraag en in de tweede plaats door de vervanging van gasketels door duurzame alternatieven.

Gasgebruik hulpwarmteketels

In het vierde onderdeel beschouwen we het gasgebruik van hulpwarmteketels voor de piekvraag van warmtenetten. De warmte van de stadsverwarming is grotendeels afkomstig van warmte geproduceerd in gasgestookte WKC installaties, restwarmte van de industrie en hernieuwbare warmtebronnen zoals biomassa en aardwarmte. Een kleiner deel wordt geproduceerd door hulpwarmteketels om te voldoen aan de piekvraag. In de toekomst zijn CO₂-vrije

alternatieven mogelijk zoals het stoken van de hulpwarmteketels met biogas of vaste biomassa of vervanging door industriële warmtepompen waardoor er geen aardgas meer nodig is voor de stadsverwarming. In onze berekening gaan we echter nog uit van conventionele hulpwarmteketels die met aardgas worden gestookt.

Gasgebruik totaal

Als vijfde wordt de totale gasvraag van de gebouwde omgeving gepresenteerd. Dit is de optelsom van het gasgebruik in de woningen en utiliteitsgebouwen en het gasgebruik van de hulpwarmteketels van de warmtenetten.

CO₂-emissie

Tenslotte wordt de CO₂-emissie beschouwd in paragraaf 5.4.6.

5.4.1 Warmtevraag

Door het nemen van energiebesparende maatregelen neemt de vraag naar warmte af. Indien alle rendabele maatregelen worden genomen neemt ondanks de toename van het aantal woningen en utiliteitsgebouwen de warmtevraag in 2030 af tot 94% van de huidige warmtevraag. Het betreft een onbenut potentieel van rendabele maatregelen dat wordt aangevuld met maatregelen die pas rendabel zijn bij de aardgasprijs van het achtergrondbeeld in 2030.

Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas worden meer maatregelen rendabel. Een verhoging van 1,0 euro/m³ leidt tot een potentieel van rendabele maatregelen waarbij de warmtevraag vermindert tot 73% van het huidige niveau. Ditzelfde percentage van vermindering wordt bereikt zonder verhoging van de energiebelasting indien alle gebouwen worden gerenoveerd op het middenniveau van energiebesparing. Indien alle gebouwen worden gerenoveerd naar het hoog niveau dan halveert de warmtevraag ongeveer ten opzichte van de huidige. De warmtevraag van een gebouw met hoog niveau neemt iets verder af indien de gasketel wordt vervangen door een warmtepomp omdat er door een energiezuiniger ontwerp minder warmte verloren gaat. Bij een verhoging van de energiebelasting wordt deze vervanging voor een deel van de gebouwen rendabel.

Tabel 5.7 Aandeel van de warmtevraag in 2030 ten opzichte van de huidige situatie (%) door rendabele energiebesparing bovenop een minimaal renovatieniveau (huidig, midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp) bij een aardgasprijs van het achtergrondbeeld en een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	94	87	73
Midden en rendabel	%	73	73	68
Hoog en rendabel	%	51	48	48
Hoog en elektrische warmtepomp	%	47	47	47

5.4.2 Aansluitingen warmtevoorziening

Het aandeel aansluitingen van woningen op aardgas neemt licht af van 68% in de huidige situatie tot 60% in 2030 bij de aardgasprijs in het achtergrondbeeld. Dit geldt voor alle renovatieniveaus van energiebesparing behalve natuurlijk het renovatieniveau hoog waarbij de elektrische warmtepomp is opgelegd. De afname van het aandeel gasaansluitingen is vooral te danken aan de nieuwbouw van woningen die niet worden aangesloten op aardgas. Het aandeel stadsverwarming neemt toe van 32% naar 35% en de aansluitingen van WKO nemen toe van 0% in de huidige situatie tot circa 5% in 2030 bij de aardgasprijzen in het achtergrondbeeld.

Het aandeel gasaansluitingen van woningen met renovatieniveau huidig en midden neemt af tot circa 57% en 10% bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ respectievelijk 1,0 euro/m³. Dit wordt veroorzaakt door het voor de warmteleverancier rendabeler worden van de stadsverwarming. Het aandeel aansluitingen van woningen op stadsverwarming neemt daardoor toe tot circa 40% respectievelijk 88% van het totaal aantal aansluitingen van woningen.

Het aandeel gasaansluitingen van woningen met renovatieniveau hoog neemt af tot 19% en 7% bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ respectievelijk 1,0 euro/m³. In dit geval neemt blijft het aandeel stadsverwarming beperkt tot 35% omdat verdere toename niet rendabel is door de hoge mate van energiebesparing. Daar staat tegenover dat het aandeel WKO toeneemt tot 46% respectievelijk 58% in 2030.

Het aandeel gasaansluitingen van woningen met renovatieniveau hoog en een elektrische warmtepomp neemt af tot 0%. In dit geval zijn alle gasaansluitingen vervangen door elektrische warmtepompen.

Tabel 5.8 Aandeel van bestaande woningen met aansluitingen op gas, stadsverwarming, WKO en elektrische warmtepompen in 2030 ten opzichte van de huidige situatie (%) voor rendabele energiebesparing bovenop een minimaal renovatieniveau (huidig, midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp) bij energieprijzen van het achtergrondbeeld en een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	60/35/5/0	56/41/2/1	9/87/2/2
Midden en rendabel	%	60/35/5/0	58/39/2/1	9/87/2/2
Hoog en rendabel	%	60/35/5/0	19/35/45/1	7/35/56/2
Hoog en elektrische warmtepomp	%	0/35/0/65	0/35/0/65	0/35/0/65

5.4.3 Gasgebruik van woningen en utiliteit exclusief warmtenetten

Het gasgebruik van de woningen en utiliteit wordt gezamenlijk bepaald door de energiebesparing en het type aansluitingen van de warmtevoorziening die hierboven zijn beschreven.

Bij de aardgasprijs in het achtergrondbeeld in 2030 neemt het resterende gasgebruik van het renovatieniveau huidig, midden en hoog af tot 83%, 66% respectievelijk 46% ten opzichte van de huidige situatie.

Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ neemt het gasgebruik van het renovatieniveau huidig, midden en hoog verder af tot 72%, 63% respectievelijk 16%. Bij het renovatieniveau huidig en midden wordt de afname veroorzaakt door een combinatie van energiebesparing en toename van het aandeel stadsverwarming. Bij het renovatieniveau hoog is de warmtevraag zo laag dat uitbreiding van stadsverwarming niet rendabel is. Daar staat tegenover dat een substantiële afname van het gasgebruik wordt bereikt door de vervanging van gasaansluitingen door voor het overgrote deel rendabele WKO en een klein deel elektrische warmtepompen.

Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³ neemt het gasgebruik van het renovatieniveau huidig, midden en hoog verder af tot 11%, 11% respectievelijk 8%. Bij het renovatieniveau huidig en midden wordt de afname vooral veroorzaakt door de toename van de stadsverwarming. Bij het renovatieniveau hoog wordt de verdere afname van het gasgebruik veroorzaakt doordat bij nog meer gebouwen de gasaansluitingen worden vervangen door wederom het grootste deel WKO en een klein deel elektrische warmtepompen.

Tabel 5.9 Aandeel gasgebruik door woningen en utiliteit exclusief warmtenetten in 2030 ten opzichte van de huidige situatie (%) voor rendabele energiebesparing bovenop een minimaal renovatieniveau (huidig, midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp) bij energieprijzen van het achtergrondbeeld en een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³. Het gasgebruik is voor het totaal van de gebouwde omgeving (woningen en utiliteit) maar exclusief de inzet van hulpwarmteketels voor stadsverwarming uit centrales, industrie en geothermie.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	83	72	11
Midden en rendabel	%	66	63	11
Hoog en rendabel	%	46	16	8
Hoog en elektrische warmtepomp	%	0	0	0

5.4.4 Gasgebruik warmtenetten

De warmtenetten worden gevoed door diverse warmtebronnen waaronder de hulpwarmteketel. Verondersteld is dat de hulpwarmteketel wordt gestookt met aardgas en 20 procent van de warmtelevering produceert voor met name de piekvraag in de winter. Het gasgebruik van de hulpwarmteketels van warmtenetten is dus afhankelijk van de omvang van de warmtelevering. De warmtelevering zal afnemen door energiebesparing maar kan ook toenemen in het geval gasaansluitingen worden vervangen door een aansluiting op het warmtenet van de stadsverwarming.

Bij de aardgasprijs in het achtergrondbeeld in 2030 is het gasgebruik van warmtenetten bij het renovatieniveau huidig, midden en hoog 111%, 80% respectievelijk 54% ten opzichte

van de huidige situatie. Dit wordt veroorzaakt door met name de aansluiting van circa 2/3 van de nieuwbouwwoningen en de helft van de utiliteit (vloeroppervlakte) op stadsverwarming. Het aantal aansluitingen op stadsverwarming neemt dus toe in het achtergrondbeeld maar de warmtelevering wordt getemperd door energiebesparing. Per saldo levert het een toename van het gasgebruik van warmtenetten bij renovatieniveau huidig en een afname bij het renovatieniveau midden en hoog.

Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas is het gasgebruik van warmtenetten bij het renovatieniveau huidig en midden nog hoger. In dit geval is het effect van een toename van de aansluitingen op stadsverwarming groter dan de energiebesparing. Bij het renovatieniveau hoog neemt de stadsverwarming niet toe maar wel WKO waarbij de hulpwarmteketel op aardgas niet nodig is.

Tabel 5.10 Aandeel gasgebruik door warmtenetten voor hulpwarmteketel en piekvraag ten opzichte van huidige situatie.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	111	115	210
Midden en rendabel	%	80	88	193
Hoog en rendabel	%	54	54	54
Hoog en elektrische warmtepomp	%	54	54	54

5.4.5 Gasgebruik woningen en utiliteit inclusief warmtenetten

We beschouwen nu het totale aardgasgebruik van de gebouwde omgeving. Dit is de optelsom van het aardgas dat gestookt wordt in woningen en utiliteit en de hulpwarmteketels van de warmtenetten.

Opvallend is het grote verschil tussen het totale gasgebruik en het gasgebruik van de gebouwen exclusief de hulpwarmteketels van de warmtenetten. Dit geldt vooral bij de verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³. Bij het renovatieniveau huidig en midden is er dan een verschil van 21%-punt (32% - 11%).

De verklaring hiervoor kan als volgt worden gegeven. Het aandeel gasgebruik van de hulpwarmteketel in het totale gasgebruik is 11% in 2015 en verdubbelt in absolute zin zoals blijkt uit de tabel van het gasgebruik van de hulpwarmteketel. Dit levert het verschil van 21%-punt. De verdubbeling van het absolute gasgebruik van de hulpwarmteketel hangt samen met de toename van het aantal aansluitingen van woningen op stadsverwarming van 32% in 2015 naar 87% in 2030 (factor 2,7). Daarnaast neemt het aantal woningen van 148 duizend in 2015 naar 165 duizend in 2030 (factor 1,1). Tegenover de toename van het aandeel stadsverwarming en het aantal woningen en de utiliteit staat een relatieve afname van de warmtevraag tot 70% in 2030. Het gasgebruik van de hulpwarmteketel verdubbelt ongeveer als gevolg van deze factoren (2,7*1,1*0,7).

Bij het renovatieniveau hoog is het verschil 5%-punt (13% - 8%). De 13% bestaat uit 8% gasaansluitingen en 5% gasgebruik door warmtenetten. Bij het renovatieniveau hoog is de warmtevraag van woningen ongeveer gehalveerd waardoor ook het gasgebruik van de stadsverwarming is afgenomen van 11% tot circa 5%.

Bij renovatieniveau hoog met de elektrische warmtepomp komt het aandeel gasgebruik (6%) volledig voor rekening van de warmtenetten. Verondersteld is immers dat bestaande gebouwen op stadsverwarming in 2015 aangesloten blijven op het warmtenet in 2030. Bestaande gebouwen met een gasaansluiting gaan allemaal over naar een warmtevoorziening met een elektrische warmtepomp.

Tabel 5.11 Aandeel gasgebruik door woningen en utiliteit inclusief warmtenetten in 2030 ten opzichte van de huidige situatie (%) voor rendabele energiebesparing bovenop een minimaal renovatieniveau (huidig, midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp) bij energieprijzen van het achtergrondbeeld en een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³. Het gasgebruik is voor het totaal van de gebouwde omgeving (woningen en utiliteit) en inclusief de inzet van hulpwarmteketels voor stadsverwarming uit centrales, industrie en geothermie.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	86	77	32
Midden en rendabel	%	68	65	32
Hoog en rendabel	%	46	20	13
Hoog en elektrische warmtepomp	%	6	6	6

5.4.6 CO₂-emissie

Voor de CO₂-emissie van de warmtevoorziening gelden dezelfde percentages met uitzondering van de extra elektriciteit die nodig is voor de elektrische warmtepompen en het gasgebruik voor de hulpketels van de stadsverwarming. CO₂-neutraliteit kan worden bereikt door aardgas te vervangen door groen gas en gebruik te maken van CO₂-loze elektriciteit. De beschikbaarheid van groen gas en CO₂-loze elektriciteit en de kosten hiervan zijn in deze studie niet onderzocht.

6 Gevoeligheidsanalyse

6.1 Terugverdiëntijd energiebesparing

Het merendeel van de investeringen in energiebesparing en energiezuinige installaties zoals de elektrische warmtepomp heeft een (te) lange terugverdiëntijd. Voor de implementatie van het klimaatbeleid is het nodig om te verkennen welke factoren hiervoor van belang zijn en wat de gevoeligheid van deze factoren is. We hebben daarom de gevoeligheid van de terugverdiëntijden onderzocht voor meer pessimistische en optimistische sets van uitgangspunten dan in de berekening van het achtergrondbeeld. De sets variëren in huidige investeringskosten (gebaseerd op individuele versus projectmatige aanpak van woningrenovatie), leerfactor (weinig versus veel technologieontwikkeling) en energieprijzen (huidige (relatief lage) energieprijzen versus toekomstig (relatief) hoog energieprijsscenario) (zie hoofdstuk 4). De resultaten staan voor de verschillende renovatieniveaus achtereenvolgens in de tabellen hieronder. Achter de terugverdiëntijd van de berekening van het achtergrondbeeld staat hierin de range met terugverdiëntijden van de sets met pessimistische en optimistische uitgangspunten. De meest opvallende conclusies zijn:

- Bij pessimistische uitgangspunten verslechteren de terugverdiëntijden aanzienlijk bij energieprijzen van het achtergrondbeeld in 2030. Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas vooral met 0,5 euro/m³ is dit effect aanzienlijk minder. Een verhoging van de energiebelasting op aardgas verkleint dus niet alleen de terugverdiëntijd van energiebesparing maar maakt deze ook minder gevoelig voor ongunstige omstandigheden;
- Bij optimistische uitgangspunten verbeteren de terugverdiëntijden aanzienlijk. Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 1,0 euro/m³ is het opmerkelijk dat de terugverdiëntijd van renovatieniveau hoog ongeveer op hetzelfde niveau ligt als hoog met elektrische warmtepomp. Voor beide renovatieniveaus ligt de terugverdiëntijd van alle woningcategorieën tussen de 8 en 22 jaar. Een vergelijkbaar resultaat geldt bij een verhoging van 0,5 euro/m³. Ook in dat geval is de terugverdiëntijd van beide renovatieniveaus ongeveer hetzelfde en ligt deze tussen de 9 en 25 jaar. De terugverdiëntijd is bij de verhoging van 0,5 euro/m³ dus slechts een paar jaar langer dan bij een verhoging met 1,0 euro/m³. Kortom: bij optimistische uitgangspunten levert een extra verhoging van de energiebelasting – met 0,5 naar 1,0 euro/m³ – bij de renovatieniveaus hoog en hoog met elektrische warmtepomp vrijwel geen extra bijdrage aan het verlagen van de terugverdiëntijd. We kunnen hieruit concluderen dat bij gunstige omstandigheden (flinke kostendaling door leereffecten en projectmatige aanpak) een extra verhoging van de energiebelasting niet noodzakelijk is om hetzelfde effect te realiseren;
- Bij de renovatieniveaus midden en hoog scheelt in de meeste gevallen de terugverdiëntijd tussen pessimistisch en optimistisch ruwweg een factor 2 dat wil zeggen de terugverdiëntijd is twee keer zo groot bij pessimistische als optimistische uitgangspunten. Bij renovatieniveau hoog met elektrische warmtepomp is het verschil in terugverdiëntijd tussen pessimistische en optimistische uitgangspunten een factor 4 of meer groter.

Uit het voorgaande kunnen een paar generieke conclusies worden getrokken. In de eerste plaats kan worden geconcludeerd dat de keuze van uitgangspunten van grote invloed kan zijn op de uitkomst van de terugverdiëntijd. Eerder hebben we al gezien dat de terugverdiëntijd tussen woningcategorieën aanzienlijk kan verschillen bij de standaarduitgangspunten. Voor de bepaling van kosteneffectieve maatregelen is dan maatwerk per woningcategorie no-

dig. De gevoeligheidsberekening laat zien dat ook de terugverdientijd van één woningcatego-
rie aanzienlijk kan veranderen indien andere uitgangspunten worden gekozen. Dit maakt het
nog belangrijker om zelfs voor iedere woning (apart of deel van een straat) na te gaan wat
precies de omstandigheden in heden en toekomst kunnen zijn die de terugverdientijd bepa-
len. Met andere woorden meer maatwerk - waaronder kennis van de woning en mogelijke
maatregelen - wordt nog belangrijker. In de tweede plaats levert de set met optimistische
uitgangspunten een hoopvol beeld met korte terugverdientijden zoals voor renovatieniveau
hoog variërend van 17 tot 41 jaar zonder verhoging van de energiebelasting en 9 tot 25 jaar
met verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³. Als derde generieke
conclusie kan worden gesteld dat het van belang is om beleid in te zetten gericht op het rea-
liseren van leereffecten en schaaleffecten (projectmatige aanpak) welke leiden tot kostenda-
lingen en daarmee een verbetering van de terugverdientijd.

Tabel 6.1 Terugverdientijd (jaar) renovatiewoningen naar niveau midden

Woningtype	Bouwperiode	Schillabel	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m3)		
			0,0	0,5	1,0
Rijwoning	t/m 1945	G	49 (34 - 78)	26 (20 - 37)	23 (18 - 31)
Rijwoning	1946 - 1964	F	24 (18 - 36)	13 (11 - 17)	11 (9 - 14)
Rijwoning	1975 - 1991	C	68 (51 - 100+)	37 (31 - 48)	32 (27 - 40)
Rijwoning	1992 - 2005	B	nvt	nvt	nvt
Rijwoning	2006 - 2014	A	nvt	nvt	nvt
Meergezins <=4 verdiepingen	voor 1946	G	25 (20 - 37)	14 (12 - 18)	12 (10 - 15)
Meergezins <=4 verdiepingen	1975 - 1991	C	100+	81 (69 - 100+)	69 (61 - 84)
Meergezins <=4 verdiepingen	2006 - 2014	A	nvt	nvt	nvt
Meergezins > 4 verdiepingen	1946 - 1964	D	46 (36 - 67)	25 (21 - 32)	21 (19 - 26)
Meergezins > 4 verdiepingen	1965 - 1974	E	70 (54 - 100+)	38 (32 - 49)	32 (28 - 40)

Tabel 6.2 Terugverdiëntijd (jaar) renovatiewoningen naar niveau hoog

Woningtype	Bouwperiode	Schillabel	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m3)		
			0,0	0,5	1,0
Rijwoning	t/m 1945	G	51 (27 - 73)	28 (16 - 35)	24 (14 - 29)
Rijwoning	1946 - 1964	F	33 (18 - 46)	18 (11 - 22)	15 (10 - 18)
Rijwoning	1975 - 1991	C	54 (30 - 74)	29 (18 - 35)	25 (16 - 29)
Rijwoning	1992 - 2005	B	41 (23 - 56)	22 (14 - 27)	19 (12 - 22)
Rijwoning	2006 - 2014	A	27 (15 - 37)	15 (9 - 18)	13 (8 - 14)
Meergezins <=4 verdiepingen	voor 1946	G	36 (20 - 49)	20 (12 - 23)	17 (11 - 19)
Meergezins <=4 verdiepingen	1975 - 1991	C	73 (41 - 98)	40 (25 - 47)	34 (22 - 38)
Meergezins <=4 verdiepingen	2006 - 2014	A	30 (17 - 40)	16 (10 - 19)	14 (9 - 16)
Meergezins > 4 verdiepingen	1946 - 1964	D	47 (26 - 63)	25 (16 - 30)	22 (14 - 24)
Meergezins > 4 verdiepingen	1965 - 1974	E	55 (31 - 74)	30 (18 - 35)	25 (16 - 29)

Tabel 6.2 Terugverdientijd (jaar) renovatiewoningen naar niveau hoog met elektrische warmtepomp

Woningtype	Bouwperiode	Schillabel	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m3)		
			0,0	0,5	1,0
Rijwoning	t/m 1945	G	100+	45 (16 - 100+)	36 (14 - 63)
Rijwoning	1946 - 1964	F	100+	34 (13 - 72)	28 (11 - 47)
Rijwoning	1975 - 1991	C	100+	52 (17 - 100+)	40 (15 - 77)
Rijwoning	1992 - 2005	B	100+	48 (14 - 100+)	36 (12 - 78)
Rijwoning	2006 - 2014	A	100+	34 (11 - 88)	26 (10 - 50)
Meergezins <=4 verdiepingen	voor 1946	G	100+	54 (16 - 100+)	42 (14 - 100+)
Meergezins <=4 verdiepingen	1975 - 1991	C	100+	104 (23 - 100+)	74 (21 - 100+)
Meergezins <=4 verdiepingen	2006 - 2014	A	100+	58 (14 - 100+)	43 (13 - 100+)
Meergezins > 4 verdiepingen	1946 - 1964	D	100+	65 (18 - 100+)	50 (16 - 100+)
Meergezins > 4 verdiepingen	1965 - 1974	E	100+	73 (19 - 100+)	54 (17 - 100+)

6.2 Volgorde van energiebesparing en stadsverwarming

Het potentieel van energiebesparing en stadsverwarming is gezamenlijk doorgerekend in paragraaf 5.1 en 5.3. Daarbij is geanalyseerd hoe groot het potentieel is als alleen maatregelen (gebouwmaatregelen en stadsverwarming) worden genomen die rendabel zijn (paragraaf 5.1). Ook is het potentieel bepaald van varianten waarbij eerst alle gebouwen werden gerenoveerd tot een bepaald energiebesparingsniveau waarna vervolgens aanvullend nog extra rendabele energiebesparingsmaatregelen zijn ingezet en het warmtenet van stadsverwarming is uitgebreid naar buurten waar dat rendabel is (paragraaf 5.3). De volgorde waarin de energiebesparing en uitbreiding van het warmtenet wordt genomen is van invloed op de rendabiliteit van met name de stadsverwarming. Als eerst de energiebesparingsmaatregelen worden genomen dan neemt de warmtevraag af waardoor investeringen in stadsverwarming minder rendabel worden. In de praktijk kan echter tot de uitrol van stadsverwarming worden besloten op basis van de huidige warmtevraag of een gepland renovatieniveau bijvoorbeeld alle woningen naar renovatieniveau 'midden'. In deze paragraaf onderzoeken we of de volgorde van maatregelen veel verschil maakt op de uitkomst van de integrale doorrekening.

De bandbreedte in de tabellen geeft de spreiding in resultaten. Bij het eerste getal dat tussen haakjes staat is als eerste de rendabele energiebesparing genomen in het jaar 2020. Vervolgens is op basis van de resterende warmtevraag per buurt berekend of het rendabel is om een warmtenet aan te leggen in 2030. Bij het tweede getal tussen de haakjes is de volgorde andersom. In dat geval wordt de stadsverwarming als eerste uitgebreid in buurten waar dit rendabel is bij de huidige status van de gebouwen in 2020. Pas in 2030 worden de energiebesparingsmaatregelen genomen die dan rendabel zijn. Het getal dat voor de tussenhaakjes staat is het gemiddelde van de bandbreedte. Dit gemiddelde is gepresenteerd in paragraaf 5.1 en 5.3. Merk op dat in sommige gevallen er geen bandbreedte is gepresenteerd. In dat geval is er geen verschil tussen de volgordes. Voor het renovatieniveau 'hoog' en 'hoog met elektrische warmtepomp' zijn geen andere volgordes doorgerekend. Voor de vergelijkbaarheid zijn de renovatieniveaus 'hoog' en 'hoog met elektrische warmtepomp' wel opgenomen in de tabellen.

6.2.1 Warmtevraag

De warmtevraag van gebouwen is de optelsom van het aardgasverbruik en het warmteverbruik uit het warmtenet van de stadsverwarming en de WKO-installatie aan de meter van het gebouw alsmede het elektriciteitsverbruik door de warmtepomp.

Kijken we naar de volgorde van het nemen van eerst energiebesparing of eerst warmtenetten dan zien we slechts een beperkt effect op de warmtevraag. De reden is dat de energiebesparing vrijwel evenveel rendeert bij een gasketel als een warmtenet. In de berekening is namelijk uitgegaan van een warmteprijs van het warmtenet op basis van het Niet-meer-dan-anders principe. Er kunnen wel verschillen optreden omdat de energiebesparing rendabeler kan zijn in 2030 dan in 2020. De leerfactor is namelijk gunstiger in 2030. Daar staat tegenover dat de aardgasprijs in 2020 juist hoger is dan in 2030. Beide effecten hebben per saldo een klein effect op de totale warmtevraag van de gebouwen in Utrecht zoals blijkt uit de volgende tabel. We moeten ons echter goed realiseren dat dit een gevolg is van het gekozen prijzenscenario. Bij een andere ontwikkeling van de aardgasprijs waarbij de aardgasprijs in 2030 wel hoger is dan in 2020 kan het verschil in warmtevraag wel groter zijn.

Tabel 6.3 Aandeel van de warmtevraag in 2030 vergeleken met de situatie in 2015 (%) bij verschillende volgordes van de keuze voor de inzet van energiebesparing en warmtenetten. Tussenhaakjes links: eerste keuze is energiebesparing; tussenhaakjes rechts: eerste keuze is stadsverwarming. Het gemiddelde staat voor de haakjes.

Gepresenteerd zijn varianten met rendabele energiebesparing bovenop het minimale renovatieniveau van huidig, midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp in combinatie met de energieprijzen van het achtergrondbeeld met een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0 euro/m³; 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	94 (93-95)	87 (86-88)	73 (72-73)
Midden en rendabel	%	73	73	68 (67-68)
Hoog en rendabel	%	51	48	48
Hoog en elektrische warmtepomp	%	47	47	47

6.2.2 Aansluitingen warmtevoorziening

Om extra buurten aan te sluiten op het warmtenet van de stadsverwarming moet de warmtevraag voldoende groot en de warmteprijs voldoende hoog zijn. In alle beschouwde situaties wordt minimaal 35% van de gebouwen van warmte voorzien door stadsverwarming in 2030. Het minimum bestaat uit de gebouwen die momenteel al gebruik maken van stadsverwarming en de nieuwbouw die in z'n geheel in buurten ligt waar al een warmtenet ligt. Zonder verhoging van de energiebelasting op aardgas komen hier geen of nauwelijks nieuwe aansluitingen bij. Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas wordt de warmteprijs zo hoog dat het rendabel is om meer buurten aan te sluiten op stadsverwarming. Dit geldt als alleen rendabele energiebesparingsmaatregelen worden genomen en bij de variant met renovatieniveau midden. We zien hier dat de volgorde van maatregelen invloed heeft op het percentage aansluitingen met name bij de verhoging van energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³. In dat geval wordt 98% van de gebouwen aangesloten op stadsverwarming indien als eerste de warmtenetten worden genomen en pas daarna de energiebesparing.

Voor de variant met renovatieniveau hoog is verondersteld dat geen extra buurten worden aangesloten op het warmtenet. Daarentegen zijn de gebouwen voldoende geïsoleerd om verwarmd te worden door een lage temperatuurbron zoals een WKO-installatie. Naarmate de verhoging van de energiebelasting op aardgas hoger is, is een aansluiting op het WKO net voor meer bestaande gebouwen rendabel.

Tabel 6.4 Aandeel van woningen met aansluitingen op gas respectievelijk stadsverwarming, WKO en elektrische warmtepompen (%) bij verschillende volgordes van de keuze voor de inzet van energiebesparing en warmtenetten. Tussenhaakjes links: eerste keuze is energiebesparing; tussenhaakjes rechts: eerste keuze is stadsverwarming. Het gemiddelde staat voor de haakjes.

Gepresenteerd zijn varianten met rendabele energiebesparing bovenop het minimale renovatieniveau van huidig, midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp in combinatie met de energieprijzen van het achtergrondbeeld met een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0 euro/m³; 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	60/36/4/0	56/41/2/1 (57/41/2/1 56/41/3/0)	9/87/2/2 (18/75/4/3 1/98/1/0)
Midden en rendabel	%	60/35/5/0 (60/35/5/0 60/36/4/0)	58/39/3/0 (60/37/3/0 56/41/3/0)	10/89/1/0 (20/79/1/0 1/98/1/0)
Hoog en rendabel	%	60/35/5/0	19/35/46/0	7/35/58/0
Hoog en elektrische warmtepomp	%	0/35/0/65	0/35/0/65	0/35/0/65

Voor de rendabele doorrekening vanaf het huidige niveau (in de tabel aangeduid als 'Huidig en rendabel') zijn twee kaarten gemaakt van de aansluitingen van woningen. De eerste kaart geeft de aansluitingen op stadsverwarming en WKO indien als eerste voor de warmtenetten wordt gekozen en pas daarna de energiebesparing. Bij de tweede kaart is de volgorde omgedraaid: eerst wordt gekozen voor de energiebesparing en pas daarna de warmtenetten.

De kaarten zijn gemaakt bij de energieprijzen in het achtergrondbeeld en varianten met een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5; 0,75; en 1,0 euro/m³. De verhoging met 0,75 euro/m³ is toegevoegd om de extra gevoeligheid te laten zien voor deze orde van grootte van de aardgasprijs.

6.2.3 Gasgebruik van woningen en utiliteit exclusief warmtenetten

Het gasgebruik van de woningen en utiliteit is het gevolg van de warmtevraag en de aansluitingen op de warmtevoorziening die in de twee voorgaande paragrafen zijn behandeld. De volgorde van energiebesparing en stadsverwarming maakt weinig uit in het geval de verhoging van de energiebelasting op aardgas 0,0 of 0,5 euro/m³ is. Bij een verhoging van 1,0 euro/m³ is de volgorde wel van invloed. Het gasgebruik wordt gereduceerd tot ongeveer 20% indien eerst de rendabele energiebesparing wordt genomen en tot 2% indien eerst de rendabele stadsverwarming wordt genomen. Dit geldt indien alleen rendabele maatregelen worden genomen en bij de variant met renovatieniveau midden.

Tabel 6.5 Aandeel gasgebruik in 2030 vergeleken met de situatie in 2015 (%) bij verschillende volgordes van de keuze voor de inzet van energiebesparing en warmtenetten. Tussenhaakjes links: eerste keuze is energiebesparing; tussenhaakjes rechts: eerste keuze is stadsverwarming. Het gemiddelde staat voor de haakjes.

Gepresenteerd zijn varianten met rendabele energiebesparing bovenop het minimale renovatieniveau van huidig, midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp in combinatie met de energieprijzen van het achtergrondbeeld met een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0 euro/m³; 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³. Het gasgebruik is voor het totaal van de gebouwde omgeving (woningen en utiliteit) maar exclusief inzet van hulpketels voor stadsverwarming uit centrales, industrie en geothermie.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	83 (82-84)	72	11 (19-2)
Midden en rendabel	%	66 (67-65)	63 (64-61)	12 (22-2)
Hoog en rendabel	%	46	16	8
Hoog en elektrische warmtepomp	%	0	0	0

6.2.4 Gasgebruik hulpwarmteketel warmtenet

De bandbreedte in het gasgebruik van de hulpwarmteketel van warmtenetten staat in onderstaande tabel en is het directe gevolg van de warmtevraag die wordt geleverd door de stadsverwarming. De laatste is reeds besproken in de vorige paragraaf.

Tabel 6.6 Aandeel gasgebruik door warmtenetten voor hulpwarmteketel en piek-vraag in 2030 vergeleken met de situatie in 2015 (%) bij verschillende volgordes van de keuze voor de inzet van energiebesparing en warmtenetten. Tussenhaakjes links: eerste keuze is energiebesparing; tussenhaakjes rechts: eerste keuze is stadsverwarming. Het gemiddelde staat voor de haakjes.

Gepresenteerd zijn varianten met rendabele energiebesparing bovenop het minimale renovatieniveau van huidig, midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp in combinatie met de energieprijzen van het achtergrondbeeld met een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0 euro/m³; 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	111 (110-112)	115 (113-116)	210 (187-232)
Midden en rendabel	%	77-82	88 (84-92)	193 (165-220)
Hoog en rendabel	%	54	54	54
Hoog en elektrische warmtepomp	%	54	54	54

6.2.5 Gasgebruik woningen en utiliteit inclusief warmtenetten

De bandbreedte van het gasgebruik van woningen en utiliteit inclusief de hulpketel van warmtenetten is (zeer) gering. Alleen bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³ is er een redelijk forse spreiding van 5%-punt rondom het gemiddelde aandeel van 32% in 2030 ten opzichte van 2015.

Indien de op aardgasgestookte hulpwarmteketel van de stadsverwarming wordt vervangen door aardgasloze alternatieven dan is de tabel uit paragraaf 6.2.3 van toepassing. Het aandeel gasgebruik bij de verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³ is dan in sommige gevallen (aanzienlijk) lager en de bandbreedte groter. Het aandeel aardgasgebruik in 2030 is dan 2% indien als eerste rendabele stadsverwarming wordt ingezet. Wordt echter gekozen voor renovatieniveau hoog dan is het aandeel gasgebruik 8% in 2030 ten opzichte van de huidige situatie. Indien wordt gekozen voor renovatieniveau hoog met elektrische warmtepomp dan wordt logischerwijs in het geheel geen aardgas meer ingezet voor de warmtevoorziening van de gebouwen.

Tabel 6.7 Aandeel gasgebruik in 2030 vergeleken met de situatie in 2015 (%) bij verschillende volgordes van de keuze voor de inzet van energiebesparing en warmtenetten. Tussenhaakjes links: eerste keuze is energiebesparing; tussenhaakjes rechts: eerste keuze is stadsverwarming. Het gemiddelde staat voor de haakjes.

Gepresenteerd zijn varianten met rendabele energiebesparing bovenop het minimale renovatieniveau van huidig, midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp in combinatie met de energieprijzen van het achtergrondbeeld met een verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0 euro/m³; 0,5 euro/m³ en 1,0 euro/m³. Het gasgebruik is voor het totaal van de gebouwde omgeving (woningen en utiliteit) maar inclusief inzet van hulpketels voor stadsverwarming uit centrales, industrie en geothermie.

Renovatieniveau	Eenheid	Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m ³)		
		0,0	0,5	1,0
Huidig en rendabel	%	86 (85-87)	77 (76-77)	32 (37-27)
Midden en rendabel	%	68 (68-67)	65 (66-64)	32 (37-26)
Hoog en rendabel	%	46	20	13
Hoog en elektrische warmtepomp	%	6	6	6

6.3 Volgorde van stadsverwarming en WKO

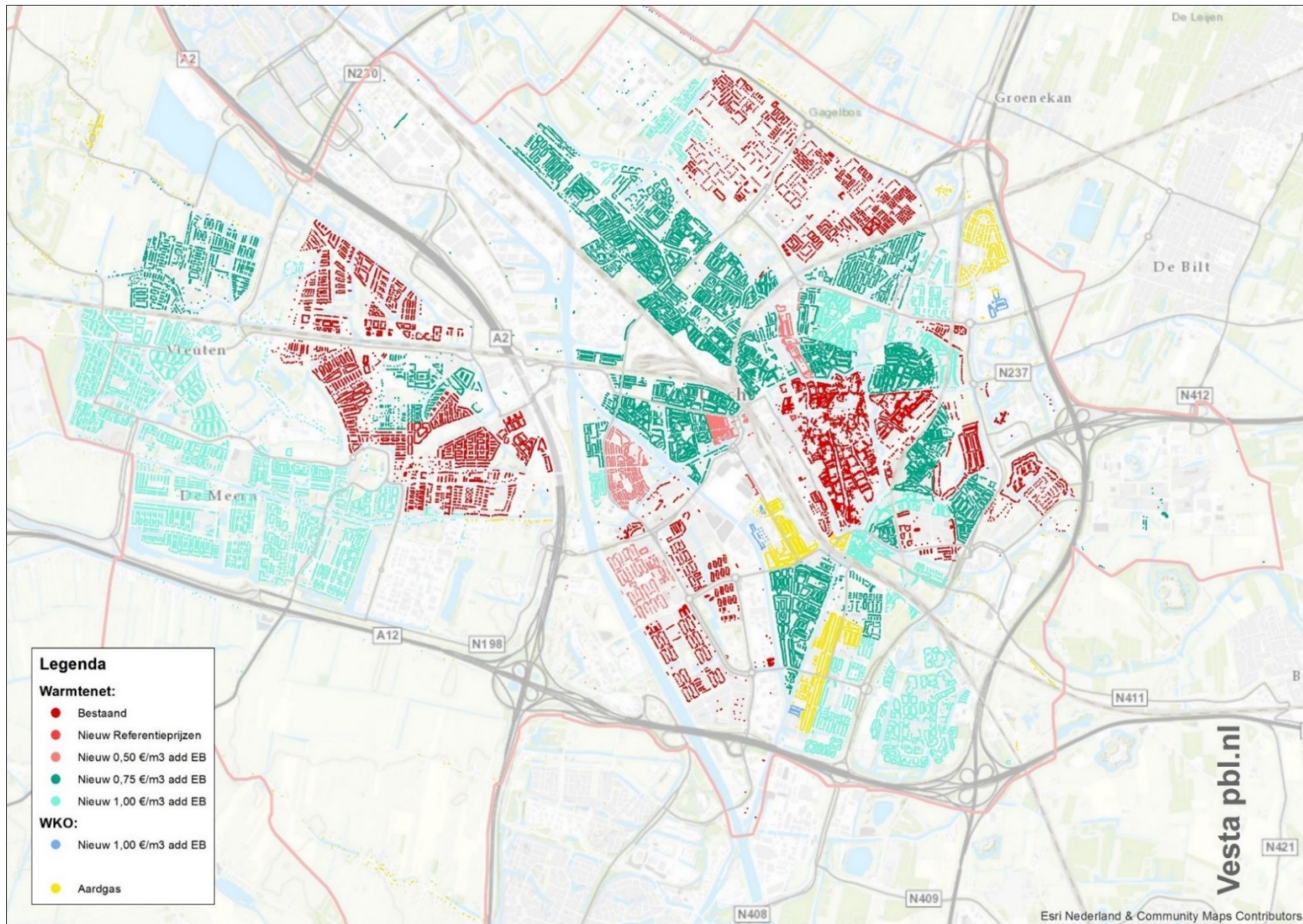
In deze studie is tot nu toe in alle doorrekeningen met zowel energiebesparing als warmtenetten stadsverwarming als eerste en WKO als tweede prioriteit ingezet. Dat betekent dat het model als eerste per buurt berekent of stadsverwarming rendabel is en pas daarna de WKO. Indien de stadsverwarming rendabel is dan stappen alle gebouwen met een gasaansluiting over op aansluiting op stadsverwarming. Geen van deze gebouwen krijgt dan een WKO aansluiting. Indien stadsverwarming echter niet rendabel is voor de buurt dan wordt berekend of een WKO aansluiting per gebouw van de buurt rendabel is. De afweging voor stadsverwarming gebeurt dus op buurniveau terwijl de keuze voor WKO op gebouwniveau (of groep van gebouwen) plaatsvindt. In deze paragraaf hebben we een aantal doorrekeningen gedaan met de omgekeerde volgorde namelijk WKO als eerste en stadsverwarming als tweede prioriteit.

De doorrekeningen zijn gedaan voor de situatie nadat alle rendabele energiebesparingsmaatregelen zijn genomen in het achtergrondbeeld en de verhogingen van de energiebelasting op aardgas. Behalve de verhogingen op aardgas met 0,5 en 1,0 euro/m³ is ook een verhoging met 0,75 euro/m³ doorgerekend. De doorrekening heeft plaatsgevonden waarbij de verhogingen achterelkaar hebben plaatsgevonden. Dat betekent dat indien een gebouw eenmaal is overgestapt op stadsverwarming respectievelijk WKO het daarna deze zelfde aansluiting houdt. Het resultaat van de aansluitingen van woningen staat in de kaart van figuur 6.2 en 6.3. De eerste kaart geeft de situatie met prioriteit stadsverwarming als eerste en WKO als tweede. De tweede kaart is net andersom. Vergelijking van de twee kaarten leert dat voor

sommige buurten WKO rendabeler is dan stadsverwarming. Dit is vooral het geval bij buurten met woningen die al een lage warmtevraag hebben zoals in delen van Leidsche Rijn. Daarnaast zien we dat in sommige buurten stadsverwarming rendabel is als alle gebouwen worden aangesloten op de stadsverwarming maar dat dit niet meer het geval is als enkele woningen over zijn gegaan op een WKO aansluiting.

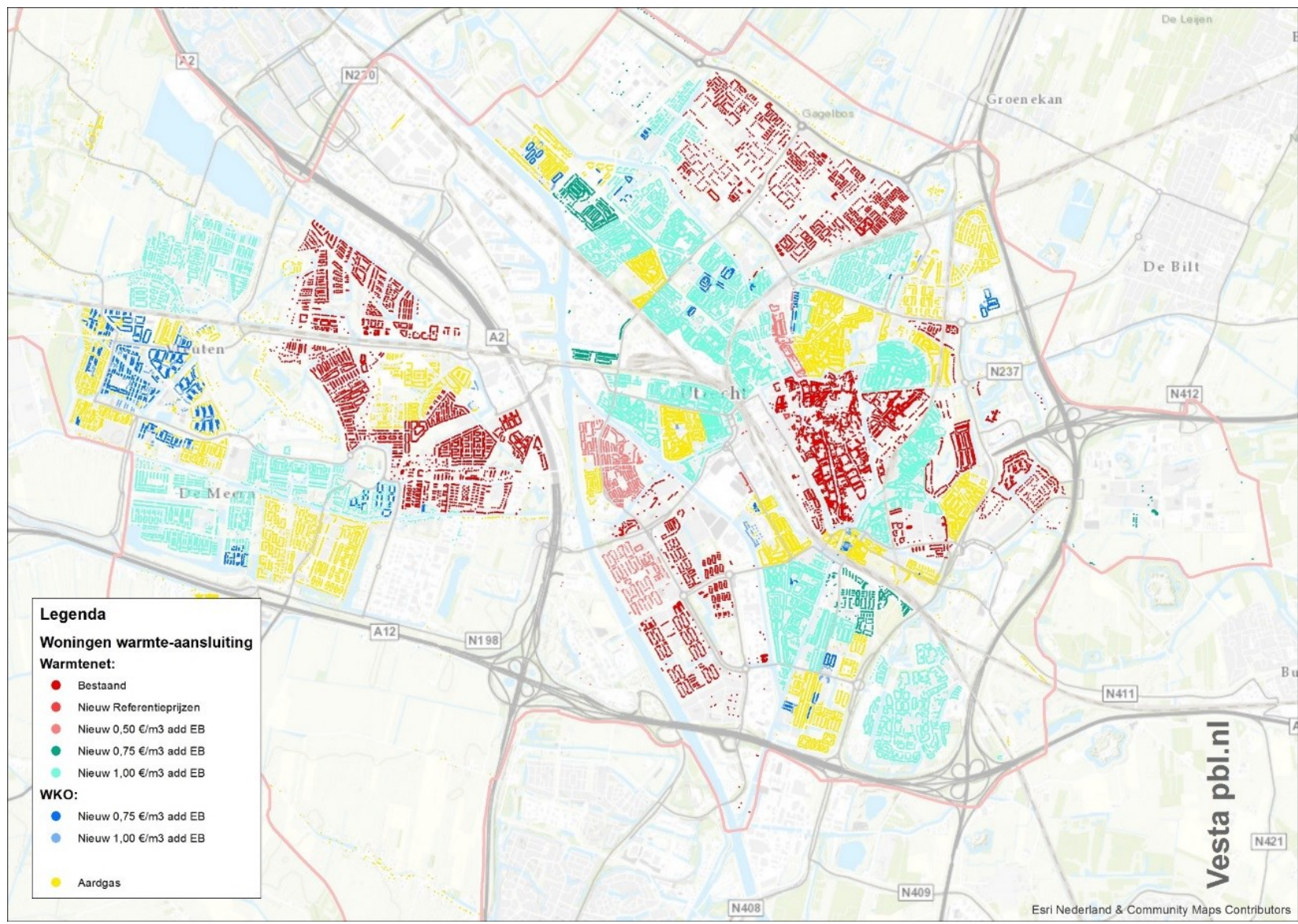
Concluderend kan worden gesteld dat door de volgordekeuze in deze studie het aantal aansluitingen op warmte en koudnetten van WKO mogelijk wordt onderschat ten koste van de aansluitingen op stadsverwarming. Het aantal WKO aansluitingen kan daarnaast ook mogelijk nog veel groter zijn indien de investeringskosten van WKO naar beneden worden bijgesteld. Het is goed denkbaar dat de investeringskosten van WKO de komende jaren door grootschalige toepassing en projectmatige aanpak een vergelijkbare kostendaling meemaken als in de optimistische gevoeligheidsvariant van de terugverdientijd van renovatieniveau hoog met elektrische warmtepomp. De technieken die hierbij worden toegepast zijn immers voor een groot deel hetzelfde.

**Figuur 6.1 Aansluiting woningen op gas, stadsverwarming en warmtekuoedopslag.
Variant Rendabel voor energiebesparing. Volgorde: 1 Stadsverwarming 2 WKO**

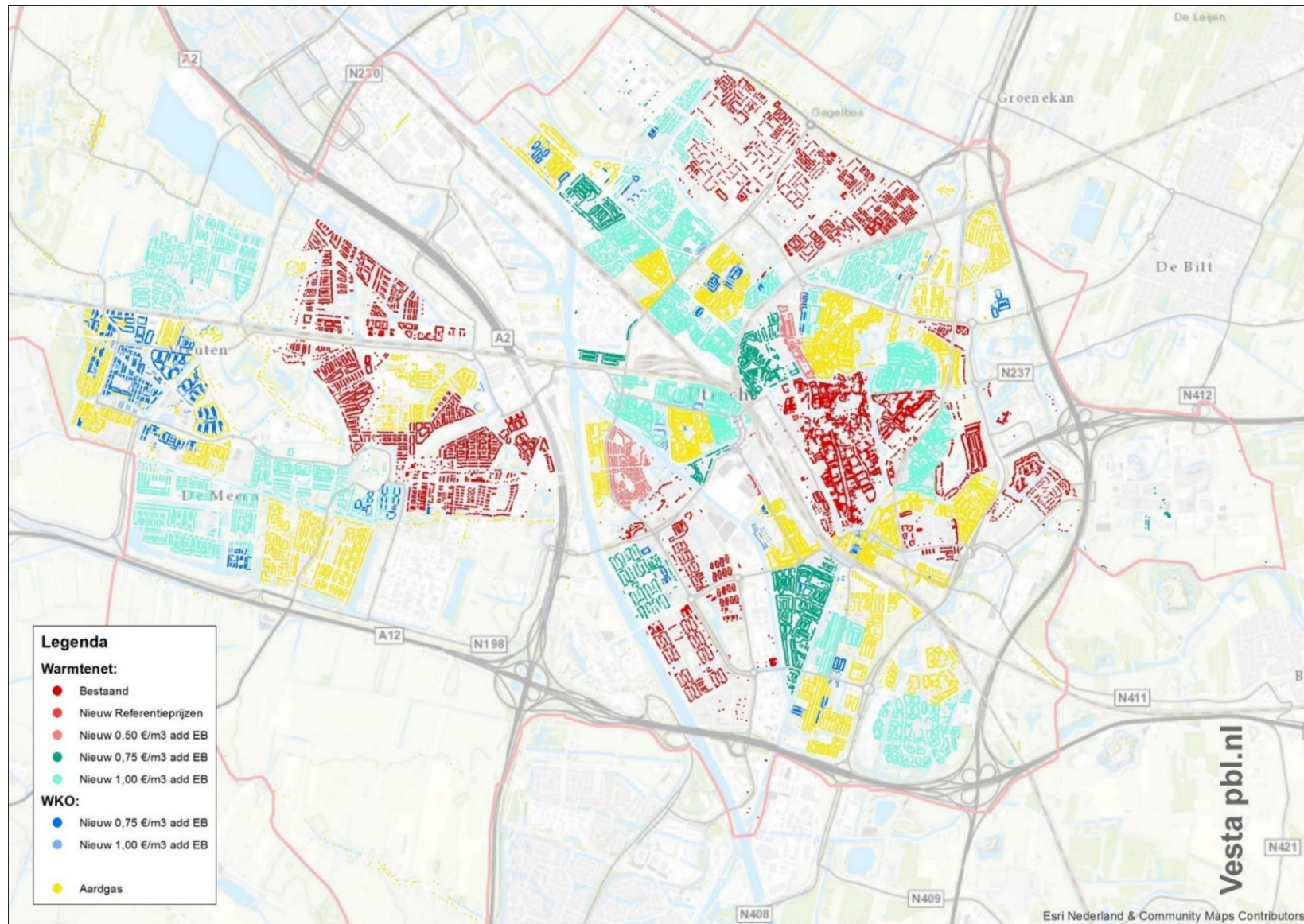


Figuur 6.2 Aansluiting woningen op gas, stadsverwarming en warmtekuudeopslag.

Variante Rendabel na energiebesparing. 1 Stadsverwarming 2 WKO



**Figuur 6.3 Aansluiting woningen op gas, stadsverwarming en warmtekuudeopslag.
Variant Rendabel na energiebesparing. Volgorde: 1 WKO 2 Stadsverwarming.**



6.4 Hybride warmtepomp

In deze verkenning naar klimaatneutrale wijken in de gemeente Utrecht is in hoofdstuk 5 gekeken naar vermindering van de warmtevraag via energiebesparing al dan niet in combinatie met aansluiting op warmtenetten of elektrische warmtepompen. In deze paragraaf vergelijken we deze mogelijkheden met de situatie dat woningen worden voorzien van een hybride warmtepomp. Bij een hybride warmtepomp blijft de woningen wel aangesloten op het aardgasnet maar wordt naast de cv-ketel op aardgas ook een warmtepomp op elektriciteit geïnstalleerd. De hybride warmtepomp halveert ruwweg het jaarlijkse aardgasgebruik van goed geïsoleerde woningen. Het voordeel van de hybride warmtepomp vergeleken met de volledige elektrische warmtepomp is dat de hybride warmtepomp ook kan worden toegepast bij slecht of matig geïsoleerde woningen terwijl de elektrische warmtepomp alleen kan worden toegepast bij goed geïsoleerde woningen inclusief een lage temperatuur afgiftesysteem (aangepaste radiatoren en/of vloerverwarming). Een ander voordeel kan zijn dat de investeringskosten ongeveer de helft zijn vergeleken met een volledig elektrische warmtepomp. De hybride warmtepomp wordt veelal gezien als tussenfase om ervaring op te doen met warmtepompen of om woningen pas later en/of geleidelijk te renoveren tot een hoog energiebesparingsniveau met aanpassingen voor het lage temperatuurafgiftesysteem en een volledige elektrische warmtepomp. Een andere optie waar in de toekomst nog voor kan worden gekozen is het geheel of gedeeltelijk vervangen van het aardgas door groen gas of waterstof. De hoeveelheid groen gas en waterstof is waarschijnlijk echter beperkt en duur. Dan is het van belang dat er weinig gas wordt gebruikt. Energiebesparing en de hybride warmtepomp helpen daarbij. Bij waterstof moeten er ook aanpassingen worden gedaan aan het aardgasnet en de kook- en verwarmingsapparaten. Dit hoeft niet gelijktijdig plaats te vinden zodat de overstap op waterstof later kan plaatsvinden dan de energiebesparing en de installatie van de hybride warmtepomp.

We beschouwen de terugverdientijden van de hybride warmtepomp voor twee situaties. De eerste situatie is de installatie van een hybride warmtepomp in de huidige situatie van de woning. In de tweede situatie wordt de renovatie naar niveau midden gecombineerd met de installatie van de hybride warmtepomp. Voor deze situaties wordt de hybride warmtepomp vergeleken met de renovaties naar het niveau midden, hoog en hoog met elektrische warmtepomp uit hoofdstuk 5. Dit leidt tot de volgende resultaten.

De terugverdientijd van de hybride warmtepomp die wordt toegepast bij woningen zonder andere energiebesparingsmaatregelen is meestal gunstiger dan de andere renovaties maar alleen indien de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd:

- Bij referentieprijzen verdient de hybride warmtepomp zich niet terug (de terugverdientijd is groter dan 100 jaar). Dit is vergelijkbaar met de renovatie naar hoog met elektrische warmtepomp;
- Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m³ heeft de hybride warmtepomp de kortste terugverdientijd van alle beschouwde renovatieniveaus bij vier van de vijf bouwperiodes van rijwoningen (10 – 14 jaar) en bij 3 van de 5 bouwperiodes bij meergezinswoningen (24 – 37 jaar);
- Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m³ heeft de hybride warmtepomp de kortste terugverdientijd bij alle bouwperiodes van rijwoningen (7 – 10 jaar) en 3 van de 5 bouwperiodes van meergezinswoningen (16 – 20 jaar).

Indien de renovatie van woningen naar niveau midden wordt gecombineerd met een hybride warmtepomp dan is de terugverdientijd meestal gunstiger dan de andere renovaties indien de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd:

- Bij referentieprijzen verdient de renovatie naar midden met hybride warmtepomp zich niet terug. Dit is vergelijkbaar met een hybride warmtepomp zonder renovatie en de renovatie naar hoog met elektrische warmtepomp;
- Bij een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 en 1,0 euro/m³ is de terugverdientijd in de meeste gevallen vergelijkbaar of gunstiger dan andere renovaties:
 - voor sommige combinaties van woningtype en –bouwperiode is de renovatie naar midden met hybride warmtepomp soms korter en soms langer vergeleken met de renovatie naar niveau midden zonder hybride warmtepomp;
 - de terugverdientijd is korter bij bijna alle rijwoningen en langer bij meergezinswoningen vergeleken met de renovatie naar label hoog;
 - korter bij bijna alle woningen vergeleken met de renovatie naar label hoog met elektrische warmtepomp.

Algemene conclusie is dat de hybride warmtepomp een aantrekkelijke terugverdientijd heeft indien de energiebelasting wordt verhoogd. De terugverdientijd van de hybride warmtepomp is gunstiger dan de andere renovaties (inclusief de elektrische warmtepomp). Daar staat tegenover dat er minder gas wordt bespaard dan bij een elektrische warmtepomp of aansluiting op een warmtenet.

Tabel 6.8 Terugverdientijd (jaar) hybride (hWP) en elektrische (eWP) warmtepompen en schilisolatie woningen, referentiepreizen.

Woningtype	Bouwperiode	Huidig schillabel	hWP	Renovatie naar schillabel B	Renovatie naar schillabel B met hWP	Renovatie naar schillabel A+	Renovatie naar schillabel A+ met eWP
Rijwoning	t/m 1945	G	100+	49	100+	51	100+
Rijwoning	1946 - 1964	F	100+	24	63	33	100+
Rijwoning	1975 - 1991	C	100+	68	100+	54	100+
Rijwoning	1992 - 2005	B	100+	nvt	100+	41	100+
Rijwoning	2006 - 2014	A	100+	nvt	nvt	27	100+
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	voor 1946	G	100+	25	100+	36	100+
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	1975 - 1991	C	100+	100+	100+	73	100+
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	2006 - 2014	A	100+	nvt	nvt	30	100+
Meergezins (> 4 verdiepingen)	1946 - 1964	D	100+	46	100+	47	100+
Meergezins (> 4 verdiepingen)	1965 - 1974	E	100+	70	100+	55	100+

Tabel 6.9 Terugverdientijd (jaar) hybride (hWP) en elektrische (eWP) warmtepompen en schilisolatie woningen, verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,5 euro/m3.

Woningtype	Bouwperiode	Huidig schillabel	hWP	Renovatie naar schillabel B	Renovatie naar schillabel B met hWP	Renovatie naar schillabel A+	Renovatie naar schillabel A+ met eWP
Rijwoning	t/m 1945	G	11	26	25	28	46
Rijwoning	1946 - 1964	F	10	13	16	18	35
Rijwoning	1975 - 1991	C	14	37	29	29	53
Rijwoning	1992 - 2005	B	16	nvt	17	22	50
Rijwoning	2006 - 2014	A	13	nvt	nvt	15	35
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	voor 1946	G	24	28	36	28	67
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	1975 - 1991	C	37	81	68	40	100+
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	2006 - 2014	A	27	nvt	nvt	16	61
Meergezins (> 4 verdiepingen)	1946 - 1964	D	27	25	36	25	68
Meergezins (> 4 verdiepingen)	1965 - 1974	E	29	38	44	30	76

Tabel 6.10 Terugverdientijd (jaar) hybride (hWP) en elektrische (eWP) warmtepompen en schilisotatie woningen, verhoging van de energiebelasting op aardgas met 1,0 euro/m3.

Woningtype	Bouwperiode	Huidig schillabel	hWP	Renovatie naar schillabel B	Renovatie naar schillabel B met hWP	Renovatie naar schillabel A+	Renovatie naar schillabel A+ met eWP
Rijwoning	t/m 1945	G	7	23	20	24	37
Rijwoning	1946 - 1964	F	7	11	13	15	28
Rijwoning	1975 - 1991	C	9	32	22	25	41
Rijwoning	1992 - 2005	B	10	nvt	12	19	37
Rijwoning	2006 - 2014	A	8	nvt	nvt	13	27
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	voor 1946	G	14	12	18	17	43
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	1975 - 1991	C	20	69	42	34	77
Meergezins (<= 4 verdiepingen)	2006 - 2014	A	16	nvt	nvt	14	44
Meergezins (> 4 verdiepingen)	1946 - 1964	D	16	21	26	22	51
Meergezins (> 4 verdiepingen)	1965 - 1974	E	17	32	30	25	56

7 Referenties

- BAG (2017) Basisregistraties Adressen en Gebouwen, <https://www.kadaster.nl/bag>
- CE (2017) Functioneel ontwerp Vesta 3.0. CE Delft, december 2017.
- Greenvis (2016) Beschrijving afwegingskader kanskaart warmte Provincie Utrecht, 2016.
- Kamerbrief (2018) Kamerbrief van de Minister van Economische Zaken en Klimaat aan de Voorzitter van de Tweede Kamer, 12 juni 2018.
- Leguijt (2013) Vesta 2.0 Dataverificaties en uitbreidingen, CE Delft 2013.
- NEV (2015) Nationale Energieverkenning 2015, ECN 2015.
- NEV (2016) Nationale Energieverkenning 2015, ECN 2015.
- NEV (2017) Nationale Energieverkenning 2017, ECN 2017.
- PBL (2012) Vesta ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving Data en methoden, PBL, april 2012.
- PBL & CPB (2015) Welvaart en Leefomgeving – langetermijnontwikkelingen rond klimaat en energie. Den Haag: PBL 2015
- PBL (2017) Interne PBL-database met gebieden waar geen WKO kan worden toegepast, 2017.
- Regerakkoord (2017) Vertrouwen in de toekomst, Regerakkoord 2017 – 2021, VVD, CDA, D66 en ChristenUnie 2017.
- RVO (2017) Warmteatlas Nederland, RVO 2017.
- Utrecht (2017) Visie op de warmtevoorziening in Utrecht, Naar een klimaatneutrale stad, gemeente Utrecht, Programma Utrechtse energie, 2017.
- Utrecht (2018) Utrecht Ruimte voor iedereen, Coalitieakkoord GroenLinks*D66*ChristenUnie, Utrecht 2018.
- Wijngaart (2017), Het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving, Algemene beschrijving, PBL 2017.