



Planbureau voor de Leefomgeving

HET VESTA MAIS RUIMTELIJK ENERGIEMODEL VOOR DE GEOBOUWDE OMGEVING

Algemene beschrijving

Achtergrondstudie

Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas van Bemmel

18 december 2017

PBL

Colofon

Het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2017

PBL-publicatienummer: 3181

Contact

Ruud.vandenwijngaart@pbl.nl

Auteurs

Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas van Bemmel

Redactie figuren

Durk Nijdam

Met dank aan de volgende personen die waardevol commentaar hebben geleverd op onderdelen en/of de conceptversie van dit rapport, in alfabetische volgorde, te beginnen met de leden van het kernteam MAIS: Lex Bosselaar, Leo Brouwer, Pieter de Jong, Piet Kruithof, Gijs de Man, Wouter Schaaf, Maya van der Steenhoven, Dirk Jan van Swaay, Dia de Wijs, Leon Wijshoff; en de PBL-collega's Corjan van de Brink en Nico Hoogervorst. Daarnaast is dank verschuldigd voor informatie, functioneel ontwerp en software ontwikkeling aan Maarten Hilferink (Object Vision BV) en Benno Schepers (CE Delft).

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding:
Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas van Bemmel (2017), Het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving, 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

1	Inleiding	5
2	Algemene beschrijving van het Vesta MAIS model	8
2.1	Inleiding	8
2.1.1	Gebiedsmaatregelen	8
2.1.2	Gebouwmaatregelen	9
2.1.3	Interactie van vraag en aanbod	9
2.2	Gebouwen	10
2.2.1	Bestaande voorraad van gebouwen	10
2.2.2	Ruimtelijke ontwikkeling	11
2.3	Energiegebruik	11
2.3.1	Definitie functionele energievraag en metervraag	11
2.3.2	Energievraag basisjaar	12
2.3.3	Energievraag toekomstig jaar	13
2.4	Maatregelen	13
2.4.1	Gebouwmaatregelen	13
2.4.2	Gebiedsmaatregelen	16
2.4.3	2.4.3 Groen gas	16
2.5	Rentabiliteitsberekening van gebiedsmaatregelen	16
2.6	Kostenrange en leercurves	21
2.7	Gas- en elektriciteitsleverancier	21
2.8	Energieprijzen	21
2.9	Kosten en baten van actoren	22
2.10	Beleidsinstrumenten	24
3	Referentiepaden en beleidsvarianten	25
3.1	Referentiepaden	25
3.2	Beleidsvarianten	27
3.2.1	Hoofdvariant A Energiebelasting en CO ₂ -heffing	29
3.2.2	Hoofdvariant B Subsidie op de investering	31
3.2.3	Hoofdvariant C Subsidie op de geproduceerde warmte	31
3.2.4	Hoofdvariant D Lagere rendementseis voor publiek-private investeringen	31
3.2.5	Hoofdvariant E Verplichte energieprestatie voor woningen en utiliteit	31
3.2.6	Hoofdvariant F Vaste warmteprijs voor de eindgebruiker	32
3.2.7	Hoofdvariant G Warmte goedkoper dan aardgas (warmte 15% per geleverde eenheid goedkoper dan aardgas)	33
4	Resultaten op hoofdlijnen	34
4.1	Verhoging energiebelasting op aardgas (set 1)	34
4.1.1	De energievoorziening van de GO in periode 2015 – 2050	35
4.1.2	De energievoorziening van de GO in zichtjaar 2050	39
4.1.3	De warmtevoorziening van de woningen in periode 2015 – 2050	42
4.1.4	De warmtevoorziening van woningen in de periode 2015 – 2050, variant verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,50 euro/m ³	46
4.2	Overige beleidsinstrumenten (set 2 t/m 8)	49

4.2.1 Verschuiving energiebelasting en CO ₂ -heffing (set 2)	49
4.2.2 4.2.2 Subsidie op investeringen en geproduceerde warmte (set 3)	50
4.2.3 Lagere rendementseis (set 4)	51
4.2.4 Verplichte energieprestatie voor woningen met elektrische warmtepomp (set 5)	52
4.2.5 Verplichte energieprestatie voor woningen en hybride warmtepomp (set 6)	53
4.2.6 Vaste warmteprijs (set 7)	55
4.2.7 Warmte uit warmtenetten goedkoper dan aardgas (set 8)	56
5 Kosten actoren	57
5.1 Inleiding	57
5.2 Kostenposten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in 2050	58
5.3 Kostenposten van de energievoorziening van bestaande woningen in 2050	60
5.4 Kosten en opbrengsten van energiegebruikers van bestaande woningen in 2050 (incl. Vergoeding renovatie en huurverlaging)	61
5.5 Kosten en opbrengsten voor eigenaren van renovaties van bestaande woningen in 2050	62
5.6 Kosten en opbrengsten van de warmteleveranciers in 2050	63
5.7 Kosten en opbrengsten van de gasleveranciers in de periode 2015 – 2050, rekenvariant verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0,50 euro/m ³	64
5.8 Kosten en opbrengsten van de elektriciteitsleveranciers in de periode 2015 – 2050, rekenvariant verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0,50 euro/m ³	65
5.9 Opbrengsten van de overheid in 2050	66
6 Schilverbeteringen bestaande woningen	67
7 Aansluitingen warmtevoorziening bestaande woningen	69
8 Referenties	74
Bijlage 1 Project MAIS: overzicht van activiteiten	75
Bijlage 2 VROM Methodiek Milieukosten	78
Bijlage 3 Specifieke kosten en opbrengsten van actoren	84

1 Inleiding

Doel van het MAIS project

De Nederlandse samenleving staat voor de grote uitdaging om de uitstoot van broeikasgassen tussen nu en 2050 vergaand te verminderen. Dat betekent onder andere dat ingrijpende veranderingen nodig zijn in de manier waarop gebouwen in Nederland worden verwarmd en gekoeld. Door isolatie van gebouwen zal de warmtebehoefte moeten worden teruggebracht en de huidige fossiele energiebronnen zullen vervangen moeten worden door hernieuwbare energiebronnen. Veel technieken hiervoor zijn bekend en in ontwikkeling. Voor veel betrokkenen is het echter nog onduidelijk wat de meest aantrekkelijke combinatie van technieken is, vooral omdat dat regionaal sterk kan verschillen. Met behulp van computermodellen kan hierover meer duidelijkheid worden verkregen. In 2010 heeft PBL het Vesta-model ontwikkeld om voor heel Nederland te verkennen op welke manier de gebouwde omgeving klimaatneutraal verwarmd zou kunnen worden tegen zo laag mogelijke kosten. Onder de gebouwde omgeving vallen onder meer woningen, kantoren, winkels en ziekenhuizen.

Vervolgens ontstond bij beleidmakers en bij betrokken bedrijven en organisaties de behoefte aan meer informatie over effecten van maatregelen voor afzonderlijke betrokken actoren, zoals wooningeigenaren, huurders, warmtebedrijven, energieleveranciers en netwerkbedrijven. Om dat mogelijk te maken, is op verzoek van het Ministerie van Economische Zaken in 2015 een project gestart om het Vesta-model uit te breiden met rekenregels voor een Multi Actor Impact Simulatie (MAIS).

Om het Vesta MAIS model te kunnen gebruiken voor onderbouwing van beleidsvoorstellingen, is het noodzakelijk dat alle betrokken partijen snappen hoe het model werkt, het model kunnen gebruiken voor het type analyses dat zij belangrijk vinden en vertrouwen dat het model de berekeningen correct uitvoert. Om dat te bereiken, is het MAIS-project uitgevoerd met grote betrokkenheid van beleidmakers bij overheden en stakeholders. Zij hebben gezamenlijk de rekenregels opgesteld en de uitgangspunten van het model bepaald. Ook de gebruikte kengetallen zijn gezamenlijk vastgesteld. Bovendien is het model openbaar toegankelijk gemaakt zodat het gratis gebruikt kan worden door externe partijen.

De twee belangrijkste doelen van het MAIS project zijn om het Vesta model zodanig aan te passen dat inzicht kan worden gegeven in:

1. Effecten van veranderingen in beleidsinstrumenten, waaronder belastingen, subsidies en verplichtingen;
2. Met speciale aandacht voor de kosten en baten van actoren die betrokken zijn bij de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Belangrijke actoren die worden onderscheiden zijn energieproducenten, transporteurs, distributeurs, leveranciers, financiers alsmede eigenaren en gebruikers van gebouwen en de overheid.

Doel van dit rapport

Het rapport is bedoeld om het nut en de werking van het Vesta MAIS model te demonstreren. Nadat een algemene beschrijving van het Vesta MAIS model is gegeven, wordt de werking van het model geïllustreerd aan de hand van voorbeeldberekeningen. De voorbeelden betreffen varianten op de lange termijn scenario's van de studie Welvaart en Leefomgeving (WLO 2015). Voor de presentatie van resultaten is een keuze gemaakt uit de grote verscheidenheid aan mogelijke uitvoer van het model. Deze laten zien op welke wijze met het Vesta MAIS model onderzoeks vragen kunnen worden geanalyseerd ten behoeve van nieuwe beleidsvorming voor de periode tot 2050, zoals gewenst in het kader van de uitwerking van de Energieagenda (EZ 2016) en realisatie van de klimaatdoelen van het regeerakkoord Rutte III.

Wat doet het Vesta MAIS model

Het Vesta MAIS model brengt het technisch-economisch potentieel in kaart van gebouw- en gebiedsmaatregelen; rekent de effecten van beleidsinstrumenten door op de nationale kosten, het energiegebruik en de CO₂-en luchtemissies; brengt de business case van warmtebedrijven en gebouweigenaren in beeld alsmede de financiële gevolgen voor de gebruikers van energie. Tenslotte schetst het model de gevolgen voor de infrastructuur van het warmte-, gas- en elektriciteitsnet. Het model kan zowel op nationaal als regionaal niveau rekenen. Daarbij wordt rekening gehouden met lokale omstandigheden onder andere door het gebruik van ruimtelijke gegevensbestanden op gebouwniveau zoals de Basisregistratie Adressen en Gebouwen en het gecertificeerde energielabel van gebouwen van RVO en op gebiedsniveau over de lokale aanwezigheid van warmtebronnen. Het model berekent energiebehoeften op jaarbasis maar houdt geen rekening met de variatie in energiebehoefte van gebouwen binnen een jaar. De rekentijd varieert van enkele minuten tot een uur afhankelijk van het schaalniveau, aantal zichtjaren en maatregelen; alsmede de gebruikte hardware.

Ontwikkeling en gebruik van Vesta MAIS

Het functioneel ontwerp is beschreven door CE Delft (CE Delft 2017). De software van het model en de grafische userinterface zijn ontwikkeld door ObjectVision en geschreven in open source GeodMS kader dat is gebaseerd op de programmeertalen C++ en Delphi (<http://www.objectvision.nl/geodms>). De bediening vindt numeriek plaats binnen deze software. Het model is in voorgaande jaren gebruikt door experts van PBL en TNO, onder andere als basis voor het interactieve energieplatform PICO (<http://pico.geodan.nl/>).

Open source Vesta MAIS

De uitbreidingen van het Vesta model ten behoeve van het MAIS project zijn gereed gekomen in september 2016. Mede dankzij een financiële bijdrage van Netbeheer Nederland is daarna aandacht besteed aan het toegankelijk maken van het model voor externe energiedeskundigen met enige IT-kennis. Dit heeft geleid tot het vrijgeven van het model als open source code in januari 2017 (<https://github.com/RuudvandenWijngaart/VestaDV/wiki>). Deze Vesta deskundigenversie is beschikbaar voor een brede gebruikersgroep bestaande uit geïnteresseerden van onder andere regionale overheden, energiebedrijven, advies- en onderzoeksgebureaus en universiteiten. In september 2017 heeft een update met enkele verbeteringen naar versie 3.1 plaatsgevonden.

Eigendom Vesta MAIS

Het Vesta MAIS model is eigendom van het Planbureau voor de Leefomgeving. Iedereen kan vrijelijk beschikken over het open source model met in achtneming van de GNU General Public License Version 3.

Leeswijzer

De algemene beschrijving van het Vesta MAIS staat in hoofdstuk 2. Daarna volgen de uitgangspunten van de voorbeeldberekeningen. Het Vesta MAIS model kan rekening houden met toekomstige economische, demografische en ruimtelijke ontwikkelingen. Het kernteam MAIS heeft er voor gekozen om hiervoor de scenario's van de CPB/PBL studie Welvaart en Leefomgeving (WLO 2015) te gebruiken. Met behulp van de WLO uitgangspunten zijn twee Referentiepaden van de WLO scenario's vastgesteld. Ook zijn rekenvarianten opgesteld waarmee beleidsinstrumenten worden doorgerekend. De Referentiepaden en de beleidsvarianten worden beschreven in hoofdstuk 3. De resultaten worden in hoofdstuk 4 gepresenteerd. Hier worden de effecten toegelicht van de beleidsinstrumenten op de kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving, het energielabel van gebouwen, het energiegebruik en de CO₂- en luchtemissies. De kosten van actoren worden in meer detail uitgewerkt in hoofdstuk 5. Dat geeft inzicht in de relevante kostenposten en opbrengsten in de businesscases van warmtebedrijven en gebouweigenaren en -gebruikers. Ook de financiële gevolgen voor de gas- en elektriciteitsleverancier komen hier aan bod. Daarbij komen

ook de kosten in beeld van het verwijderen van gasnetten vanwege het verminderde gasgebruik en het verzwaren van de elektriciteitsnetten vanwege de toename van de elektrische warmtepompen.

WAARSCHUWING en DISCLAIMER

De voorbeeldberekeningen van het Vesta MAIS model die in dit rapport worden besproken, zijn uitsluitend - zoals eerder gezegd - bedoeld om het nut en de werking van het model te demonstreren. Zij geven een indruk van de mogelijkheden om het model als analysetool te gebruiken voor verkenningen van en onderzoek naar de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Van het brede pallet aan technische maatregelen en beleidsinstrumenten die kunnen worden doorgerekend, worden slechts een beperkt aantal gedetailleerde resultaten geïllustreerd in figuren.

Dit zijn echter NIET de resultaten van een gedegen studie met een bepaalde beleidsrelevante onderzoeksraag en er worden daarom geen conclusies en aanbevelingen omtrent de effectiviteit van beleidsinstrumenten getrokken. Het rapport kan wel nuttig zijn bij het formuleren van onderzoeks-vragen die met het model kunnen worden onderzocht.

2 Algemene beschrijving van het Vesta MAIS model

2.1 Inleiding

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 gebouwen 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. Tevens berekent het model de gebieden waar warmte- en koudelevering 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 zijn of worden genomen. Daarnaast kunnen gebouwen geselecteerd worden om wel of niet mee te doen met maatregelen op basis van sociaal-economische kenmerken.

Hieronder wordt nader ingegaan op de manier waarop het Vesta MAIS model omgaat met respectievelijk gebieds- en gebouwmaatregelen.

2.1.1 Gebiedsmaatregelen

Het Vesta MAIS model bepaalt het potentieel van gebiedsmaatregelen zoals toepassen van restwarmte, geothermie en warmte-koudeopslag (WKO) op basis van rentabiliteitsberekeningen vanuit het oogpunt van een warmteleverancier. Een warmteproject wordt door het model alleen ‘geïmplementeerd’ als dit rendabler is dan verwarmen met aardgas. De kosten worden berekend op basis van kostengegevens van de warmtebron, het warmtenet en de warmteaansluiting van het gebouw. De modelgebruiker kan daarbij bepalen welk type warmte – restwarmte, geothermie of WKO – voorrang krijgt. Omdat warmteprojecten alleen kansrijk zijn als de afstand tussen warmteaanbod en warmtevraag beperkt is, bevat het model een ruimtelijke verdeling van potentiële warmtebronnen en -afnemers. Voor de aanbodkant is vastgelegd waar zich in Nederland bedrijven bevinden die restwarmte kunnen leveren, en waar de ondergrond geschikt is voor geothermie en WKO. Voor de vraagkant is vastgelegd waar woningen, utiliteitsgebouwen en glastuinbedrijven gelokaliseerd zijn, maar ook waar in Nederland nieuwbouw en grootschalige renovatie zal plaatsvinden. Het onderscheid tussen bestaande bouw enerzijds en nieuwbouw en grootschalige renovatie anderzijds is

relevant omdat de investeringskosten voor gebiedsmaatregelen in het laatste geval aanzienlijk lager zullen zijn dan in het eerste geval. Paragraaf 2.5 geeft een nadere beschrijving van de manier waarop de economische haalbaarheid van nieuwe warmteprojecten door het model wordt bepaald.

2.1.2 Gebouwmaatregelen

De mate waarin in het model berekent dat energiebesparing en gebouwgebonden energieproductie plaatsvindt, is niet persé en in alle gevallen gebaseerd op rentabiliteitsberekeningen, maar is grotendeels een keuze van de modelgebruiker. Dat is dus anders dan bij gebiedsmaatregelen. De modelgebruiker kan kiezen voor rendabele energiebesparing door renovatie van de schil van het gebouw naar een beter energielabel óf naar een bepaalde schil opleggen, maar kan er ook voor kiezen dat er in het geheel geen energiebesparing plaatsvindt. Verbeteringen van de gebouwschil bestaan uit isolatiemaatregelen (dak, vloer en gevel) en HR++ glas. Daarnaast kan de gebruiker kiezen om efficiëntere en hernieuwbare technieken zoals zonneboilers en/of elektrische warmtepompen in te zetten. In het laatste geval vindt hernieuwbare energieproductie plaats. Er zijn in het model gebouwmaatregelen opgenomen voor woningen en utiliteitsgebouwen, maar (nog) niet voor de glastuinbouw. De kosten voor de inzet van energiebesparingspakketten worden berekend op basis van de investeringskosten om de energieprestatie van gebouwen te verbeteren. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar woning- en utiliteitstype en bouwjaarklasse. De kosten voor opwektechnieken zoals de zonneboiler en elektrische warmtepomp worden per techniek gegeven.

2.1.3 Interactie van vraag en aanbod

Bij de warmtevoorziening is er interactie tussen vraag en aanbod. De omvang van de warmtevraag in een gebied is namelijk medebepalend voor de rentabiliteit van warmtedistributieprojecten. Isoleren van gebouwen reduceert zo bijvoorbeeld het potentieel aan rendabele warmteprojecten. De gebruiker van het model kan handmatig zoeken naar optimale situaties, en/of het rekenmodel gebruiken om (sub)optimale oplossingen te vinden.

Van belang voor een goed begrip van het model is het besef dat de modelgebruiker bij de energievraagzijde een keuze kan maken om maatregelen op te leggen of de maatregelen door het model kostenoptimaal kan laten bepalen op basis van rentabiliteitsberekeningen vanuit het oogpunt van de gebouweigenaar. Hetzelfde (maar niet altijd) geldt voor energieproductie binnen de gebouwen met zonneboilers, zonnecellen, warmtepompen en microwarmtekracht. De modelgebruiker heeft deze keuze niet bij de inzet van warmtebronnen die een warmtedistributienet nodig hebben, zoals rest- en aftapwarmte, bio-WKK, wijk-WKK, geothermie en WKO. Het model bepaalt de inzet daarvan op basis van rentabiliteitsberekeningen vanuit het oogpunt van de investeerder, en op basis van door de gebruiker opgegeven prioritaire volgordes.

In de volgende paragrafen wordt achtereenvolgens verder ingegaan op:

- de gebouwen;
- het energiegebruik;
- de maatregelen;
- de rentabiliteitsberekening van gebiedsmaatregelen;
- de kostenrange en leercurves;
- de gas- en elektriciteitsleveranciers;
- de energieprijzen;
- de kosten en baten van actoren;
- en de beleidsinstrumenten.

2.2 Gebouwen

2.2.1 Bestaande voorraad van gebouwen

In het Vesta MAIS model zijn gegevens van (nagenoeg alle individuele) bestaande woningen, utiliteitsgebouwen en glastuinbouwkassen in Nederland met hun locatie opgenomen. De woningen en utiliteitsgebouwen zijn gebaseerd op de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) van 1 januari 2016 en het Object Hoogtebestand Nederland (OHN 2014). Uit het BAG bestand zijn de geografische ligging, verblijfsfunctie, bouwjaar en oppervlakte van de gebouwen opgenomen. Door deze gegevens te combineren met de hoogte van het gebouw uit het OHN kan ieder gebouw worden ingedeeld in één van de woning- en utiliteitscategorieën die staan in tabellen 1 en 2. De geografische ligging van de glastuinbouwkassen zijn gebaseerd op de CBS landbouwtellingen per gemeente in combinatie met het Grondgebruiksbestand Nederland (Folkert et al. 2012).

Tabel 2.1

Aantal woningen naar type en bouwjaarklasse in Vesta MAIS 3.1 (bron: BAG 1 januari 2016 en OHN 2014)

	Voor 1946	1946 – 1964	1965 – 1974	1975 – 1991	1992 – 2005	2006 - 2016	Totaal
Vrijstaand	282968	142945	126986	183153	186152	72257	994461
2 onder 1 kap	177550	139684	97759	119619	98698	47192	680502
Rijwoning hoek	131721	162067	209159	307464	125515	63931	999857
Rijwoning tussen	348496	317427	441719	702750	355020	168309	2333721
Meergezins <4	387728	266993	174448	436271	265386	380383	1911209
Meergezins>4	186821	156416	290431	146781	150826	66496	997771
Totaal	1515284	1185532	1340502	1896038	1181597	798568	7917521

Tabel 2.2

Bruto vloeroppervlakte (bvo m²) utiliteit naar sector en bouwjaarklasse in Vesta MAIS 3.1 (bron: BAG 1 januari 2016)

	Voor 1920	1920 – 1975	1976 – 1990	1991 – 1995	1996 – 2016	Onbekend	Totaal
Kantoor	6309737	15668577	14070620	7378960	28466105	100673	71994672
Winkel	5791475	17009328	8878234	4014907	17737331	157869	53589144
Gezondheidszorg	1314943	6317317	4113227	1671908	8071280	87831	21576506
Logies	968464	3551620	2671859	1288238	6016940	37731	14534852
Onderwijs	1594105	14444885	8400084	2125289	12368702	83614	39016679
Industrie	951979	8377381	8189166	3123143	20107878	372843	41122390
Bijeenkomst	6737472	11513172	4943580	2047516	8046220	110381	33398341
Sport	271924	3169761	3834810	1127377	4685337	57537	13146746

Cel	136263	59296	232682	112472	351382	0	892095
Overig	1632288	11676939	5577828	2465982	15699385	152886	37205308
Totaal	25708650	91788276	60912090	25355792	121550560	1161365	326476733

Tabel 2.3

Oppervlakte kassen glastuinbouw (m2) naar type teelt, belicht/onbelicht en verwarmd/onverwarmd (bron: o.a. CBS-gemeentetellingen 2009).

	Belicht	Onbelicht	Verwarmd	Onverwarmd	Totaal
Bloemen	15845669	31055181	44166369	2734481	93801700
Groente	2856394	42386208	42826071	2416531	90485204
Overig	0	0	1684975	2054529	3739504
Totaal	18702063	73441389	88677415	7205541	188026408

2.2.2 Ruimtelijke ontwikkeling

Voor de ruimtelijke ontwikkeling van de gebouwde omgeving binnen Nederland wordt in de berekeningen met Vesta MAIS voor de toekomstige jaren uitgegaan van de WLO scenario's (WLO 2015). Binnen deze scenario's wordt op basis van economische en demografische uitgangspunten de regionale ontwikkeling in COROP gebieden van sloop en nieuwbouw van woningen en utiliteit opgesteld. Deze zijn op basis van heuristische regels verder gedetailleerd in specifieke locaties voor heel Nederland, met als doel de resultaten nationaal dekkend te kunnen presenteren. Deze detaillering kan afwijken van de daadwerkelijk te verwachten regionale of lokale ontwikkeling op basis van recentere data en kwalitatief betere lokale data. De WLO gegevens zijn niet bedoeld om te worden gebruikt voor een analyse op dit niveau. Indien het Vesta MAIS model lokaal of regionaal wordt toegepast dan wordt geadviseerd om de ruimtelijke ontwikkeling te bevriezen of gebruik te maken van informatie over de ruimtelijke ontwikkeling van lokale overheden, woningcorporaties en andere stakeholders.

2.3 Energiegebruik

2.3.1 Definitie functionele energievraag en metervraag

In Vesta MAIS wordt de energievraag naar warmte en elektriciteit van een woning en utiliteitsgebouw berekend op basis van de functionele behoefte aan warm tapwater, ruimteverwarming, koeling, elektrische apparatuur en verlichting. Deze functionele behoefte vertegenwoordigt – vanuit energetisch oogpunt – een bepaalde hoeveelheid energie: de functionele energievraag. Met andere woorden: de functionele energievraag staat voor de energiebehoefte die de gebruikers van het gebouw hebben. Deze vertaalt zich naar een vraag ‘aan de energie-meter’ via de efficiency van de schil van het gebouw en de efficiency van de installatie/apparatuur (Schepers 2017). Daarbij wordt rekening gehouden met pompenergie voor de ruimteverwarming om het warme water van de ketel door leidingen naar de radiatoren te laten stromen en met de warmteverliezen die daarbij optreden. De energievraag van koken wordt vooralsnog genegeerd omdat deze relatief klein is¹. De energievraag van glastuinbouw wordt door Vesta MAIS berekend op basis van de functionele energievraag naar ruimteverwarming en apparatuur (belichting) per teeltype (bloemen, groente en vaste planten/bomen). De functionele energievraag naar warm tapwater, koelen en elektrische apparatuur anders dan verlichting is verwaarloosd. Koeling wordt vooral toegepast bij productkoeling bij fruitteelt en bollenteelt op koude grond, en niet zozeer bij glastuinbouw; het energiegebruik voor warm tapwater en elektrische apparatuur is verwaarloosbaar ten opzichte van de energievraag naar verwarmen en belichten. Op basis van de efficiency van de schil van het gebouw, de

¹ In de toekomst zal het koken op aardgas praktisch en technisch-economisch gezien zonder al te grote problemen kunnen worden vervangen door verschillende vormen van elektrisch koken.

warmte-installaties en belichtingsapparatuur wordt de metervraag per oppervlakte eenheid berekend.

2.3.2 Energievraag basisjaar

De metervraag van woningen in het startjaar wordt gebaseerd op de gerealiseerde energieverbruiken per type woning en bouwjaarklasse gemiddeld over de respondenten uit WoON2012. De metervraag van utiliteit in het startjaar is afgeleid uit de door Jeffry Sipma (ECN 2014) geanalyseerde energieverbruiken per oppervlakte eenheid (m^2) per bedrijfstype en bouwjaarklasse (CE Delft 2015). De functionele energievraag, ook van de glastuinbouw wordt zodanig geschaald dat het door Vesta MAIS gesimuleerde energiegebruik landelijk overeenkomt met de Nationale Energieverkenning (NEV 2015).

Ter illustratie staat in tabel 2.4 de functionele energievraag en de efficiency van de installatie van warm water en ruimteverwarming van woningen in het startjaar.

**Tabel 2.4
De functionele energievraag en de efficiency van de installatie van warm water en ruimteverwarming van woningen in het startjaar.**

type woning	bouwjaar	Warm water		Ruinteverwarming	
		func.vraag	efficiency	func.vraag	efficiency
GJ/jr	η	GJ/jr	η		
vrijstaand	voor 1946	6,6	0,72	58,9	0,99
vrijstaand	1946 - 1964	6,6	0,72	58,9	0,99
vrijstaand	1965 - 1974	7,2	0,72	59,7	0,97
vrijstaand	1975 - 1991	7,6	0,72	53,4	1,00
vrijstaand	1992 - 2005	8,3	0,72	45,7	1,01
vrijstaand	2006 - 2014	8,3	0,72	46,5	1,05
2 onder 1 kap	voor 1946	5,9	0,72	45,7	0,98
2 onder 1 kap	1946 - 1964	5,9	0,72	45,7	0,98
2 onder 1 kap	1965 - 1974	6,4	0,72	45,2	0,98
2 onder 1 kap	1975 - 1991	6,4	0,72	37,5	0,99
2 onder 1 kap	1992 - 2005	6,7	0,72	32,5	1,00
2 onder 1 kap	2006 - 2014	6,7	0,72	32,3	1,05
rijwoning	voor 1946	5,6	0,72	36,2	0,95
rijwoning	1946 - 1964	5,0	0,72	34,0	0,95
rijwoning	1965 - 1974	5,7	0,72	34,3	0,96
rijwoning	1975 - 1991	5,7	0,72	28,8	0,97
rijwoning	1992 - 2005	6,0	0,72	25,7	1,00
rijwoning	2006 - 2014	6,0	0,72	27,8	1,05
meergezins: laag	voor 1946	3,9	0,72	21,9	0,90
meergezins: laag	1946 - 1964	4,1	0,72	19,7	0,82
meergezins: laag	1965 - 1974	4,3	0,72	20,2	0,93
meergezins: laag	1975 - 1991	4,3	0,72	18,6	0,94
meergezins: laag	1992 - 2005	4,5	0,72	18,7	0,98
meergezins: laag	2006 - 2014	4,5	0,72	20,6	1,05
meergezins: hoog	voor 1946	4,4	0,72	20,2	0,94
meergezins: hoog	1946 - 1964	4,4	0,72	20,2	0,94
meergezins: hoog	1965 - 1974	4,8	0,72	19,6	0,90
meergezins: hoog	1975 - 1991	4,2	0,72	19,6	0,95
meergezins: hoog	1992 - 2005	4,7	0,72	16,0	1,01
meergezins: hoog	2006 - 2014	4,7	0,72	19,9	1,05

2.3.3 Energievraag toekomstig jaar

De ontwikkeling van de functionele energievraag wordt beïnvloed door veranderingen in de samenstelling van huishoudens en bedrijfsactiviteiten, consumptie en gebruiksgedrag. De gebruiker van het model kan deze veranderingen simuleren door een groefactor op te geven.

Bij de functionele energievraag naar warm water en ruimteverwarming wordt veelal verondersteld dat deze in de toekomst gelijk blijft. De metervraag kan echter ook in mindere of meerdere mate worden beïnvloed door energiebesparing en -opwekking van het gebouw. Deze maatregelen worden in de volgende paragraaf behandeld.

Bij elektrische apparatuur en verlichting wordt veelal verondersteld dat de consumptiegroei wordt gecompenseerd door efficiencyverbetering waardoor de metervraag in de toekomst gelijk blijft.

2.4 Maatregelen

In het Vesta MAIS model zijn maatregelen opgenomen om de gebouwde omgeving te verduurzamen waarbij de focus ligt op de warmte. Voor warmte wordt het gehele systeem van vraag en aanbod om te voorzien in de functionele energiebehoefte aan warm water en ruimteverwarming meegenomen. Daarbij wordt ook de interactie met de elektriciteitsvoorziening meegenomen zoals de extra elektriciteitsvraag door warmtepompen, de elektriciteitsopwekking met zonnepanelen en de hiervoor benodigde verzwarening van het elektriciteitsnet. Aan maatregelen om het elektriciteitsverbruik van huishoudelijk apparaten en verlichting te beïnvloeden wordt echter minder aandacht besteed.

De maatregelen kunnen worden onderscheiden in gebouw- en gebiedsmaatregelen. Beide type maatregelen kunnen energie besparen en/of opwekken en worden hieronder besproken.

2.4.1 Gebouwmaatregelen

Gebouwmaatregelen kunnen zoals hierboven vermeld zowel energie besparen als opwekken. Energiebesparing kan optreden door verbeteringen aan de schil van het gebouw en energie-efficiëntere installaties. Voorbeelden van energieopwekking binnen het gebouw zijn zonneboilers en zonnepanelen.

Energiebesparing door verbeteringen aan de schil van het gebouw

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.

De woningen en utiliteitsgebouwen in Vesta MAIS 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 gebouwtype 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 gesprogen naar:

- tussenlabel: dit is een sprong met twee labels omhoog van een label (E, F en G) naar (C, D respectievelijk E);
- label B (warmteweerstand van de schil $R_c = 2,5$);
- label B met extra schilisolatie ($R_c = 5,0$);
- Label B met extra schilisolatie 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

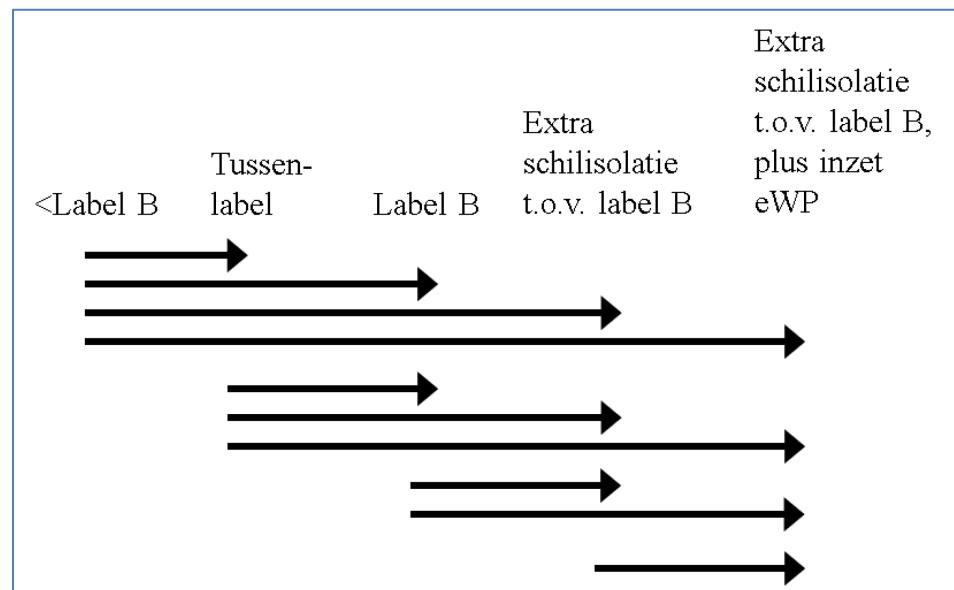
tussenlabel E springt. Vervolgens kan in een later jaar de woning energetisch verder worden verbeterd waardoor de woning naar schillabel B springt of zelfs naar schillabel B met extra schilisolatie. De inzet van de elektrische warmtepomp is alleen mogelijk indien de woning voldoende is geïsoleerd. Dit is het geval bij schillabel B met extra schilisolatie. Bij de inzet van de elektrische warmtepomp worden tevens de radiatoren in een bestaande woning vervangen door een lagetemperatuurafgiftesysteem (vloerverwarming en/of convector radiatoren). Bij nieuwbouw wordt ervan uitgegaan dat hier al rekening mee is gehouden bij het ontwerp van de woning.

Tekstkader 2.1 Klimaatneutrale warmtewoning en Nul-op-de-meter woning

De warmtevoorziening van een woning met schillabel B met extra schilisolatie én de inzet van de elektrische warmtepomp kan in de modelsimulatie klimaatneutraal worden gemaakt door zonnepanelen toe te voegen om de elektrische warmtepomp te voeden. De woning voorziet dan in de eigen warmte zonder CO₂ uit te stoten (zie Label Eigenwarmte, p. 12, Wijngaart et al. 2014). Deze klimaatneutrale warmtevoorziening van de woning moet echter niet worden verward met de Nul-op-de-meter woning van de Stroomversnelling waarbij het totale elektriciteitsverbruik van de woning is inbegrepen. In het Vesta MAIS model kan deze worden gesimuleerd door extra zonnepanelen in te zetten om ook in het elektriciteitsverbruik van huishoudelijke apparaten en verlichting te voorzien.

Een klimaatneutrale warmtevoorziening kan ook worden bereikt door de hybride warmtepomp en micro-wkk in combinatie met (extra) zonnepanelen of warmtenetten met klimaatneutrale warmteproductie.

De metervraag na de schillabelsprong is gebaseerd op het werkelijke gebruik van woningen met een vergelijkbare schilisolatie volgens WoON2012 (zie ook energievraag basisjaar). De kosten van de sprongen naar tussenlabel (CE Delft, 2013) en label B (PBL, 2012) zijn gebaseerd op de *Energiebesparingsverkenner 2009* van RVO respectievelijk *Voorbeeldwoningen 2011* van RVO. De kosten van de sprong naar label B met extra schil isolatie al dan niet gecombineerd met de elektrische warmtepomp zijn geïnventariseerd door CE Delft (CE Delft, 2013) op basis van de publicatie *Investeringenkosten energiebesparende maatregelen Bestaande woningbouw 2012* (RVO, 2012).



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.

De metervraag na de schilverbetering en de kosten van de sprong naar schil met isolatiewaarde met warmteweerstand $R_c = 3,5$ zijn gebaseerd op Sipma (ECN 2014). Voor de sprong naar $R_c = 5,0$ en de inzet van de elektrische warmtepomp zijn de aanvullende efficiencyverbetering en kosten op vergelijkbare wijze als de woningen bepaald (CE Delft 2015). Er is uitgegaan van een verbetering naar een R_c -waarde van 5,0 door het toepassen van extra dakisolatie en gevelisolatie aan de binnenzijde.

Glastuinbouw: bij gebrek aan bruikbare gegevens zijn geen besparingsmaatregelen geïmplementeerd voor kassen.

Energie-efficiëntere installaties en energieopwekking van gebouwen

Voor toekomstige jaren is voor alle gebouwen verondersteld dat de huidige gasketels worden vervangen door ketels met een efficiency vergelijkbaar met de HR107-ketel. Er worden geen meerkosten verbonden aan deze efficiencyverbetering, omdat dit al bij het normale vervangingstempo gebeurt. Verondersteld wordt dat de HR-verwarmingsketel is uitontwikkeld en er geen substantiële efficiencyverbetering van deze installatie meer plaatsvindt. Wel kunnen andere type installaties grootschalig hun intree doen, vooral onder invloed van extra beleid. In het Vesta MAIS model kan dit worden bereikt door als alternatief te kiezen voor een zonneboiler (aanvullend op de HR107-ketel), micro-warmtekrachtkoppeling (micro-WKK), elektrische warmtepomp (zie ook de schillabelsprong), hybride warmtepomp en de opwekking van elektriciteit met PV-panelen.

De verbetering van elektrische apparatuur en verlichting is niet apart opgenomen in kentallen vanwege het ontbreken van gegevens. Als er gegevens bekend zijn, dan kunnen die in het model worden opgenomen. Bij elektrische apparatuur en verlichting wordt veelal verondersteld dat de consumptiegroei wordt gecompenseerd door efficiencyverbetering waardoor de metervraag in de toekomst gelijk blijft.

Split incentive bij gebouwmaatregelen

Bij veel vastgoed is het eigendom van het gebouw gescheiden van het gebruik ervan. Split incentive (letterlijk vertaald 'verdeeld motief') is het fenomeen dat de verhuurder en de huurder andere bewegredenen hebben om energiebesparende maatregelen te treffen. De verschillen in belangen tussen verhuurders en huurders maken een afweging over investeringen in energiemaatregelen vaak lastig. In Vesta MAIS kennen alle gebouwen een gebouweigenaar en een gebouwgebruiker. In het geval van een verhuurder/huurder is die splitsing ook fysiek aanwezig, maar in het geval van een eigenaar-bewoner gaat het hier om dezelfde 'persoon'. Het split incentive draait om de situatie dat de gebouweigenaar de investeringen doet voor een bepaalde installatie of set met besparingsmaatregelen, maar omdat de gebouwgebruiker de energiekosten betaalt, behaalt deze de 'winst'.

Om er voor te zorgen dat de individuele business case van de gebouweigenaar interessanter wordt, wordt een verdeling gemaakt van de opbrengsten die een nieuwe installatie of schillabelsprong veroorzaken. Bij deze verdeling wordt er vanuit gegaan dat 80% (standaard) van de kostenbesparingen bij de gebouwgebruiker wordt overgeheveld naar de gebouweigenaar. Het verdelingspercentage is aanpasbaar door de modelgebruiker. Hiermee krijgen zowel de gebouweigenaar als -gebruiker dus een deel van het voordeel van de nieuwe situatie. Dit geldt zowel bij de energiebesparende maatregelen, als de elektrische warmtepomp, zonneboiler en zon-PV. Voor de hybride warmtepomp en micro-wkk moet dit nog in het model worden geïmplementeerd. De herverdeling heeft invloed op de rentabiliteitsberekening van de gebouwmaatregelen bij de private kostenafweging die wordt gedaan volgens de eindgebruikersbenadering. De herverdeling doet niet mee in het geval de rentabiliteitsafweging plaatsvindt op basis van de nationale kostenbenadering.

Rebound effect schilverbetering

Uit onderzoek blijkt dat in de werkelijkheid de opbrengst van besparingsmaatregelen veelal lager is omdat de bewoner zijn gedrag aanpast. De thermostaat wordt een graadje hoger gezet en meer kamers worden verwarmd na het nemen van de besparingsmaatregelen. Dit wordt het rebound effect genoemd. De berekening van het energiegebruik in het Vesta MAIS model gaat uit van de werkelijke energiebesparing gebaseerd op metingen van WoON2012. Daarnaast hanteert Vesta MAIS de rebound factor voor de aanpassing van het gedrag. Deze wordt als comfortverbetering aange merkt en meegeteld als baat bij de herverdeling van de kostenbesparing (zie split incentive) van de gebouwgebruiker naar de gebouweigenaar. De baat is daarmee ook gunstig voor de gebouweigenaar en telt mee bij de rentabiliteitsafweging van de schillabelsprongen. Dit geldt zowel voor de eindgebruikerskosten als de nationale kosten.

2.4.2 Gebiedsmaatregelen

Door de toepassing van de gebouwmaatregelen vermindert de warmtevraag. De resterende warmtevraag van de gebouwen kan decentraal efficiënt en/of schoon worden geproduceerd via de zogenoemde gebiedsmaatregelen. Hierbij zorgen warmtenetten voor het transport en de distributie van duurzame warmte van een warmtebron naar de gebouwen. In Vesta MAIS zijn de volgende typen warmtebronnen opgenomen:

- restwarmte: warmte van elektriciteitscentrales, afvalverbrandingsinstallaties en industriële bedrijven. Hieronder valt ook warmte van de warmtecentrales gestookt op snoei hout en houtpallets;
- geothermie: warmte uit diepe aardlagen op 1500 tot 4000 meter diepte;
- warmtekoudeopslag (WKO): warmte en koude afkomstig van grondwater op een diepte van 20 tot 200 meter dat wordt benut als energiebuffer;
- 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 snoei hout, houtpellets of biogas.

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 koudebronnen. Deze bronnen gebruiken zelf geen of weinig energie zoals bij restwarmte uit de industrie respectievelijk WKO en WKK of is de energie afkomstig van duurzame bronnen zoals geothermie en bio-WKK.

2.4.3 Groen gas

Groen gas kan worden ingezet in het aardgasnet zonder dat aanpassingen nodig zijn van leidingen en installaties als gasfornuizen. Groen gas is biogas dat is opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit.

2.5 Rentabiliteitsberekening van gebiedsmaatregelen

De aanleg van een warmtenet kan alleen rendabel zijn als de warmtevraag voldoende groot is. In de modelberekening wordt daarom uitgegaan van een minimale grootte van het warmtevraaggebied. Voor de standaardgrootte is gekozen voor de CBS-buurt. De gebruiker kan echter ook voor een andere gebiedsgrootte kiezen: PC04 of rasters variërend van 2000 x 2000 m² tot 500 x 500 m². Dit geldt voor de genoemde warmtebronnen behalve WKO. Hiervoor geldt een afwijkende benadering omdat de minimale investering van WKO relatief lager is waardoor WKO bij een kleinere warmtevraag al rendabel kan zijn. Het warmtevraaggebied voor een WKO installatie is in de modelberekening daarom PC06 voor woningen en een enkel gebouw voor utiliteit. De volgende beschrijving geldt voor alle type warmtebronnen behalve WKO.

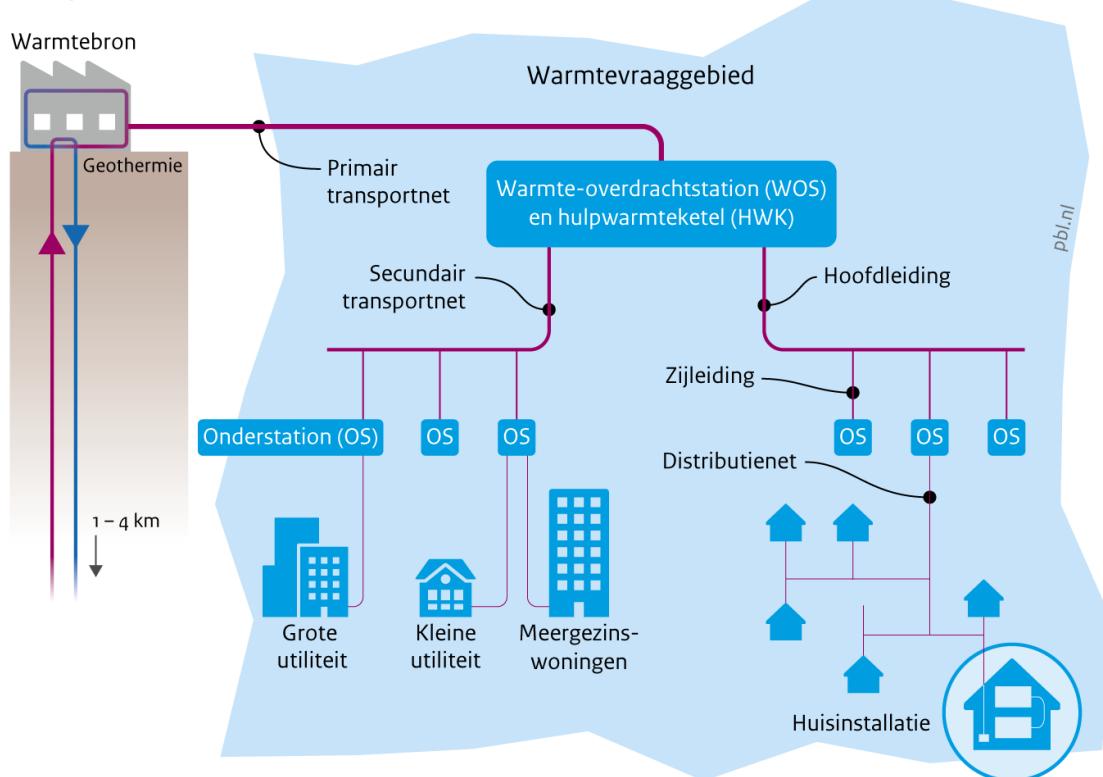
Per onderscheiden gebied berekent het model de opbrengsten en kosten van grootschalige warmtelevering op basis van aantallen en kenmerken van gebouwen, zoals warmtebehoefte, aansluitdichtheid en -capaciteit per gebouw. De opbrengsten bestaan uit een eenmalige aansluitbijdrage en de jaarlijkse opbrengsten voor vastrecht en geleverde warmte. Bij de vaststelling van de opbrengsten uit geleverde warmte wordt het 'Niet Meer Dan Anders'-principe gehanteerd.

De kosten voor de warmtelevering zijn meer complex om te bepalen vanwege de vele actoren en onderdelen en bestaan uit de eenmalige investeringen (CAPEX) - en jaarlijkse operationele (OPEX) kosten:

Warmteopwekker. De warmteopwekker is de eigenaar van de warmtebron. De warmteproductiekosten worden berekend op basis van de eenmalige investering in de uitkoppeling van de restwarmtebron zoals de elektriciteitscentrale en in nieuwe warmtebronnen zoals geothermie en wijk-wkk (euro/kilowatt); en de jaarlijkse operationele kosten zoals onderhoud en bediening (euro/kilowatt) en energie (euro/gigajoule). Bij de warmteafval van de elektriciteitscentrale wordt rekening gehouden met het feit dat het rendement van elektriciteitscentrales door warmtelevering omlaag gaat.

Transporteur. De transporteur is eigenaar van het transportnet van warmtebron naar het warmtevraaggebied. De kosten komen voort uit eenmalige investeringen en jaarlijkse onderhoud- en bediening. Het model veronderstelt dat er bij wijk-wkk en bio-wijk-wkk geen transport over langere afstand plaatsvindt. De bebouwing waar de geproduceerde warmte wordt ingezet bevindt zich dus rondom de bron. Bij restwarmte en geothermie staat het model wel warmtetransport toe naar gebieden die daarvoor zelf geen geschikte ondergrond hebben.

Componenten warmtenet



Bron: PBL

Distributeur (gebied). De distribiteur zorgt voor de distributie binnen het warmtevraaggebied. Hij doet eenmalige investeringen in:

- warmteoverdrachtstation
- transport- en distributienet binnen het warmtevraaggebied
- precario (gemeentelijke belasting)

- onderstations
- hulpwarmteketels
- aansluitleidingen en aansluitsets.

De operationele kosten bestaan naast onderhoud en bediening uit de bijstook van aardgas door de hulpwarmteketels op piekvraagmomenten in het warmtevraaggebied. De gebruiker van het Vesta MAIS model geeft op welk aandeel van het warmtevraagvermogen door de warmtebron (standaard 30%) en hulpwarmteketel (standaard 85%) wordt geleverd. De warmtebron heeft relatief hoge investeringskosten en functioneert als basislastvermogen. De hulpwarmteketel functioneert behalve als aanvullend piekvermogen ook als reservevermogen voor de momenten dat de warmtebron in onderhoud is of onverwacht uitvalt. Vandaar dat het totaal van het vermogen van warmtebron en hulpwarmteketel groter dan 100% kan zijn. Daarnaast kan de gebruiker opgeven hoe groot het aandeel in de warmtelevering in het warmtevraaggebied is van de warmtebron (standaard 80%) en de hulpwarmteketel (standaard 20%). Het model houdt rekening met warmteverliezen die optreden bij het transport en de distributie van de warmte.

Distributeur (inpandig). Binnen het gebouw worden eenmalige investeringen alsmede onderhoud en bediening gedaan ten behoeve van het inpandige distributienet en de warmtemeter. Veelal is vooraf onduidelijk wie de investeringen doet en is dit de uitkomst van de onderhandeling tussen de distributeur van het warmtevraaggebied en de eigenaar van het gebouw. Daarom is er in het Vesta MAIS model voor gekozen om de kosten van inpandige distributie apart zichtbaar te maken bij de actor 'distributeur (inpandig)' hoewel deze in de praktijk zelden zal voorkomen. De gebruiker van het model kan – indien gewenst - na de doorrekening zelf bepalen of de inpandige distributiekosten moeten worden opgeteld bij de distributeur van het warmtevraaggebied of de gebouweigenaar.

Gebouweigenaar. De gebouweigenaar maakt eenmalig kosten bestaande uit de aansluitbijdrage, het projectmanagement waaronder het informeren van de gebouwgebruikers en de ongeriefsvergoeding voor alternatief verblijf- en overnachting van de gebouwgebruiker tijdens de renovatie. Daarnaast kan in sommige gevallen huurverlaging plaatsvinden als gevolg van de lagere waardering van warmtenetten vergeleken met de individuele warmtevoorziening volgens het puntensysteem van sociale huurwoningen.

Gebouwgebruiker. De gebouwgebruiker betaalt het jaarlijkse vastrecht van het warmtenet en voor het warmteverbruik. De prijs is gebaseerd op wat de gebouwgebruiker zou betalen als deze gas zou gebruiken. De gebouwgebruiker betaalt dus hetzelfde voor warmte indien hij/zij gas zou verbruiken. Dit komt overeen met de maximumprijs van het "Niet-meer-dan-anders"-principe dat van toepassing is voor kleinverbruikers volgens de Warmtewet. In sommige gevallen ontvangt de gebouwgebruiker eenmalig een ongeriefsvergoeding en vindt er huurverlaging plaats. Deze overdrachten van gebouweigenaar naar –gebruiker zijn hiervoor beschreven.

Warmteleverancier. De warmteleverancier wordt in het Vesta MAIS model beschouwd als de actor die de opbrengsten van de warmtelevering int en de kosten van alle actoren betrokken bij de warmtelevering vergoedt. De warmteleverancier beheert zelf geen fysieke goederen anders dan het gebruik van een administratiekantoor voor de boekhouding. Winst en verlies van de warmtelevering komen bij de warmteleverancier tot uiting.

Tekstkader 2.2 Split incentive woningen bij warmtenetten

Actoren kunnen uiteenlopende bewegredenen hebben voor een warmtenet. Vooral bij verhuurders en huurders kunnen verschillende belangen spelen bij de keuze voor een warmtenet. Daarbij is het in de praktijk vaak lastig om de kosten en opbrengsten op een voor alle partijen acceptabele wijze toe te delen. Voor de verhuurder kan het warmtenet een gunstige optie zijn om zijn gebouwenvoorraad te verduurzamen terwijl de huurder de voorkeur geeft aan individuele verwarming, de renovatie als ongerief ervaart en de berekening van de warmteprijs wantrouwt. De oplossing van deze split incentive (letterlijk vertaald verdeeld motief) kan in het model worden gesimuleerd voor drie woningsituaties:

1. Meergezinswoningen met individuele gasketel;
2. Meergezinswoningen met warmtelevering vanuit een centrale ketel in het appartementencomplex
3. Eengezinswoningen met individuele gasketel.

In overleg met AEDES en het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties is de toerekening tot stand gekomen. In tabel 2.5 staan de kentallen die in de standaardberekening voor de eerste situatie worden gebruikt. De gebruiker van het model kan andere waarden invullen indien hij/zij andere inzichten heeft. Voor de andere woonsituaties staan tabellen in (CE Delft 2017).

Tabel 2.5 Kosten en baten warmtenetten (per woning) voor gebouwgebruiker en -eigenaar, warmteleverancier en – distributeur exclusief distributienet geldig voor woonsituatie: meergezinswoningen met individuele verwarming.

	Gebouw-gebruiker (huurder)	Gebouw-eigenaar (verhuurder)	Leveran-cier	Distribu-teur inpandig	Distribu-teur wijk
Eenmalige kosten (worden vergoed door leverancier)					
Eenmalige aansluitkosten ¹					€ 2.700
Fysieke aansluitmaatregelen ²				€ 5.308	
Verwijderen bestaande installatie ³				€ 500	
Ongeriefsvergoeding ⁴	◀	€ 125			
Projectmanagement ⁵		€ 250			
Eenmalige opbrengsten (worden betaald aan leverancier)					
Subsidie				Variabel	
Aansluitbijdrage ⁶		€ 795 (N)	→		
Jaarlijkse kosten (worden vergoed door leverancier)					
Huurverlaging verhuurder ⁷	Variabel (-/- €0-150)	Variabel (€ 0-150)			
Onderhoudskosten ⁸				2,5%	2,5%
Jaarlijks opbrengsten (worden betaald aan leverancier)					
Vastrecht (warmtewet)	€ 228 (N)		→		
Verkoop warmte	Verbruik * GJ-prijs		→		

- 1) Kosten voor het aansluiten van het pand op het distributienet; het bedrag is de uitkomst van een onderhandeling en er wordt aangenomen dat dit de ordegrootte is van de werkelijke kosten. Deze waarde komt uit de validatieslag van de Vesta MAIS.
- 2) Plaatsen warmtestation in bestaande ruimte; Aanleg verdeelleidingen door bergingen / kruipruimte; Aanleg stijgleidingen; Plaatsen afleverset; Aansluiten afleverset op bestaande binneninstallatie; Verwijderen combiketel.
- 3) Vergoeding voor versneld afschrijven van (delen van) de bestaande installatie; middenwaarde € 0-1.000.
- 4) Onkostenvergoeding voor het tijdelijk verblijf elders en ander ongemak; middenwaarde € 0-250.
- 5) Schatting
- 6) Er wordt aangenomen dat het pand wordt gezien als meerdere individuele aansluitingen die onder de Warmtewet vallen.
- 7) Door een collectief verwarmingssysteem daalt de maximale huur die een verhuurder mag vragen; omdat in veel gevallen deze maximale huur toch al niet wordt gevraagd, kan het zijn dat er geen verlaging tot een maximale verlaging plaatsvindt.
- 8) Standaardpercentage voor jaarlijkse onderhoudskosten distributienet

Als de hierboven beschreven opbrengsten en kosten van de warmtelevering in het warmtevraaggebied in de modelberekening bepaald zijn, wordt vervolgens vastgesteld of er een warmtenet komt in het gebied. Daartoe wordt de som van de opbrengsten (geannualiseerd met de discontovoet van de leverancier) vergeleken met de som van de kosten (geannualiseerd met de discontovoet van de betreffende actoren). Er wordt rekening gehouden met het feit dat in de eerste twee jaar van de looptijd van een project (typisch 30 jaar) nog geen opbrengsten worden gegenereerd, terwijl er wel aflossings-en rentekosten worden gemaakt. Indien de jaarlijkse baten voldoende zijn om de jaarlijkse lasten te dekken dan is warmtelevering in het gebied rendabel en wordt het gebied aangesloten op het warmtenet. Indien dit niet het geval is, dan blijft de standaardwaarde voor het gebied staan op de individuele verwarming met HR-ketel.

Voor WKO vindt een vergelijkbare rentabiliteitsberekening plaats. Een verschil is wel dat de investeringen in opwek en distributie in de praktijk meestal door één actor worden gedaan. Deze kostenposten en die van de gebouweigenaar zijn in de modelberekening toegewezen aan de actor 'distributeur (gebied)'. Er vindt bij WKO geen transport over langere afstand plaats. De bebouwing waar de geproduceerde warmte en koude wordt ingezet bevindt zich dus rondom de bron. In het model hebben woningen standaard geen koudevraag. Bij de rentabiliteitsberekening van WKO wordt er echter vanuit gegaan dat er wel koude wordt geleverd. De koudelevering aan woningen met WKO wordt dan als comfort beschouwd en financieel gewaardeerd tegen een vast bedrag (standaard 250 euro/jaar).

De gebruiker van het model kan aangeven in welke volgorde de rentabiliteit van de verschillende typen warmtebronnen moet worden doorgerekend. Als de eerste prioriteit ligt bij WKO dan wordt eerst per gebouw of per cluster van gebouwen (bijvoorbeeld PC6- gebied) bepaald waar WKO rendabel is. Vervolgens wordt met de resterende vraag van het warmtevraaggebied (bijvoorbeeld CBS-buurt of PC4-niveau) vastgesteld of de andere warmteopties zoals geothermie en restwarmte rendabel zijn. Als de eerste prioriteit daarentegen bij de andere gebiedsopties zoals geothermie en restwarmte wordt gelegd, dan worden gehele warmtevraaggebieden (CBS-buurten of PC4-gebieden) aan die opties toegewezen (indien rendabel), en is daarbinnen geen ruimte meer voor WKO in dat zichtjaar.

Voor geothermie en WKO is er de beperking dat de ondergrond in Nederland niet overal geschikt is. Er wordt met gebiedscontouren in het model opgegeven waar geothermie en WKO fysiek beschikbaar is. In de rentabiliteitsberekening kan een geothermiebron binnen die contouren op afstand nul van het warmtevraaggebied worden ingezet. Het model houdt echter ook rekening met de mogelijkheid dat geothermie naar een locatie buiten die contour wordt getransporteerd. Het model brengt in dat geval de transportkosten van dat betreffende geothermieproject in rekening. Voor WKO is de keuze gemaakt om deze techniek alleen binnen de contour toe te staan, en geen transportnet toe te staan vanuit een WKO-bron.

2.6 Kostenrange en leercurves

De investeringskosten van de maatregelen zijn zo goed mogelijk ingeschat voor zowel de huidige situatie als de toekomstige ontwikkelingen. Daar waar mogelijk zijn minimale en maximale waarden ingeschat. Bij de gebouwmaatregelen zijn de huidige kosten van schillabelsprongen geïnventariseerd voor een individuele aanpak (particuliere eigenaar) en voor een projectmatige aanpak. De kosten voor een projectmatige aanpak liggen vaak aanzienlijk lager vanwege de schaalvoordelen. Ook voor de energie-installaties van de gebouwen en de onderdelen van de gebiedsmaatregelen zijn minimale en maximale kosten ingeschat.

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

2.7 Gas- en elektriciteitsleverancier

De opbrengsten van de gas- en elektriciteitsleverancier kunnen veranderen door de volumeverandering van het energiegebruik onder invloed van de gebouw- en gebiedsmaatregelen. Daarnaast kunnen de kapitaalslasten van de netten worden beïnvloed door het afschakelen van het aardgasnet en het gebruik van de elektrische warmtepomp. Aangenomen wordt dat het aardgasnet wordt verwijderd indien alle gebouwen in een warmtegebied worden aangesloten op een warmtenet (en/of overschakelen op elektrische warmtepompen en WKO). In dat geval lopen de kapitaallasten van het gasnet in de modelberekening door en komen er extra 'verwijderingskosten' voor het gasnet (standaardwaarde 50% van de kapitaallasten) bij. Daar staat tegenover dat de onderhoudskosten van het gasnet vervallen. Bij het gebruik van de elektrische warmtepomp wordt aangenomen dat het elektriciteitsnet moet worden verzuaid (standaardfactor is gelijk aan 2) evenredig met het aantal aansluitingen in het gebied.

2.8 Energieprijzen

De energieprijzen binnen Vesta MAIS zijn gebaseerd op de ontwikkelingen van de energieprijzen zoals deze gehanteerd worden binnen de WLO (referentie WLO). In de WLO wordt de ontwikkeling van de prijzen voor energiedragers op de wereldmarkt beschreven. In het Vesta MAIS model worden de commodityprijzen overgenomen uit de WLO voor aardgas, kolen, biomassa, elektriciteit en CO₂. De commodityprijzen van gas en elektriciteit worden voor het eindgebruik in Vesta MAIS verhoogd met de volgende prijscomponenten:

- distributiekosten;
- transport -en capaciteitskosten;

- opslag duurzame energie (ODE-opslag);
- energiebelasting;
- BTW.

De optelling van deze verschillende componenten geeft de totaalprijs van gas en elektriciteit. Binnen Vesta MAIS zelf worden de prijscomponenten apart meegenomen, omdat dan duidelijk blijft welke actoren bepaalde prijscomponenten binnen krijgen voor de geleverde diensten. Naast het onderscheid naar prijscomponenten, wordt ook het onderscheid gemaakt naar gebruiksklasse. Prijzen verschillen namelijk fors tussen kleinverbruikers en grootverbruikers en dit wordt meegenomen binnen Vesta MAIS. Het onderscheid voor de klassen is te vinden op Belastingdienst (2017), waarbij binnen Vesta MAIS de volgende categorieën worden onderscheiden voor elektriciteit:

- Kleingebruik (< 10.000 kWh/jaar)
- Klein-middelgroot gebruik (10.001 t/m 50.000 kWh)
- Midden-middelgroot gebruik (50.001 t/m 10 miljoen kWh)
- Grootgebruik (> 10 miljoen kWh).

Voor aardgas worden de volgende categorieën onderscheiden:

- Kleingebruik (< 5.000 m³/jaar)
- Klein-middelgroot gebruik (5.001 t/m 170.000 m³)
- Midden-middelgroot gebruik (170.001 t/m 1 miljoen m³)
- Groot-middelgroot gebruik & grootGebruik (> 1 miljoen m³)
- Glastuinbouw: voor tuinders is een apart tarief van toepassing.

2.9 Kosten en baten van actoren

Er zijn meerdere methoden voor de berekening van de kosten en baten van het klimaat- en energiebeleid. Op hoofdlijnen zijn de belangrijkste methoden de eindgebruikerskosten en nationale kosten, beide volgens de miliekostenmethodiek, en de maatschappelijke kostenbatenanalyse. Het Vesta MAIS model kan beide benaderingen van de miliekostenmethodiek toepassen en een bijdrage leveren aan de maatschappelijke kostenbatenanalyse.

De benadering van de ‘eindgebruikerskosten’ wordt gehanteerd om recht te doen aan het perspectief van de eindgebruikers van energie inclusief bedrijven die energie produceren. In ons model wordt deze benadering gebruikt om de business case van actoren te berekenen. Daarnaast geeft de benadering van de ‘nationale kosten’ het perspectief voor Nederland als geheel weer. Deze benadering wordt veelal gebruikt in analyses van het klimaat- en energiebeleid voor de Rijksoverheid. Enkele voorbeelden hiervan zijn het interdepartementaal beleidsonderzoek naar kostenefficiëntie CO₂-reductiemaatregelen (IBO 2016 en ECN/PBL 2016), de doorrekening van de verkiezingsprogramma’s (PBL 2017) en andere verkenningen (Koelemeijer et al. 2017, Ros en Daniels 2017). De twee benaderingen van de miliekostenmethodiek worden hieronder toegelicht. Tevens is in bijlage 3 de volledige tekst van de miliekostenmethodiek, paragraaf 5.6 Kosten en baten van energiebesparing, uit (VROM 1998) opgenomen omdat het document niet digitaal beschikbaar is op internet. Tenslotte wordt aan het einde van de paragraaf de relatie tot de maatschappelijke kostenbatenanalyses (MKBA’s) toegelicht. De essentie van een MKBA is dat project- of beleidsalternatieven tegen elkaar worden afgewogen op basis van hun gevolgen voor de welvaart van de samenleving als geheel: de maatschappelijke kosten en baten als berekend op nationaal niveau (Romijn en Renes 2013).

Voor **eindgebruikerskosten** wordt per actor bepaald wat de kosten en baten zijn. Eenmalige investeringen worden met een discontovoet omgerekend naar kosten per jaar (CAPEX). De discontovoet is verschillend per type eindgebruiker, zie onderstaande tabel. Daarbij worden de jaarlijkse vaste kosten en de jaarlijkse variabele kosten opgeteld (OPEX). In de eindgebruikerskosten worden alle kostenposten, dus ook energiebelasting meegenomen. BTW wordt alleen meegenomen voor huishoudens, niet voor utiliteit, glastuinbouw en ‘energiebedrijven’. Er kan sprake zijn van baten voor de energieleverancier, of voor de eindgebruiker vanwege energiebesparing of teruglevering van elektriciteit met zijn micro-WKK of zonnepaneel. Baten, ook wel opbrengsten genoemd, zijn

negatieve kosten. Het is mogelijk om met subsidies te werken in het model. Deze worden afgetrokken van de kosten. Hierbij worden twee typen subsidies onderscheiden:

- Exploitatiesubsidies (vergelijkbaar met de SDE+)
De exploitatiesubsidie kan aangrijpen op de geproduceerde of geleverde warmte. Deze subsidies zijn alleen van toepassing op de producent.
- Investeringssubsidies (vergelijkbaar met de MIA, VAMIL, Step)
De investeringssubsidie is van toepassing voor iedere actor die investeringen doet en kan in sommige gevallen per techniek worden gegeven.

Voor **nationale (maatschappelijke) kosten** wordt in de methodiek feitelijk hetzelfde gedaan maar dan vanuit het oogpunt voor de maatschappij als geheel. Hierbij wordt de *maatschappelijke* discontovoet (standaard 4%) gehanteerd voor alle actoren. Overhevelingen zoals belastingen, BTW en subsidies van de ene actor naar de andere actor worden niet meegerekend. Ook bij de nationale kostenbenadering kan sprake zijn van baten. Dit is met name het geval bij uitgespaarde inkoopkosten van energie in het geval van energiebesparing.

Voor de berekeningen van de nationale en eindgebruikerskosten worden standaard de volgende discontovoeten gehanteerd conform de VROM-methodiek maar deze kunnen door de gebruiker worden aangepast.

Nationale kosten: 4%.

Eindgebruikerskosten:

Warmte- en koudelevering	
Opwekker:	6%
Transporteur:	6%
Distributeur (wijk):	6%
Distributeur (inpandig):	6%
Leverancier:	6%
Gebouweigenaar (bestaand en nieuw)	
Huishouden:	5,5%
Utiliteit:	8%
Glastuinbouw:	8%
Gebouwgebruiker (bestaand en nieuw)	
Huishouden:	5,5%
Utiliteit:	8%
Glastuinbouw:	8%
Gasleverancier:	6%
Elektriciteitsleverancier:	6%

De standaard discontovoet van de energieleveranciers staat hierboven op 6%. Dat is gebaseerd op discussies rond het 'redelijk rendement' op dit soort laagrisico investeringen in netwerkprojecten voor gebonden klanten. Als standaard in de VROM-methodiek wordt voor zakelijke investeringen een discontovoet van 8% aangehouden, daarvan wordt hier bewust afgeweken.

De nationale kosten zijn qua gebruikte grootheden zoals energieprijzen en rentevoeten ruwweg in lijn met de aanpak in **maatschappelijke kostenbatenaanlyses** (MKBA's). Een belangrijk verschil is echter dat MKBA's behalve de directe kosten en baten ook allerlei andere kosten en baten in beeld brengen. De nationale kosten vormen een smal kostenbegrip: allerlei 'bredere' kosten zoals indirecte effecten en externe kosten zijn er geen onderdeel van. Verder wordt in MKBA's doorgaans een netto contante waarde berekend, waarbij kosten en baten in de toekomst worden vertaald in kosten in het heden, in plaats van jaarlijkse kosten in zichtjaren (zie verder hoofdstuk 8, ECN/PBL 2016). Voorschrift is om in de MKBA een reële, risicotogewogen discontovoet van 3% te gebruiken. Voor publieke investeringen met grote vaste kosten (bv. infrastructuur) geldt een discontovoet van 4,5% voor zowel de kosten als de baten (Bruyn et al. 2017a). Om schade aan het milieu mee te nemen

werken MKBA's veelal met milieuprijzen. Milieuprijzen zijn kengetallen die de maatschappelijke marginale waarde voor het voorkomen van milieuvervuiling berekenen en uitdrukken in euro's per kilogram vervuilende stof. Milieuprijzen geven daarmee de welvaartsverliezen die optreden indien er één extra kilogram van de stof in het milieu terecht komt. Milieuprijzen zijn daarmee vaak gelijk aan de externe kosten (Bruyn et al. 2017b).

2.10 Beleidsinstrumenten

Belangrijke beleidsinstrumenten die kunnen worden doorgerekend zijn:

- veranderingen van energiebelasting;
- CO₂-heffing; en
- subsidie op de investering in gebouw- en gebiedsmaatregelen en de levering van duurzame warmte.

Ook kunnen veranderingen van de rentevoet van energiebesparingsprojecten en warmtenetten worden gesimuleerd. Deze kunnen het gevolg zijn van maatschappelijke ontwikkelingen en publiek-private financiering. Ook beleid gericht op verplichtingen voor verbeteringen van de energieschillabel kunnen worden doorgerekend. Voorbeelden van de doorrekening van beleidsinstrumenten worden verderop in het rapport behandeld.

3 Referentiepaden en beleidsvarianten

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten behandeld van de Voorbeeldberekeningen. Deze berekeningen zijn bedoeld om te illustreren wat voor soort verkenningen met het Vesta MAIS model kunnen worden uitgevoerd.

Om te beginnen worden de Referentiepaden van de lange termijn scenario's van de studie Welvaart en Leefomgeving (WLO) beschreven in paragraaf 3.1. Hier komen de uitgangspunten aan bod ten aanzien van toekomstige economische, demografische en ruimtelijke ontwikkelingen. De Referentiepaden van de WLO scenario's zijn gebaseerd op een continuering van het bestaande beleid voor de gebouwde omgeving. Door aan de Referentiepaden nieuw beleid toe te voegen, kan de modelgebruiker beleidsvarianten construeren. Die worden behandeld in paragraaf 3.2. Het Referentiepad en de beleidsvariant hanteren dus dezelfde uitgangspunten van de toekomstige economische, demografische en ruimtelijke ontwikkeling. Door de uitkomsten van het Referentiepad en de beleidsvariant te vergelijken, kan het beleidseffect worden bepaald. De resultaten hiervan worden besproken in de volgende hoofdstukken.

3.1 Referentiepaden

Het kernteam MAIS heeft er voor gekozen om uit te gaan van de ontwikkelingen van de scenario's van de CPB/PBL studie Welvaart en Leefomgeving (WLO) (CPB/PBL 2015a en 2015b). In de WLO kijken het CPB en het PBL vooruit naar de jaren 2030 en 2050. Hierbij zijn demografische en economische trends in beeld gebracht en ontwikkelingen in de fysieke leefomgeving geanalyseerd.

Tekstkader 3.1 Achtergrond scenario's van de studie Welvaart en Leefomgeving

De WLO-scenario's omvatten de belangrijkste onzekerheden op het gebied van klimaat en energie. Naast het mondiale klimaatbeleid zijn dat het luchtbeleid, de omvang van de voorraden fossiele brandstoffen, de technologische ontwikkeling, de aan- of afwezigheid van geopolitieke spanningen en daarmee de energievoorzieningszekerheid, de acceptatie van nieuwe technologie door de samenleving en de economische ontwikkeling. Van al deze onzekerheden is het mondiale klimaatbeleid in de WLO-studie de dominante onzekerheid: zonder mondiaal klimaatbeleid zal de emissie van broeikasgassen blijven stijgen en zal het aandeel van CO₂-arme energietechnologie bescheiden blijven; met klimaatbeleid zal wereldwijd de emissie van broeikasgassen dalen en kan CO₂-arme technologie de dominante vorm van energieopwekking worden.

De WLO-scenario's sluiten aan bij mondiale klimaatscenario's die op lange termijn leiden tot een mondiale gemiddelde temperatuurstijging van 2,5-3 graden in het WLO-scenario Hoog en 3,5-4 graden in het WLO-scenario Laag. Het scenario Hoog veronderstelt dat alle toezeggingen in de VN-klimaatonderhandelingen van Parijs 2015 worden waargemaakt. Het streefdoel dat in Parijs is afgesproken gaat echter verder namelijk naar een beperkte stijging van 1,5 graad met als maximum toelaatbaar 2 graden. Deze klimaatdoelen uit het Parijsakkoord zijn in werking getreden op 4 november 2016.

Belangrijke trends en bevindingen van de WLO over economische groei, bevolkingsgroei, temperatuurstijging door klimaatverandering en energieprijzen zijn het uitgangspunt voor de Vesta MAIS

berekeningen. In de WLO zijn twee referentiescenario's ontwikkeld: Laag en Hoog. Daarnaast is in de WLO voor het thema Klimaat en Energie een tweegradenvariant van het scenario Hoog ontwikkeld. In de Voorbeeldberekeningen zijn de omgevingsfactoren van de twee referentiescenario's geïmplementeerd inclusief de klimaat- en energiemaatregelen van andere sectoren. Voor de gebouwde omgeving zijn juist geen energie- en klimaatmaatregelen opgenomen omdat deze als voorbeeld worden doorgerekend. De implementatie van de WLO referentiescenario's in het Vesta MAIS model noemen we de Referentiepaden.

Belangrijke uitgangspunten van de omgevingsfactoren voor de Referentiepaden van de scenario's Laag en Hoog in de Voorbeeldberekeningen die – tenzij anders vermeld - zijn overgenomen uit de WLO zijn:

- De ruimtelijke ontwikkeling van de woningvoorraad en de utiliteitsgebouwen: onder invloed van de groei van de economie en de bevolking worden er woningen gesloopt en bijgebouwd. Door verandering van bedrijfsactiviteiten vindt er verandering plaats van de omvang en locatie van utiliteitsgebouwen. Speciaal voor de Voorbeeldberekeningen zijn de sloop en nieuwbouw ruimtelijk geïmplementeerd in de geografische bestanden van het Vesta MAIS model. Voor de glastuinbouw is geen sloop en nieuwbouw verondersteld;
- Voor de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving vindt continuering plaats van het bestaande klimaat- en energiebeleid in de Referentiepaden. Nieuwbouw van gebouwen voldoet aan de eisen van bijna-energieneutrale gebouwen (BENG) zoals die zijn aangekondigd door de overheid onder invloed van het EU-beleid;
- De ontwikkelingen op het gebied van klimaat- en energie in andere sectoren dan de gebouwde omgeving volgen de WLO-studie. Dat betekent dat in andere landen en sectoren de klimaatambities en veranderingen in het energiesysteem van de WLO-scenario's worden gerealiseerd. Dit heeft gevolgen voor de ontwikkeling van de mondiale energieprijzen en CO₂-prijs;
- De energieprijsontwikkeling van fossiele brandstoffen, biomassa en elektriciteit is overgenomen van de WLO;
- De CO₂-prijs die van toepassing is op de elektriciteitssector is overgenomen van de WLO;
- De huidig vastgestelde energiebelastingen zijn geldig in de gehele periode tot 2050. De opslag duurzame energie is tot 2030 overgenomen uit de NEV 2015 en in de periode daarna constant gehouden;
- Voor de elektriciteit die wordt ingekocht van de elektriciteitsleverancier wordt de CO₂-emissiefactor uit het WLO scenario gehanteerd. Omdat de maatregelen in de elektriciteitssector goedkoper zijn dan in andere sectoren neemt de CO₂-emissiefactor al snel en zeer sterk af. De emissiefactor van de WLO staat in de volgende tabel.

Tabel 3.1
CO₂-emissiefactor van ingekochte elektriciteit (CPB/PBL 2015b).

	WLO Laag (kg CO ₂ /kWh)	WLO Hoog (kg CO ₂ /kWh)
2015	0,45	0,45
2030	0,14	0,06
2050	0,12	0,04

Als gevolg hiervan neemt de CO₂-emissie veroorzaakt door het elektriciteitsverbruik van de gebouwde omgeving al in de periode 2015 - 2030 in sterke mate af waarna de afname doorgaat in de periode 2030 – 2050 in beide WLO scenario's. Wel is de afname in het scenario Hoog sterker dan in Laag omdat in het scenario Hoog een stringenter klimaatdoel wordt nastreefd en gerealiseerd.

- Tevens wordt er rekening gehouden met een verminderde energievraag vanwege de stijging van de temperatuur door de klimaatverandering.

Tabel 3.2
Uitgangspunten van de omgevingsfactoren van de Referentiepaden van de WLO-scenario's in de Voorbeeldberekeningen

	WLO scenario	
	Laag	Hoog
Economische groei	laag	hoog
Bevolkingsgroei	laag	hoog
Temperatuurstijging	3,5 à 4	2,5 à 3
Energieprijzen (wereldhandel)	hoog	laag
Energieheffingen en -belastingen	vastgesteld beleid	
Stijging CO2-prijs	klein	groot
Afname emissiefactor elektriciteit	klein	groot

3.2 Beleidsvarianten

In de WLO studie is met diverse modellen de energievraag en het –aanbod doorgerekend opdat de gekozen klimaatambitie tegen zo laag mogelijke nationale kosten wordt gerealiseerd. Dit is gedaan voor alle sectoren in Nederland. De WLO-studie doet echter geen uitspraken over de beleidsinstrumenten waarmee de energiebesparingen en –technieken tot stand kunnen komen. In de vorige paragraaf hebben we laten zien hoe met het Vesta MAIS model de Referentiepaden voor WLO Laag en WLO Hoog zijn geconstrueerd door uit te gaan van de omgevingsfactoren. Deze Referentiepaden veronderstellen de continuering van het bestaande klimaat- en energiebeleid voor de gebouwde omgeving. In de Referentiepaden van de Voorbeeldberekeningen worden daardoor de klimaatambities van de WLO-scenario's niet gehaald. Omdat het Vesta MAIS de mogelijkheid biedt om beleidsinstrumenten door te rekenen kan – in tegenstelling tot de WLO studie – wel worden nagegaan met welk beleid de klimaatambities kunnen worden gerealiseerd. Het effect van het beleid wordt inzichtelijk gemaakt door verscheidene beleidsvarianten op te stellen, vervolgens met het Vesta MAIS model door te rekenen en daarna de resultaten te vergelijken met de Referentiepaden van de scenario's Laag en Hoog. Een belangrijk verschil met de WLO is daarbij dat in de Voorbeeldberekeningen de energiemaatregelen worden genomen die rendabel zijn volgens de kostenbenadering van eindgebruikers. Bedacht moet steeds worden dat het om het technisch-economisch potentieel gaat. Er zijn geen gedragsvoorkeuren en andere beweegredenen meegenomen bij het bepalen van de effecten van de beleidsvarianten.

Tenzij anders vermeld worden voor de Voorbeeldberekeningen door het Vesta MAIS model de volgende maatregelen ingezet indien ze rendabel zijn volgens de kostenbenadering van de eindgebruikers:

- Gebouwmaatregelen: verbeteringen van het energieschillabel van het gebouw (isolatie) en de elektrische warmtepomp;
- Gebiedsmaatregelen: warmtenetten van geothermie, restwarmte, bio-WKK en WKO.

Deze maatregelen zijn op dezelfde wijze in de Referentiepaden opgenomen. Voor sommige van de maatregelen is ook nagegaan wat het effect is als ze sowieso worden genomen dat wil zeggen ongeacht of ze rendabel zijn of niet. Dat is ook gedaan voor de hybride warmtepomp, de zonneboiler en zonnecellen.

Er is rekening gehouden met een split incentive en rebound effect bij schilverbeteringen van woningen zoals beschreven in paragraaf 2.4.1. Verondersteld is dat de energiegebruiker een vergoeding geeft voor de renovatie met energiemaatregelen aan de gebouwgebruiker. De hoogte van de vergoeding is gesteld op 80% van het voordeel dat de bewoner geniet van de gebouwschil- en installatieverbetering. Het voordeel bestaat uit de uitgespaarde energie-inkoopkosten en de comfortverbetering. Bij de comfortverbetering is gerekend met een reboundfactor van 50%

voor renovaties tot en met schillabel B. De theoretische energiebesparing is dan tweemaal zo groot als de werkelijke energiebesparing. Voor renovaties van het niveau van schillabel B naar Aplus is geen rebound verondersteld met andere woorden er is geen aanpassing van het gedrag verondersteld.

Bij de gebouwen van de utiliteitssector is de vergoeding 100% van de uitgespaarde energie-in-koopkosten en is voor geen van de renovaties aanpassing van gedrag verondersteld.

Tenslotte geldt – tenzij anders vermeld – dat in de beleidsvarianten dezelfde uitgangspunten ten aanzien van de omgevingsfactoren gelden als in de Referentiepaden. Dat betekent bijvoorbeeld dat de CO₂-emissiefactor van de elektriciteitssector in de beleidsvarianten hetzelfde is als in het Referentiepad ongeacht de omvang van de elektriciteitsvraag door de gebouwde omgeving in de beleidsvariant. In werkelijkheid zullen niet-marginale veranderingen in de vraag naar elektriciteit zorgen voor veranderingen in de opwekking en daarmee de emissiefactor. Maar het is juist de WLO-studie die middels de scenario's Laag en Hoog twee mogelijke toekomstbeelden schetst waarbij de ontwikkeling van onzekere factoren op integrale wijze is verkend. Om het effect van beleidsvarianten te beoordelen kan dan ook het best gebruik worden gemaakt van doorrekening van beide scenario's. Gezien alle onzekerheden geeft de range met resultaten tussen beide scenario's het meest robuuste antwoord.

Eén van de belangrijkste doelen van het MAIS project is om met het Vesta MAIS model de effecten van beleidsinstrumenten te kunnen doorrekenen. Ter illustratie van het beleid dat met het Vesta MAIS model kan worden doorgerekend zijn de volgende beleidsvarianten van de Referentiepaden in overleg met het kernteam MAIS opgesteld. Dit heeft geleid tot de volgende hoofdvarianten:

- A. Energiebelasting en CO₂-heffing
- B. Investeringssubsidie
- C. Subsidie warmteproductie
- D. Lagere discontovoet
- E. Verplichte energieprestatie gebouwen
- F. Vaste warmteprijs
- G. Warmteprijs lager dan aardgasprijs.

Tabel 3.3
Hoofdvarianten met de stimulans waar het beleid op aangrijpt en het evaluatie-inzicht dat doorrekening met het Vesta MAIS model geeft.

	Beleidsinstrument	Stimulans en evaluatie-inzicht
A	Energiebelasting en CO ₂ -heffing	Stimulans voor vermindering aardgasgebruik door energiebesparing en alternatieve vormen van warmte-opwekking zoals warmtepompen en warmtenetten
B	Investeringssubsidie	Stimulans voor investeringen van gebouwmaatregelen, warmtebronnen en warmtenetten
C	Subsidie warmteproductie	Stimulans voor warmte-opwekking door warmtebron om warmtenetten te voeden. Subsidievorm is vergelijkbaar met bestaande subsidie duurzame energie (SDE)
D	Lagere discontovoet	Geeft inzicht in potentieel indien investeerder lagere (of hogere) rentevoet hanteert vanwege structurele en duurzaamheidsoverwegingen. Kan ook worden gebruikt om effect van publiek-private financiering na te gaan
E	Verplichte energieprestatie gebouwen	Stimulans voor energiebesparing en schonere warmteopwekking door gebouweigenaren

F	Vaste warmteprijs	Geeft inzicht in potentieel van gebiedsopties indien vaste warmteprijs voor eindgebruiker geldt. Hiermee kan de warmteprijs worden bepaald die nodig is om bepaalde gebieden aan te sluiten op het warmtenet (break even warmteprijs)
G	Warmteprijs lager dan aardgas	De aansluiting op een warmtenet kan financieel aantrekkelijker worden gemaakt door de warmteprijs lager te maken dan de aardgasprijs

Voor iedere hoofdvariant zijn één of meerdere rekenvarianten doorgerekend. Dit heeft geleid tot in totaal 23 rekenvarianten voor beide Laag en Hoog scenario's van de WLO. Dit is inclusief het Referentiepad waarbij alle schillabelsprongen, elektrische warmtepomp en gebiedsmaatregelen worden genomen die rendabel zijn bij voortzetting van het bestaande beleid.

Tabel 3.4
Overzicht van rekenvarianten. In de sets staan de varianten die met elkaar worden vergeleken in de volgende hoofdstukken. Iedere set bevat tevens het Referentiepad van het WLO scenario.

Hoofdvariant	Subvariant	Set
A Energiebelasting verhoging en CO2-heffing		
1	Verhoging energiebelasting op aardgas met € 0,25	1
2	Verhoging energiebelasting op aardgas met € 0,50	1
3	Verhoging energiebelasting op aardgas met € 1,00	1
4	Verhoging energiebelasting op aardgas met € 1,50	1
5	Verhoging energiebelasting op aardgas met € 0,25 en een verlaging op elektriciteit met € 0,06	2
6	Invoering van een CO2 heffing op aardgas	2
B Subsidie op investering		
7	Subsidie van 40% op investeringskosten van schilverbetering door gebouweigenaar	3
8	Subsidie van 40% op investeringskosten warmteproducent	3
9	Subsidie van 40% op investeringskosten van transport en distributienetten	3
C Subsidie op de geproduceerde warmte		
10	Een vast subsidiebedrag (€ 5/GJ) per geleverde eenheid warmte aan de producent	3
D Lagere rendementseis voor publiek-private investeringen		
11	Rentevoet van 0 % i.p.v. 6 % voor warmtetransport en distributie	4
12	Rentevoet bedrijven en eindgebruikers is 2% lager dan default	4
E Verplichte energieprestatie opleggen voor woningen en utiliteit		
13	Verplichting 'Midden-niveau' met rendabel warmtenet	5
14	Verplichting 'Hoog-niveau' met rendabel warmtenet	5
15	Verplichting 'Hoog-niveau met elektrische Warmtepomp vanaf 2040	5
16	Variant 13 met hybride warmtepomp vanaf 2020	6
17	Variant 14 met hybride warmtepomp vanaf 2020	6
F Vaste warmteprijs voor eindgebruiker		
18	Tarief van 63,2 €/GJ (komt overeen met 2 euro/m3)	7
G Warmte goedkoper dan aardgas (warmte 15% per geleverde eenheid goedkoper dan aardgas)		
19	Variant 1 met warmte goedkoper dan aardgas	8
20	Variant 2 met warmte goedkoper dan aardgas	8
21	Variant 3 met warmte goedkoper dan aardgas	8
22	Variant 4 met warmte goedkoper dan aardgas	8

3.2.1 Hoofdvariant A Energiebelasting en CO₂-heffing

De energiebelasting en de CO₂-heffing kunnen een grote impact hebben op het verminderen van het aardgasgebruik door energiebesparing en de overschakeling van gasketels naar warmtepompen en warmtenetten. Om het effect te bepalen zijn zes rekenvarianten opgesteld:

- a) Om het effect van een verhoging van de energiebelasting op aardgas te bepalen zijn vier varianten opgesteld. In deze varianten wordt de energiebelasting op aardgas stapsgewijs tot en met 2050 verhoogd, zie onderstaande tabel. De verhoging geldt voor het aardgasverbruik tot 170.000 m³ per jaar.

Tabel 3.5**Verhoging van de energiebelasting op aardgas (euro/m³).**

variant	Verhoging energiebelasting (euro/m ³)			
	2020	2030	2040	2050
1	0,05	0,10	0,20	0,25
2	0,10	0,20	0,40	0,50
3	0,20	0,40	0,80	1,00
4	0,30	0,60	1,20	1,50

- b) In de vijfde variant is nagegaan wat het effect is van een verschuiving van de energiebelasting op elektriciteit naar aardgas. Dit betekent een verhoging van de energiebelasting op aardgas en een verlaging op elektriciteit in 2020, zie onderstaande tabel. De verschuiving geldt alleen voor het aardgasverbruik van woningen en utiliteitsgebouwen tot 170.000 m³ en alle glastuinbouwbedrijven; en het elektriciteitsverbruik tot 50.000 kWh. Een verschuiving van de belasting op energie kan bijdragen aan verbetering van de welvaart (PBL 2016).

Tabel 3.6**Aardgas- en elektriciteitsprijzen (incl BTW) en – belasting (excl BTW) kleinverbruik in 2016, wijziging van de energiebelasting (exclusief BTW).**

Variant 5		Prijs incl BTW (Milieucentraal, prijspeil 2016)	Energiebelasting exclusief BTW (prijspeil 2015 resp. 2010)	
		2015	Referentie 2015	Verschuiving in 2020
Aardgas	Euro/m ³	0,65	0,19	+0,25
Elektriciteit	Euro/kWh	0,19	0,12	-0,06

- c) Tenslotte wordt in de zesde variant een CO₂-heffing op aardgas ingevoerd. Deze CO₂-heffing is gelijk gesteld aan de efficiënte CO₂-prijs van de WLO scenario's die kan worden gebruikt in MKBA's (CPB/PBL 2016). De ^{hoogte} van de efficiënte CO₂-prijs, gegeven in onderstaande tabel, is afhankelijk van de klimaatambitie van het scenario. Bij de interpretatie van de resultaten van de doorrekening is het goed om er rekening mee te houden dat het maatschappelijk optimaal is om naast koolstofbelastingen (of een emissiehandelssysteem) ook subsidies te verstrekken om zo de ontwikkeling van CO₂-arme technologie te stimuleren (pagina 7, CPB/PBL 2016). Verder zij opgemerkt dat in de doorrekening naast de CO₂-heffing ook de energiebelasting van het Referentiepad is toegepast. Dit weerspiegelt de zienswijze dat de CO₂-heffing is gerelateerd aan het klimaatbeleid terwijl de energiebelasting slechts wordt gezien als een middel voor de overheid om aan opbrengsten te komen.

Tabel 3.7**Efficiënte CO₂-prijs van de WLO scenario's.**

	Efficiënte CO ₂ -prijs om klimaatambitie van het scenario te realiseren	
	WLO Laag	WLO Hoog
2015	12 euro/ton (0,021 euro/m ³)	48 euro/ton (0,085 euro/m ³)
2030	20 euro/ton (0,036 euro/m ³)	80 euro/ton (0,142 euro/m ³)
2050	40 euro/ton (0,071 euro/m ³)	160 euro/ton (0,285 euro/m ³)

CO₂-prijs in een twee graden scenario

Let op: in de scenario's WLO Laag en Hoog worden de klimaatdoelen uit het Parijsakkoord dat op 4 november 2016 in werking is getreden niet gehaald, zie de tekstdader in paragraaf

3.1. Voor de volledigheid vermelden we dat in de WLO studie een variant van het Hoog scenario is opgenomen waarin wereldwijd de broeikasgasemissies wel worden beperkt om het twee graden doel te realiseren. In deze WLO tweegradenvariant van het scenario Hoog neemt de efficiënte CO₂-prijs met een bandbreedte van tussen de 60 en 300 euro per ton CO₂ in 2015 toe tot tussen de 100 en 500 euro per ton CO₂ in 2030 en tot tussen de 200 en 1000 euro per ton CO₂ in 2050. Volgens de inzichten van de auteurs van de WLO passen de CO₂-prijzen aan de onderkant van deze bandbreedte waarschijnlijk het best bij een Nederlandse en Europese CO₂-reductiedoelstelling van 80 procent in 2050. Prijzen aan de bovenkant van de bandbreedte komen in beeld als de emissies in 2050 omlaag moeten met 95 procent en meer (CPB/PBL 2015b en 2016).

3.2.2 Hoofdvariant B Subsidie op de investering

Subsidie kan worden gegeven op de investeringen van de gebouw- en gebiedsmaatregelen. Bij de gebouwmaatregelen kan onderscheid worden gemaakt in schilverbeteringen en warmtetechnieken zoals warmtepomp, zon-PV en zonneboiler. Bij de gebiedsmaatregelen kan onderscheid worden gemaakt in warmtebron, warmtetransport, warmtedistributie en inpandige investeringen. Bij de opwekking van warmte kan desgewenst nog onderscheid worden gemaakt naar warmtebron te weten restwarmte, geothermie, WKO, bio-WKK en wijk-WKK.

Als voorbeeld zijn de volgende varianten doorgerekend:

- a) de subsidie van 40% op de investering in schilverbetering van het gebouw (variant nummer 7). Het betreft de isolatiemaatregelen van de schil en elektrische warmtepomp;
- b) de subsidie van 40% op de investering in de warmtebron (nummer 8). Hierbij komen alle warmtebronnen voor subsidie in aanmerking;
- c) de subsidie van 40% op de investeringen in de transport- en distributienetten (nummer 9).

3.2.3 Hoofdvariant C Subsidie op de geproduceerde warmte

Op de geproduceerde warmte door de warmtebron bijvoorbeeld geothermie kan subsidie worden verleend op de geleverde warmte. De subsidie is een vast bedrag per geleverde eenheid warmte (euro/GJ) aan het warmtenet. In de Voorbeeldberekeningen wordt een subsidiebedrag van 5 euro/GJ gegeven voor de warmte geleverd door de warmtebronnen geothermie, restwarmte en bio-WKK (variant nummer 10).

3.2.4 Hoofdvariant D Lagere rendementseis voor publiek-private investeringen

Vanwege enerzijds structurele en duurzaamheidsoverwegingen en anderzijds publiek-private financiering kan in de praktijk een lagere rentevoet door investeerders worden gebruikt dan in het Vesta MAIS model standaard wordt aangenomen. Het Vesta MAIS model houdt rekening met de rentevoet voor discontering van investeringen in de rentabiliteitsberekeningen en de bepaling van de maatschappelijke- en eindgebruikerskosten. De discontovoeten van de actoren die standaard worden gehanteerd, conform de milieukostenmethodiek, zijn gegeven in paragraaf 2.9. Deze discontovoeten zijn door de gebruiker van het Vesta MAIS model desgewenst te variëren. In de Voorbeeldberekeningen is een variant (nummer 11) doorgerekend met een rentevoet van 0% voor zowel het transport- als distributienet. Tevens is een variant (nummer 12) doorgerekend met een rentevoet die 2% lager is voor de investeringen van alle actoren.

3.2.5 Hoofdvariant E Verplichte energieprestatie voor woningen en utiliteit

In de varianten 13 tot en met 15 wordt het technisch-economisch potentieel bepaald voor enkele maatregelen die worden verplicht. Hierbij wordt verondersteld dat de verplichte maatregelen daadwerkelijk worden genomen. De verplichte energieprestaties van woningen en utiliteitsgebouwen bestaan uit schilverbeteringen van het gebouw en de overstap naar de elektrische warmtepomp. De maatregelen worden in het model opgelegd om het technisch potentieel en de kosten van de verplichte maatregelen te bepalen. Beschouwd worden verbeteringen van de schil van het gebouw

door isolatie van vloer, gevel en dak en HR++ glas die leiden tot een middelmatige en hoge energiebesparing. Het laatste geval kan worden aangevuld met een elektrische warmtepomp. Dit komt overeen met de volgende niveaus:

- Het ‘midden’ niveau komt overeen met de isolatiewaarde van gemiddeld $R_c = 2,5$ tot à $3,0\text{ m}^2\text{ K/W}$ voor vloer, gevel en dak ($EPC \sim 0,8$; $EI = 1,1$ tot $1,5$; voorheen energielabel B);
- Het ‘hoog’ niveau komt overeen met de isolatiewaarde van gemiddeld $R_c = 5,0\text{ m}^2\text{ K/W}$ voor vloer, gevel en dak; $EPC \leq 0,4$; $EI \leq 0,5$; voorheen energielabel A++);
- Het ‘hoog met elektrische warmtepomp’ niveau vult het ‘hoog’ niveau aan met een elektrische warmtepomp. Deze gebouwen worden daarbij geschikt gemaakt voor ruimteverwarming met een elektrische warmtepomp door het vervangen van de bestaande radiatoren door een laag temperatuur afgiftesysteem.

In onderstaande tabellen staan de energieprestatie en de varianten met verplichte energieprestatie en het jaar waarop de verplichting ingaat.

Tabel 3.8

Energieprestaties en bijbehorend schillabel.

Energieprestatie	Afkorting
Midden	Label B
Hoog	Label A+
Hoog met elektrische warmtepomp	Label A+/eWP

Tabel 3.9

Varianten verplichte energieprestatie met periode waarop verplichting ingaat.

	2020	2040
Verplicht midden (variant 13)	Label B	Label B
Verplicht hoog (variant 14)	Label B	Label A+
Verplicht hoog met eWP (variant 15)	Label B	Label A+/eWP

Het model legt op alle gebouwen de verplichte energieprestatie op. Bovendien wordt het warmtenet aangelegd als het rendabel is. Bij de variant ‘hoog met elektrische warmtepomp’ (Label A+/eWP) wordt geen warmtenet aangelegd om het effect te laten zien als alle gebouwen een elektrische warmtepomp krijgen.

De genoemde varianten zijn doorgerekend zonder hybride warmtepomp. Om het effect van de hybride warmtepomp te laten zien, zijn de verplichte schilverbeteringen van het midden en hoog niveau tevens doorgerekend met de hybride warmtepomp in de varianten 16 respectievelijk 17. De hybride warmtepomp wordt ingezet vanaf 2020.

3.2.6 Hoofdvariant F Vaste warmteprijs voor de eindgebruiker

Standaard wordt de warmteprijs, die de eindgebruiker betaald, bepaald door het Vesta MAIS model op basis van het (niet-meer-dan-anders (NMDA) principe. Als alternatief voor het NMDA tarief kan de gebruiker van het Vesta MAIS model een vaste warmteprijs opgeven waartegen de eindgebruikers de warmte uit het warmtenet moet inkopen. In de Voorbeeldberekeningen is in een variant (nummer 18) de vaste warmteprijs voor de eindgebruiker doorgerekend met het tarief van 63,2 euro/GJ. Dit komt overeen met een equivalent aardgastarief van 2 euro/m³, zie onderstaande tabel. Om de warmteprijs te vergelijken met de aardgasprijs in kubieke meters is de warmteprijs tevens gegeven in euro per kubieke meter equivalent.

Tabel 3.10

Equivalentie tarieven van aardgas en warmte geleverd door een warmtenet.

Aardgas	euro/m ³	0,8	0,9	1,0	2,0
Warmte	euro/GJ	25,3	28,4	31,6	63,2

3.2.7 Hoofdvariant G Warmte goedkoper dan aardgas (warmte 15% per geleerde eenheid goedkoper dan aardgas)

Om de aansluiting op een warmtenet financieel aantrekkelijker te maken voor de gebruiker zijn Voorbeeldberekeningen (varianten nummer 19 t/m 22) uitgevoerd waarbij de warmteprijs 15% voordeliger is dan aardgas. Dit is gedaan voor het Referentiepad en de vier varianten met de verhoging van de energiebelasting op aardgas uit onderdeel A waarbij de energiebelasting van aardgas vanaf 2020 stapsgewijs wordt verhoogd variërend van 0,25 euro/m³ tot 1,50 euro/m³ in 2050.

4 Resultaten op hoofdlijnen

Het doel van dit rapport is om te illustreren welk soort resultaten het model kan berekenen. Daarin maken we onderscheid tussen resultaten op hoofdlijnen en output van detailinformatie. Resultaten op hoofdlijnen hebben betrekking op de energievraag en het –aanbod, de CO₂-emissie , de nationale kosten en op de kosten voor eindgebruikers. Bij elk van deze outputs is verdere detaillering mogelijk. In dit hoofdstuk laten we in sommige gevallen voor woningen deze detaillering van resultaten zien.

Naast het tonen van beschikbare output laten we hier ook zien welk type analyses met het model mogelijk zijn. Dat doen we door resultaten te tonen van berekeningen van veranderingen in invoer-gegevens. De eerste set alternatieve invoergegevens die we hier presenteren betreft een verhoging van de energiebelasting zoals gedefinieerd in het vorige hoofdstuk: de varianten van de verhoging van de energiebelasting lopen uiteen van een relatief beperkte verhoging tot een uiterst grote stapsgewijze verhoging van anderhalve euro per kubieke meter in 2050. Daarom laat deze set een waaijer van effecten zien, variërend bijvoorbeeld van beperkte tot uiterst extreme veranderingen in het aardgasgebruik in de gebouwde omgeving. Aan de hand van deze set invoergegevens wordt in paragraaf 4.1 de werking van het model geïllustreerd. Andere sets invoergegevens (behorend bij de andere beleidsvarianten uit het vorige hoofdstuk) leveren in het algemeen dezelfde soort van uitkomsten en hetzelfde type van figuren op. Daarom bespreken we in de paragrafen 4.2 tot en met 4.9 alleen enkele opvallende uitkomsten van doorrekeningen van deze sets van beleidsvarianten.

We laten daarbij ook zien hoe omgegaan kan worden met de onzekerheid van toekomstige ontwikkelingen. De scenario's van de WLO schetsen mogelijke toekomstbeelden die bedoeld zijn om beleidmakers enig houvast te geven. We laten de resultaten zien voor beide scenario's om de afhankelijkheid van toekomstige ontwikkelingen te kunnen vergelijken. De verschillen tussen zowel de Referentiepaden van de scenario's Laag en Hoog als tussen de beleidsvarianten van de scenario's worden besproken bij iedere figuur.

Tenslotte vermelden we hier nogmaals dat de voorbeeldberekeningen van het Vesta MAIS model uitsluitend zijn bedoeld om het nut en de werking van het model te demonstreren. De resultaten zijn NIET gebaseerd op een gedegen studie met een bepaalde beleidsrelevante onderzoeksfrage en er worden daarom geen conclusies en aanbevelingen omtrent de effectiviteit van beleidsinstrumenten getrokken. De figuren kunnen wel nuttig zijn bij het formuleren van onderzoeksfragen die met het model kunnen worden onderzocht.

4.1 Verhoging energiebelasting op aardgas (set 1)

De resultaten van de verhoging van de energiebelasting op aardgas (set 1) zijn weergegeven in vier deelparagrafen. In de eerste drie deelparagrafen worden alle rekenvarianten uit set 1 met elkaar vergeleken. In de laatste deelparagraaf wordt ingezoomd op deelindicatoren van één rekenvariant. Achtereenvolgens komen aan bod:

Paragraaf 4.1.1 De energievoorziening van de GO in periode 2015 – 2050

Aan bod komt de ontwikkeling van de volgende aspecten die samenhangen met het energiegebruik voor warmte en elektriciteit in de periode 2015 – 2050: de nationale kosten, de kosten van eindgebruikers, de energievraag en de CO₂-emissie van het energiegebruik;

Paragraaf 4.1.2 De energievoorziening van de GO in zichtjaar 2050

Aan bod komt de samenstelling van aspecten van de energievoorziening (warmte én elektriciteit) in de GO in het zichtjaar 2050. Dit wordt gedaan voor de kosten van eindgebruikers, de energievraag en de CO₂-emissie van het energiegebruik;

Paragraaf 4.1.3 De warmtevoorziening van de woningen in periode 2015 – 2050

De figuren in deze deelparagraaf schetsen de ontwikkeling van de warmtevoorziening van woningen in de periode 2015 – 2050. Hierbij komen achtereenvolgens aan bod: de warmtevraag van alle woningen en daarna alleen bestaande woningen; het gasgebruik van alle woningen en de warmtelevering door warmtenetten aan alle woningen;

Paragraaf 4.1.4 De warmtevoorziening van woningen in de periode 2015 – 2050, variant verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,50 euro/m³

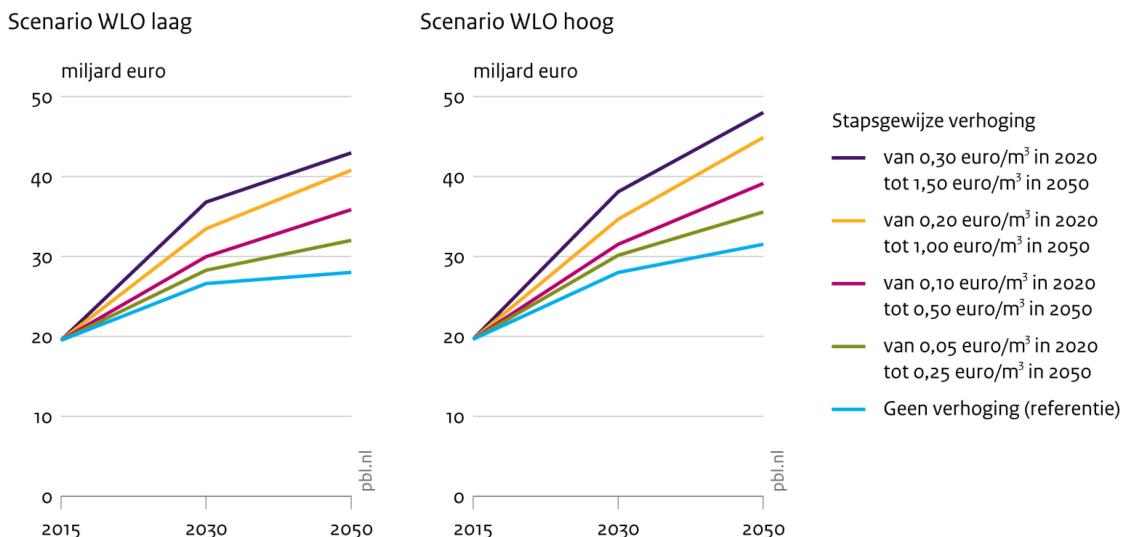
De laatste deelparagraaf schetst de ontwikkeling van de warmtevoorziening van woningen in de periode 2015 – 2050 voor de rekenvariant verhoging energiebelasting aardgas met 0,50 euro/m³. Hier worden de warmtevraag van bestaande en nieuwbouw woningen, de inzet van warmtebronnen voor de warmtelevering door warmtenetten en het warmteaanbod door gas, elektrische warmtepompen en warmtenetten geschatst.

4.1.1 De energievoorziening van de GO in periode 2015 – 2050

In deze paragraaf staan de figuren van de ontwikkeling van verschillende aspecten die samenhangen met het energiegebruik in de periode 2015 – 2050. Voor ieder aspect wordt eerst de ontwikkeling in de Referentiepaden toegelicht en vervolgens het effect van de varianten.

- Kosten van eindgebruikers
 - *Referentiepaden (blauwe lijn):* De kosten van de eindgebruikers nemen in de Referentiepaden toe van 20 miljard euro in het startjaar naar circa 29 tot 32 euro miljard euro in WLO-Laag respectievelijk WLO-Hoog in 2050. De toename wordt veroorzaakt door de stijging van de energiprijzen in het scenario WLO-Laag. In het scenario WLO-Hoog neemt daarnaast de warmte- en elektriciteitsvraag toe waardoor de kosten extra stijgen;
 - *Verhoging energiebelasting (overige kleuren):* De kosten van de eindgebruikers nemen in beide scenario's extra toe naarmate de energiebelasting op aardgas hoger wordt.

Kosten van eindgebruikers bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050

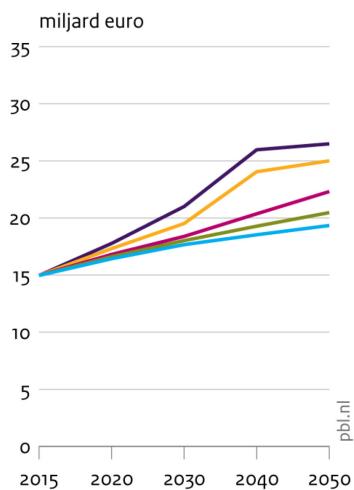


Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

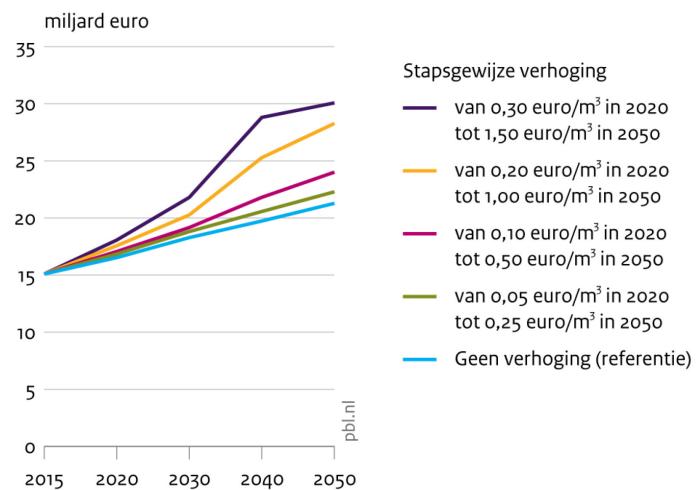
- Nationale kosten
 - *Referentiepaden (blauwe lijn)*: De nationale kosten nemen toe in de Referentiepaden (blauwe lijn) om dezelfde redenen als bij de eindgebruikers (namelijk stijging van de energieprijzen en volumegroei in het scenario WLO-Hoog).
 - *Verhoging energiebelasting (overige kleuren)*: De nationale kosten in de varianten met de verhoging van de energiebelasting zijn hoger dan in de Referentiepaden omdat duurdere energiemaatregelen voor de eindgebruiker rendabel worden bij hogere energiebelasting.

Nationale kosten bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050

Scenario WLO laag



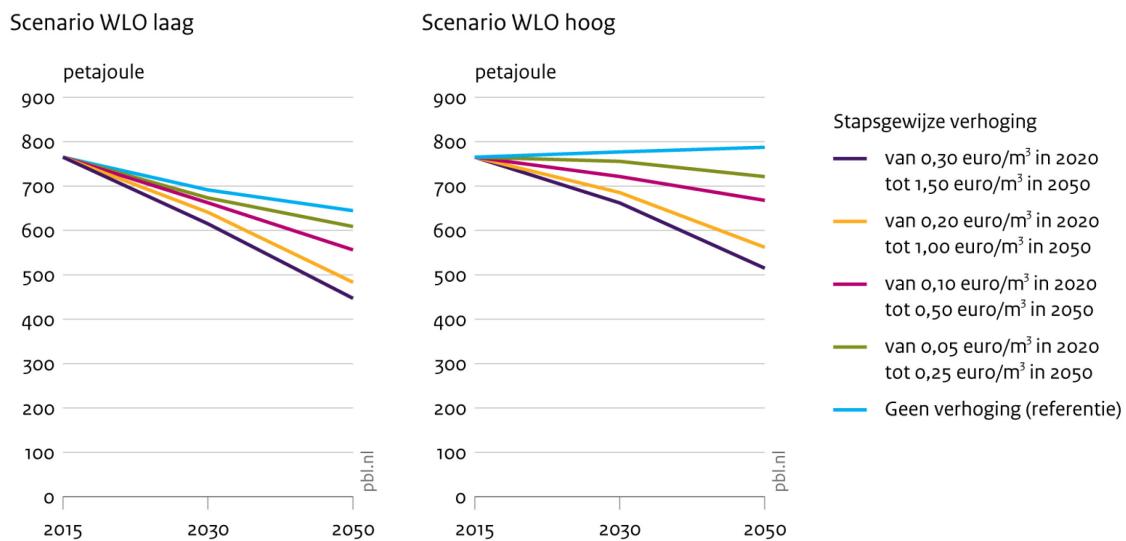
Scenario WLO hoog



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

- Warmte- en elektriciteitsvraag
 - *Referentiepaden (blauwe lijn):* De warmte- en elektriciteitsvraag neemt af in het Referentiepad (blauwe lijn) van het scenario WLO-Laag. Dit komt door de toename van energiebesparing die rendaler wordt vanwege de stijging van de aardgasprijs. In het Referentiepad van het scenario WLO Hoog neemt de warmtevraag echter toe omdat er minder energie wordt bespaard vanwege de minder grote stijging van de aardgasprijs dan in Laag. Bovendien is de volumegroei groter dan in Laag. De volumegroei wordt veroorzaakt door de grotere groei van de bevolking en de economie waardoor het aantal woningen en utiliteitsgebouwen meer toeneemt dan in Laag. De elektriciteitsvraag voor apparaten en verlichting per volume-eenheid (woning, bvo m² voor utiliteit en hectare glastuinbouw) is in beide scenario's gelijk gehouden.
 - *Verhoging energiebelasting (overige kleuren):* Naarmate de energiebelasting op aardgas hoger is, is de gezamenlijke warmte- en elektriciteitsvraag minder. De hogere energiebelasting op aardgas heeft geen effect op de elektriciteitsvraag van apparaten en verlichting.

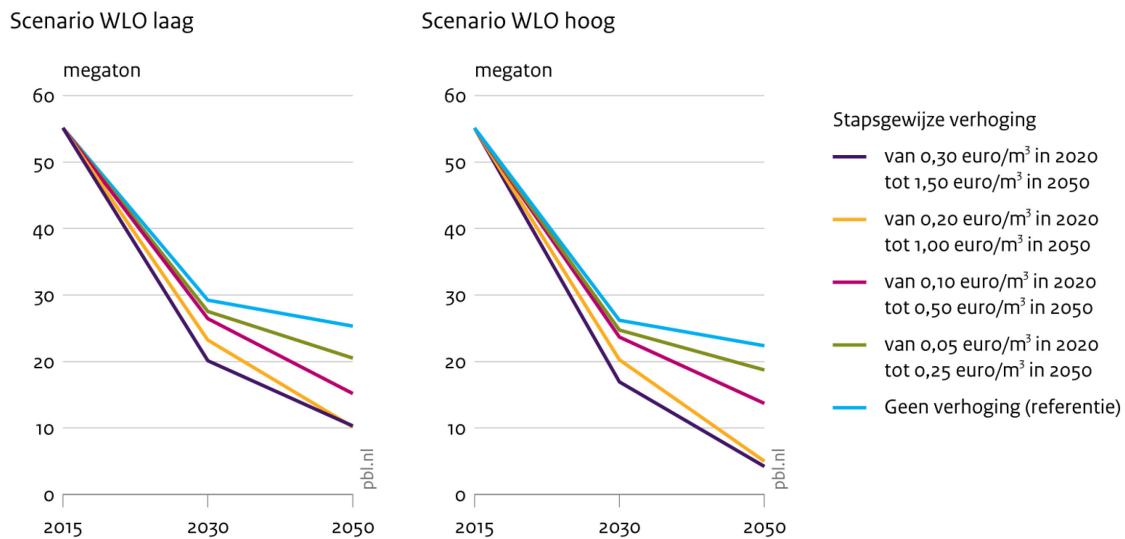
Warmte- en elektriciteitsvraag bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

- CO₂-emissie
 - *Referentiepaden (blauwe lijn)*: De CO₂-emissie van woningen, utiliteit en glastuinbouw neemt in de Referentiepaden af van 55 Mton CO₂ in het startjaar tot 28 Mton in scenario WLO Laag respectievelijk 23 Mton in scenario WLO Hoog. In het scenario WLO Laag wordt de CO₂-emissiedaling veroorzaakt door zowel een daling van de energievraag als het schoner worden van de elektriciteit. In beide scenario's is de elektriciteit al flink schoner in 2030 dan in het startjaar. Dit verklaart de knik in de figuur voor zowel het referentiepad als de varianten: de CO₂-emissiefactor neemt sterker af in de periode 2015 - 2030 dan in de periode daarna, zie tabel 3.1. In het scenario Hoog is de daling van de CO₂-emissie groter dan in Laag ondanks het feit dat de energievraag groeit. De sterkere CO₂-emissiedaling wordt dan ook volledig veroorzaakt door de zeer schone elektriciteit in het scenario WLO-Hoog, waar de klimaatambitie het hoogst is. De elektriciteit is zo schoon omdat het schoonmaken van elektriciteit één van de goedkoopste CO₂-reductiemaatregelen is vergeleken met maatregelen van andere sectoren.
 - *Verhoging energiebelasting (overige kleuren)*: In de varianten met een verhoging van de energiebelasting op aardgas neemt de CO₂-emissie verder af naarmate de verhoging groter is. Naast de vermindering van de warmtevraag speelt de vervanging van aardgas door elektrische warmtepompen en warmtenetten een belangrijke rol. Bij de stapsgewijze verhoging van de energiebelasting tot 1,50 euro/m³ in 2050 neemt de CO₂-emissie af van 55 Mton in het startjaar tot 13 Mton in 2050 in het scenario WLO Laag en 8 Mton in het scenario WLO Hoog. Het verschil tussen Laag en Hoog wordt vooral veroorzaakt door de schonere elektriciteit in Hoog.

Emissie van CO₂ bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050



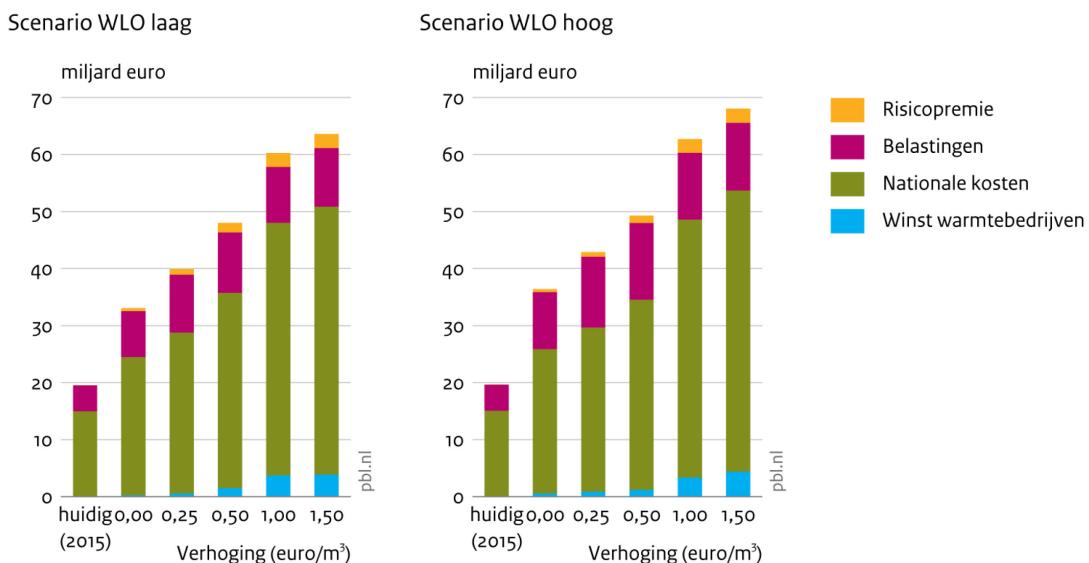
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

4.1.2 De energievoorziening van de GO in zichtjaar 2050

In deze paragraaf staan de figuren van de samenstelling van verschillende aspecten die samenhangen met het energiegebruik in het zichtjaar 2050. Hieronder wordt voor ieder aspect eerst de samenstelling in de Referentiepaden toegelicht en vervolgens het effect van de beleidsvarianten beschreven.

- Kosten van eindgebruikers. In de figuur staan de absolute kosten. De extra kosten van het beleid kan de lezer afleiden door de beleidsvarianten te vergelijken met het Referentiepad.
 - Referentiepaden:* De (absolute) kosten van de eindgebruikers in 2050 zijn substantieel hoger dan in het startjaar vanwege de groei van het volume zoals hierboven is besproken. De belangrijkste kostenposten zijn de nationale kosten en de te betalen belastingen. Deze zijn in gelijke mate toegenomen in 2050 vergeleken met het startjaar.
 - Verhoging energiebelasting:* hoe groter de verhoging van de energiebelasting hoe hoger de kosten van de eindgebruikers. Zowel de nationale kosten als de te betalen belastingen nemen toe. De toename van de nationale kosten wordt veroorzaakt door de investeringen in de energiemaatregelen. De toename van de belastingen te betalen aan de overheid bestaat uit de hogere energiebelasting op aardgas. Bij de grootste verhogingen wordt de risicopremie van de energiemaatregelen zichtbaar vanwege de grote omvang van de investeringen in energiebesparing en warmtenetten. De risicopremie is de rentetoeslag die investeerders (gebouweigenaren en warmtebedrijven) betalen bovenop de nationale kosten. Tenslotte wordt ook de winst van de warmtebedrijven zichtbaar bij de grootste verhogingen van de energiebelasting. De hoge winst wordt veroorzaakt doordat de warmte wordt verkocht tegen het aardgastarief volgens het NMDA principe. Doordat de energiebelasting sterk is verhoogd, is het aardgastarief dus sterk gestegen terwijl op de geleverde warmte geen energiebelasting wordt geheven. Het verhoogde tarief werkt op deze manier in het voordeel van de warmtebedrijven.

Kosten van eindgebruikers bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050

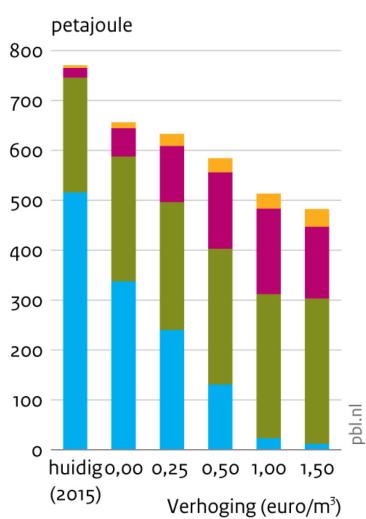


Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

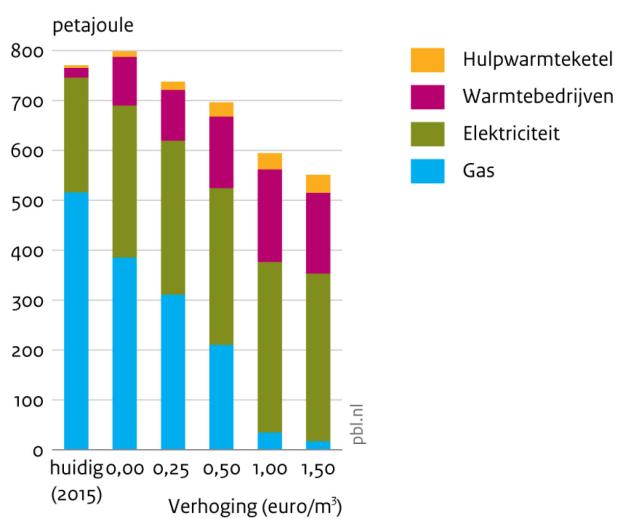
- Warmte- en elektriciteitsvraag
 - *Referentiepaden*: In de Referentiepaden neemt de elektriciteitsvraag toe vanwege de volumegroei. Opvallend is dat de gasvraag in beide scenario's afneemt hetgeen wordt veroorzaakt door enerzijds rendabele energiebesparing en anderzijds toename van warmtenetten.
 - *Verhoging energiebelasting*: Naarmate de verhoging van de energiebelasting op aardgas groter is, is het gasgebruik van de eindgebruikers lager. Dit wordt veroorzaakt door een toename van zowel energiebesparing als warmtenetten. Voor een deel wordt het lagere gasgebruik van de eindgebruikers teniet gedaan door een toename van het gasgebruik in hulpwarmteketels van warmtenetten. Ook de elektriciteitsvraag neemt in sommige gevallen toe vanwege de toename van elektrische warmtepompen en WKO.

Warmte- en elektriciteitsvraag bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog

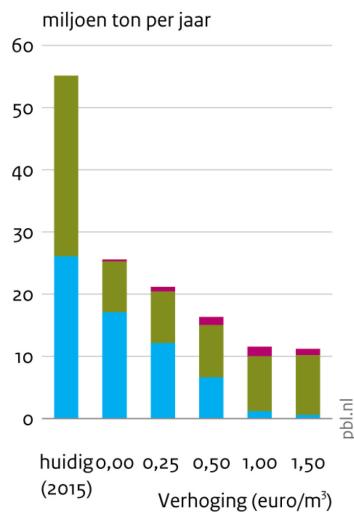


Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

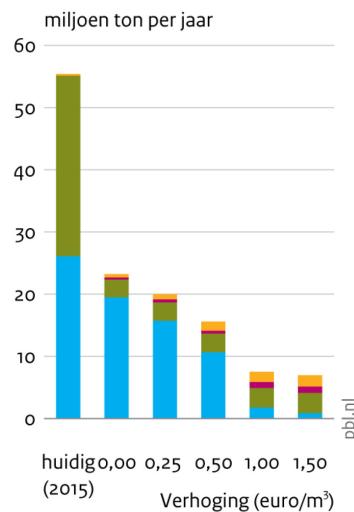
- CO₂-emissie
 - *Referentiepaden*: In de Referentiepaden van zowel Laag als Hoog is de CO₂-emissie in 2050 substantieel lager dan in het basisjaar, in de figuur aangeduid met *huidig (2015)*. Dit opmerkelijk grote verschil wordt veroorzaakt het schoner worden van de elektriciteit, zie vorige paragraaf. Daarnaast is de gasvraag van eindgebruikers afgangen, zie vorige punt 'Warmte en elektriciteitsvraag'.
 - *Verhoging energiebelasting*: Naarmate de verhoging van de energiebelasting op aardgas groter is, is de CO₂-emissie in 2050 lager door het lagere gasgebruik van de eindgebruikers. De gebiedsopties veroorzaken bijna geen CO₂-emissie behalve het gasgebruik van de hulpwarmteketel van de warmtenetten, waarvan is verondersteld dat die nog op aardgas plaatsvindt.

Emissie van CO₂ bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

4.1.3 De warmtevoorziening van de woningen in periode 2015 – 2050

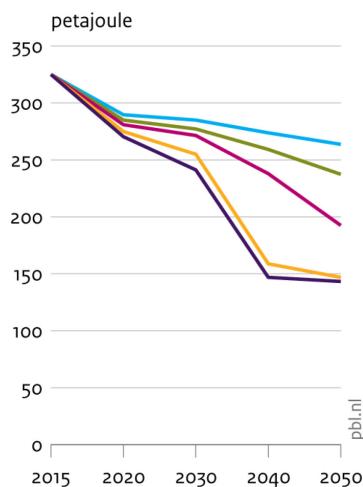
We zoomen nu in op de woningen voor de ontwikkeling in de periode van het startjaar (2015) tot 2050:

- **Warmtevraag alle woningen (a) en alleen bestaande woningen (b)**

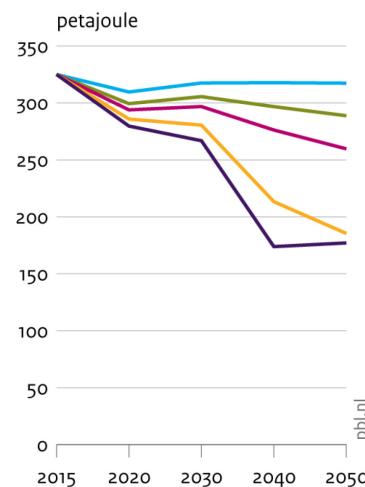
- *Referentiepaden (blauwe lijn):* In de Referentiepaden neemt de warmtevraag van woningen in de periode van het startjaar tot 2050 af door sloop en energiebesparing van bestaande woningen. De totale woningvoorraad neemt wel toe door energiezuinige nieuwbouw. In het Referentiepad van scenario WLO Hoog blijft de warmtevraag tot 2050 min of meer op het niveau van het startjaar. De warmtevraag van bestaande woningen in Hoog is nagenoeg gelijk aan Laag. Weliswaar is de sloop groter in Hoog maar er wordt door de resterende woningen minder energie bespaard vanwege de minder gestegen aardgasprijs in Hoog ten opzichte van Laag. Ondanks het feit dat de nieuwbouw energiezuinig is, komen er zo veel nieuwe woningen bij in de periode tot 2050 dat zij de afname van de warmtevraag van de bestaande woningen te niet doen.
- *Verhoging energiebelasting (overige kleuren):* Naarmate de verhoging van de energiebelasting groter is, is de warmtevraag minder door grotere energiebesparing. Het verschil tussen de stapsgewijze verhoging met 1 euro/m³ en 1,50 euro/m³ in 2050 is gering omdat veel woningen de maximale energiebesparing hebben gerealiseerd bij de verhoging met 1 euro/m³.

Warmtevraag woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



Stapsgewijze verhoging

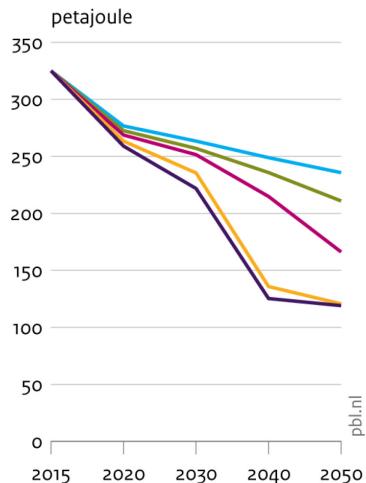
- van 0,30 euro/m³ in 2020 tot 1,50 euro/m³ in 2050
- van 0,20 euro/m³ in 2020 tot 1,00 euro/m³ in 2050
- van 0,10 euro/m³ in 2020 tot 0,50 euro/m³ in 2050
- van 0,05 euro/m³ in 2020 tot 0,25 euro/m³ in 2050
- Geen verhoging (referentie)

Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

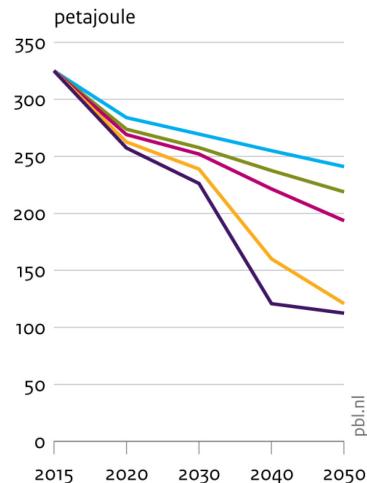
De voorgaande figuur betreft de warmtevraag van alle woningen. De volgende figuur beschouwt alleen de bestaande woningen.

Warmtevraag bestaande woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



Stapsgewijze verhoging

- van 0,30 euro/m³ in 2020 tot 1,50 euro/m³ in 2050
- van 0,20 euro/m³ in 2020 tot 1,00 euro/m³ in 2050
- van 0,10 euro/m³ in 2020 tot 0,50 euro/m³ in 2050
- van 0,05 euro/m³ in 2020 tot 0,25 euro/m³ in 2050
- Geen verhoging (referentie)

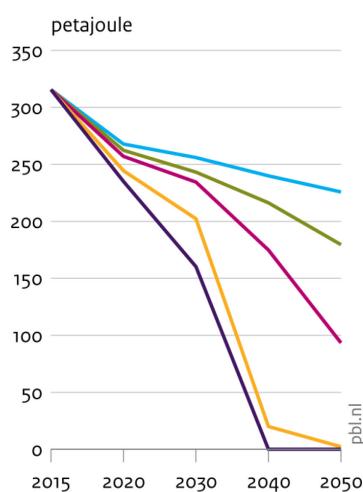
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

- **Gasverbruik woningen**

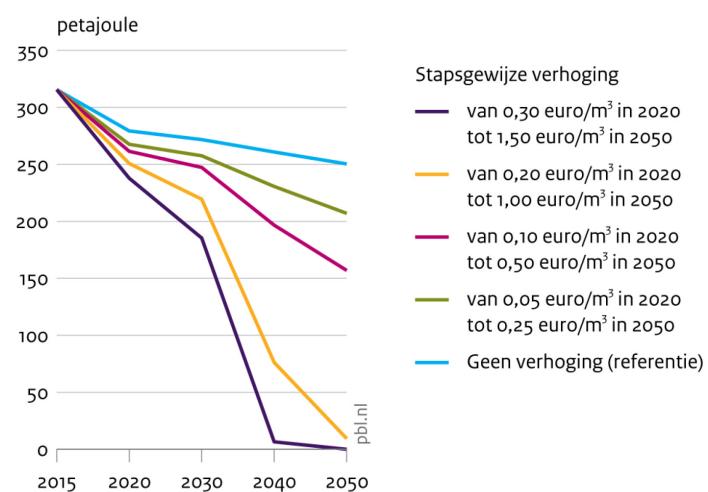
- *Referentiepaden (blauwe lijn)*: Door de toename van warmtenetten en met name WKO in de nieuwbouw neemt het gasverbruik (onderstaande figuur) meer af dan de warmtevraag (bovenstaande figuur) in Referentiepad WLO Laag. Opvallend is de daling van het gasverbruik in de periode tot 2050 in Referentiepad WLO Hoog terwijl in dit scenario de warmtevraag niet afneemt tot 2050. Dit komt door het grote aandeel nieuwbouw met WKO.
- *Verhoging energiebelasting (gekleurde lijnen)*: Naarmate de verhoging van de energiebelasting groter is, is het gasverbruik lager. Oorzaken zijn de afname van de warmtevraag (zie vorige punt), de toename van warmtenetten en de elektrische warmtepomp. Bij de verhoging van 1,50 euro/m³ is er vrijwel geen gasverbruik meer in 2050.

Gasverbruik woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog

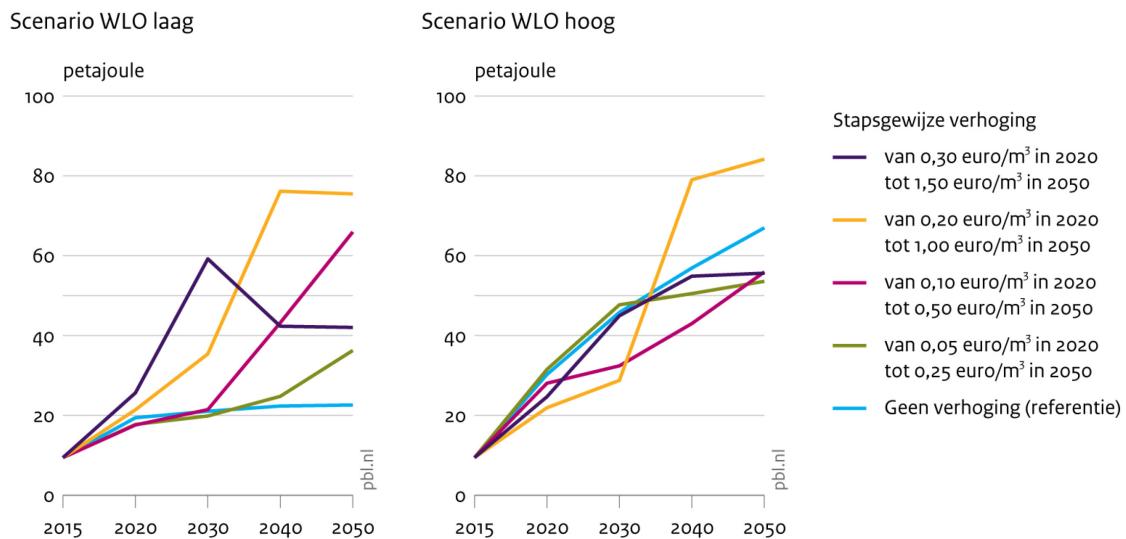


Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

- **Warmtelevering gebiedsopties woningen**

- *Referentiepaden (blauwe lijn):* In de Referentiepaden verdrievoudigt de warmtelevering van warmtenetten aan woningen in het scenario WLO Laag en verzesvoudigt het in WLO Hoog in de periode 2015 – 2050. Het grootste aandeel van de warmtelevering wordt geleverd door WKO in de nieuwbouw. Daarnaast is er een bescheiden toename van restwarmte, geothermie en bioWKK ten opzichte van het startjaar.
- *Verhoging energiebelasting (overige kleuren):* De stapsgewijze verhoging van de energiebelasting op aardgas tot 0,50 euro/m³ in 2050 zorgt voor een toename van de warmtelevering door de gebiedsopties in WLO Laag. In WLO Hoog leidt de stapsgewijze verhoging van de energiebelasting echter niet of nauwelijks tot extra warmtelevering in 2050 vergeleken met het Referentiepad. Door de stapsgewijze verhoging van de energiebelasting in dit scenario vindt wel extra uitbreiding van warmtenetten plaats maar wordt er ook meer energie bespaard waardoor de levering per woning minder is in 2050. De warmtelevering is bij de stapsgewijze verhoging van 1,50 euro/m³ in 2050 ongeveer hetzelfde als bij 1,00 euro/m³. Weliswaar is het aantal gebieden met een warmtenet groter bij de grootste verhoging van de energiebelasting maar is de warmtelevering per gebied kleiner omdat er meer energie wordt bespaard en er meer woningen een elektrische warmtepomp krijgen.

Levering van warmtenetten aan woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

4.1.4 De warmtevoorziening van woningen in de periode 2015 – 2050, variant verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,50 euro/m³

Hieronder wordt voor één variant, namelijk de verhoging van de energiebelasting met 0,50 euro/m³ ingezoomd op de ontwikkeling van de warmtevoorziening van woningen in de periode van het startjaar tot 2050:

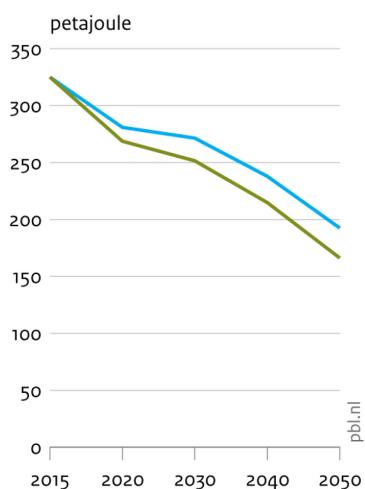
- **Warmtevraag van bestaande en nieuwbouw woningen**

- *Bestaande woningen (groene lijn):* De warmtevraag van bestaande woningen in 2050 is in WLO Laag ongeveer hetzelfde als in WLO Hoog. De sloop is in WLO Hoog groter maar de energiebesparing is kleiner vanwege de lagere aardgasprijs. Per saldo is de warmtevraag in WLO Laag daardoor iets lager dan in WLO Hoog.
- *Alle woningen (blauwe lijn):* De warmtevraag van bestaand en nieuwbouw samen is in WLO Hoog groter in 2050 vanwege het grotere volume van de nieuwbouw.

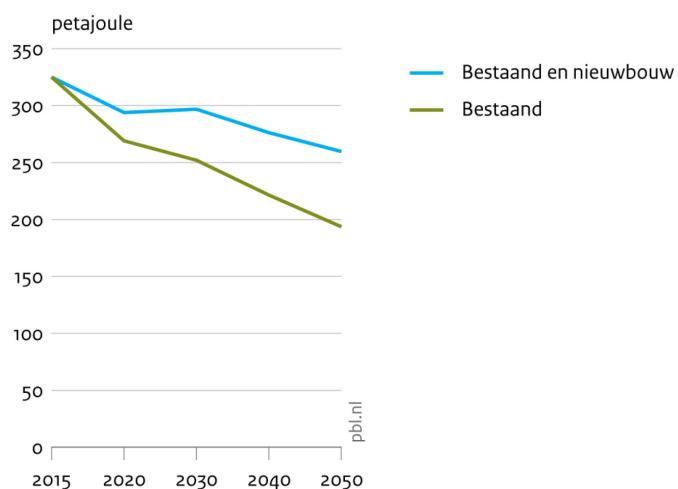
Warmtevraag van woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050

Variant stapsgewijze verhoging van 0,10 euro/m³ in 2020 tot 0,50 euro/m³ in 2050

Scenario WLO laag



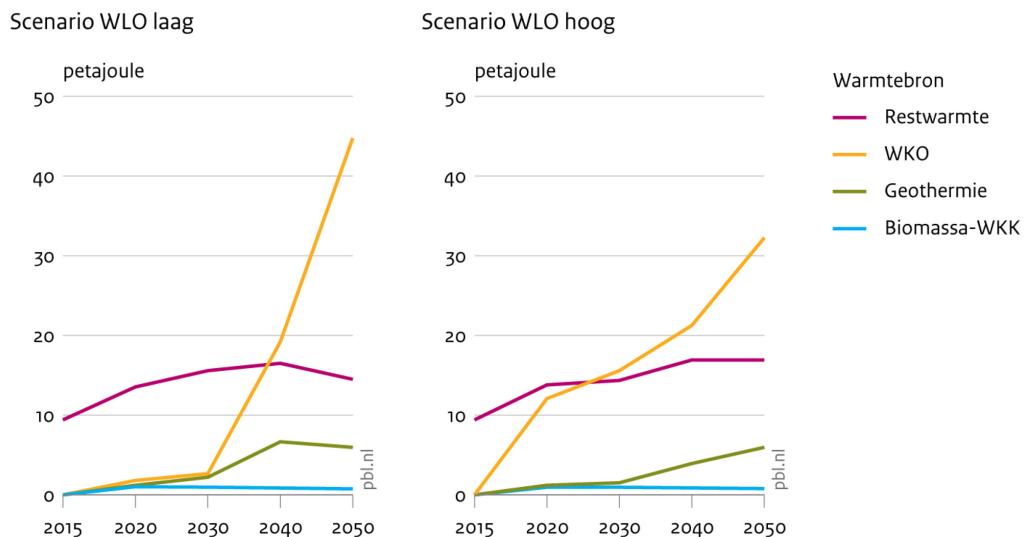
Scenario WLO hoog



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

- **Inzet warmtebronnen voor warmtelevering gebiedsopties aan woningen**
 - *Warmtelevering WKO (gele lijn)*: De warmtelevering van WKO neemt in WLO Hoog sterker toe dan in WLO Laag vanwege de grotere volumegroei van nieuwbouw in WLO Hoog.
 - *Warmtelevering geothermie (groene lijn)*: De warmtelevering van geothermie groeit sterker tot 2040 in WLO Laag dan in WLO Hoog vanwege de hogere aardgasprijs in WLO Laag. Na 2040 treedt een daling in in WLO Laag omdat de warmtevraag afneemt van de aangesloten woning op het warmtenet vanwege de energiebesparing door de stijgende gasprijs. In het scenario WLO Hoog neemt juist in de periode 2030 tot 2050 de warmtelevering van geothermie toe omdat dan de gasprijs voldoende hoog is om de warmtenetten rendabel te maken. Uiteindelijk is de warmtelevering door geothermie ongeveer even groot in beide scenario's.
 - *Warmtelevering restwarmte (rode lijn)*: De warmtelevering door restwarmte neemt toe tot 2040 door de stijging van de aardgasprijs. De toename van restwarmte is groter dan die van geothermie omdat restwarmte goedkoper is. Na 2040 daalt de warmtelevering in WLO Laag om dezelfde reden als de daling van geothermie (zie vorige punt). Verder is te zien dat de daling van restwarmte groter is in WLO Laag dan die van geothermie. Dit komt omdat er toch nog warmtenetten van geothermie bijkomen vanwege de kostendaling van geothermie en de stijging van de aardgasprijs. Om dezelfde reden zien we dat restwarmte in WLO Laag gelijk blijft terwijl de warmtelevering van geothermie verder stijgt.
 - *Warmtelevering Biomassa-WKK (blauwe lijn)*: De warmtenetten van Biomassa-WKK breiden na 2020 niet meer uit vanwege de stijging van de biomassaprijs. Daarnaast is Biomassa-WKK als laagste prioriteit ingezet door de modelgebruiker waardoor andere warmtebronnen de (mogelijk) rendabele warmtelevering van Biomassa-WKK al hebben weggesnopt.

Inzet bronnen voor warmtelevering aan woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050. Variant stapsgewijze verhoging van 0,10 euro/m³ in 2020 tot 0,50 euro/m³ in 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

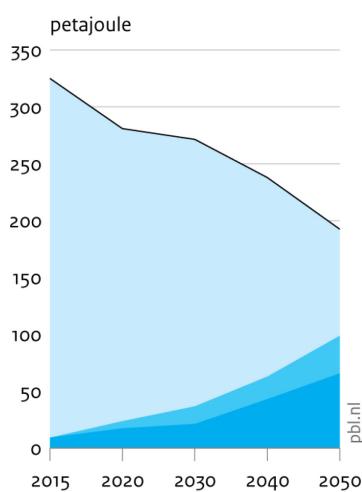
- **Warmteaanbod**

- *Totale warmteaanbod (bovenste lijn):* De woningen worden energiezuiniger in de periode tot 2050 waardoor - ondanks de toename van het aantal woningen - de warmtevraag (= totale warmteaanbod) afneemt. In het scenario WLO Hoog is de warmtevraag groter dan in WLO Laag vanwege geringere energiebesparing van bestaande woningen en een groter aantal meer nieuwbouw woningen (zie hierboven).
- *Verdeling warmteaanbod over aardgasgebruik, warmtepompen en warmtenetten (blauwe arceringen):* Het gasgebruik wordt deels vervangen door elektrische warmtepompen en warmtelevering van gebiedsopties. In het WLO Hoog scenario nemen de elektrische warmtepompen meer toe vanwege de grotere omvang van de nieuwbouw. De warmtenetten van de bestaande bouw nemen meer toe in WLO Laag omdat de gasprijs hoger is waardoor de warmtenetten eerder rendabel zijn.

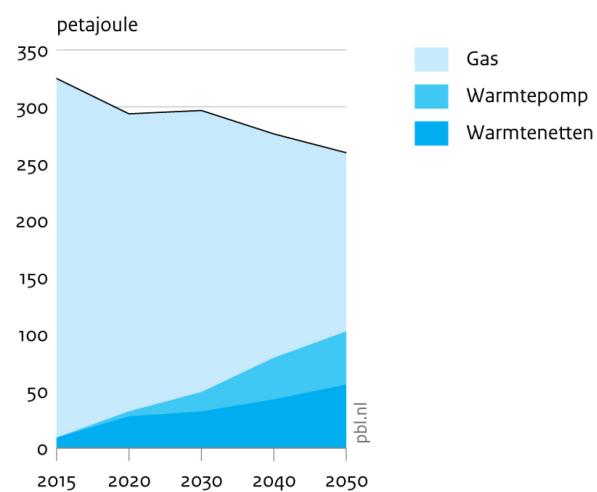
Warmteaanbod woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050

Variant stapsgewijze verhoging van 0,10 euro/m³ in 2020 tot 0,50 euro/m³ in 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

4.2 Overige beleidsinstrumenten (set 2 t/m 8)

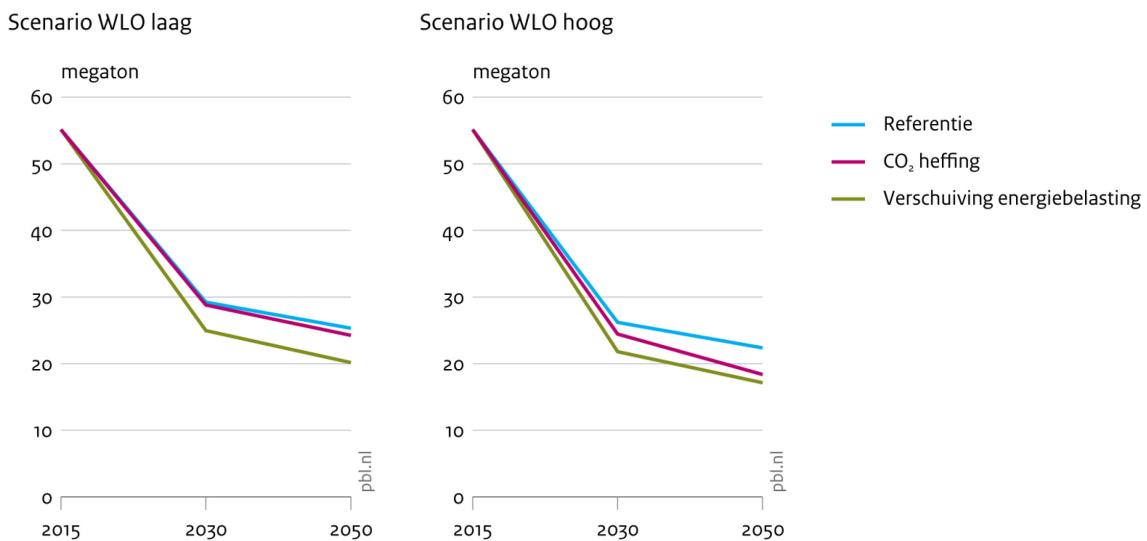
In de vorige paragraaf zijn figuren gepresenteerd die het soort van uitkomsten en type van figuren laten zien. Dat is gedaan voor de set met rekenvarianten van de verhoging van de energiebelasting op aardgas. In deze paragraaf geven we voorbeelden van enkele uitkomsten van de rekenvarianten van de overige beleidsinstrumenten. We beperken ons per beleidsinstrument tot één interessante figuur. Het zijn voorbeelden bedoeld voor de gebruiker van het model om te laten zien hoe resultaten verklaard en geïnterpreteerd kunnen worden.

4.2.1 Verschuiving energiebelasting en CO₂-heffing (set 2)

In deze set wordt de CO₂-emissie van de verschuiving van de energiebelasting en de introductie van een CO₂-heffing op het aardgasgebruik vergeleken met het Referentiepad. De verschuiving en de CO₂-heffing gaan beide volledig in vanaf 2020:

- *De verschuiving van de energiebelasting:* De verschuiving van de energiebelasting -bestaande uit de verlaging op elektriciteit met 0,06 euro/kWh en de gelijktijdige verhoging op aardgas met 0,25 euro/m³ in 2020 - zorgt voor een afname van de CO₂-emissie in zowel scenario WLO Laag als Hoog. Dit wordt veroorzaakt door een toename van de schilisolatie en de vervanging van een aantal aansluitingen op het aardgasnet door vooral elektrische warmtepompen en tevens een uitbreiding van het warmtenet. Behalve deze effecten treedt er een sterke afname op die wordt veroorzaakt door de schonere productie van elektriciteit. Dit is de reden waarom de CO₂-emissie ook in het Referentiepad afneemt. Zie ook de toelichting van de CO₂-emissie in paragraaf 4.1.1;
- *De CO₂-heffing op het aardgasgebruik van de gebouwde omgeving:* Hier is het effect bekend van de introductie van de CO₂-heffing op het aardgasgebruik in de gebouwde omgeving die gelijk is aan de efficiënte CO₂-prijs in het scenario. Het effect van de CO₂-heffing is groter in het scenario WLO Hoog dan in WLO laag. De oorzaak is de hogere CO₂-heffing in het scenario Hoog, zie paragraaf 3.2.

Emissie van CO₂ bij CO₂-heffing op aardgas en verschuiving energiebelasting, 2015 – 2050



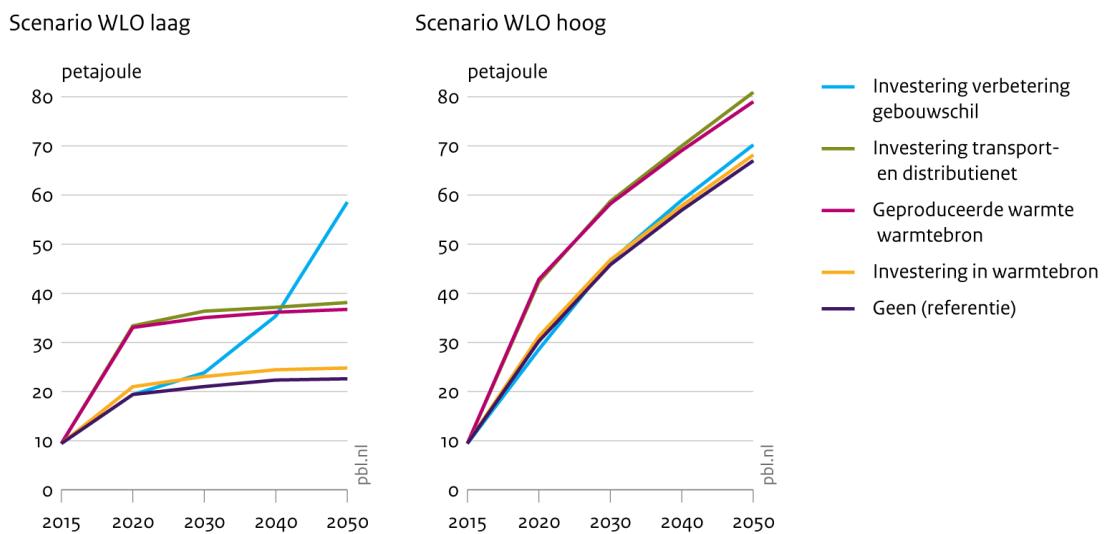
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

4.2.2 Subsidie op investeringen en geproduceerde warmte (set 3)

Deze set beschouwt subsidies aan gebouweigenaren, warmteproducenten en warmtetransporteurs en – distribiteurs. De subsidies worden gegeven voor de investeringskosten van schilverbeteringen, warmtebronnen respectievelijk transport- en distributienetten. Tevens is een variant doorgerekend met een exploitatiesubsidie waarbij een vast subsidiebedrag wordt gegeven voor iedere eenheid warmte die de warmteproducent aan het warmtenet levert, zie paragraaf 3.2. In onderstaande figuur van de warmtelevering door warmtenetten treden de volgende effecten van de rekenvarianten op:

- *Investering verbetering gebouwschil (blauwe lijn):* De subsidie voor de schilverbeteringen veroorzaakt een substantiële toename van de warmtelevering aan woningen door warmtenetten in 2050 in het scenario WLO Laag. Door de subsidie worden veel gebouwen zo energieuwig dat een aansluiting op het collectieve warmte- en koudenet rendabel wordt. De toename wordt dus veroorzaakt door WKO dat onderdeel is van de warmtenetten². In het scenario WLO Hoog is de toename in 2050 vergeleken met de referentie echter gering omdat de levering van warmtenetten al groot is in 2050 in het referentiescenario WLO Hoog. De warmtelevering door WKO vindt vrijwel geheel plaats in de nieuwbouw van woningen in de referentie van WLO Hoog. De extra toename door de subsidie voor de schilverbeteringen vindt vooral plaats bij de bestaande woningen.
- *Investering transport- en warmtenet (groene lijn) en geproduceerde warmte (rode lijn):* De subsidie voor de investeringen in transport- en warmtenetten alsmede de exploitatiesubsidie veroorzaken een substantiële toename van de warmtelevering door warmtenetten in beide WLO scenario's vergeleken met de referentie;
- *Investering warmtebron (gele lijn):* De subsidie voor de investeringen in warmtebronnen leidt tot een relatief kleine toename van de warmtelevering;

Levering van warmtenetten aan woningen bij subsidie, 2015 – 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

² Het relatief grote aandeel van WKO wordt mogelijk veroorzaakt door een gunstige inschatting van de investeringskosten van deze techniek vergeleken met de andere warmtebronnen.

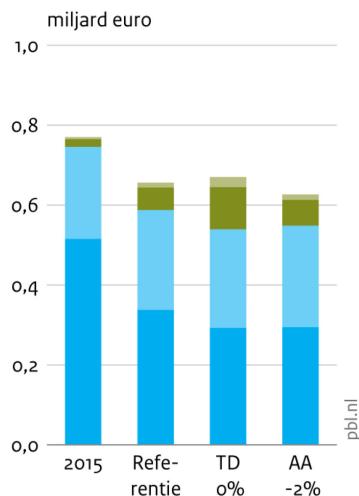
4.2.2 Lagere rendementseis (set 4)

Er zijn twee varianten met een lagere rendementseis doorgerekend. De eerste rekenvariant betreft een lagere rendementseis gesteld aan investeringen in warmtenetten. Dit zou het geval kunnen zijn door deelname van overheden in onder andere de financiering, eigenaarschap en/of garanties om risico's af te dekken. De tweede rekenvariant beschouwt een lagere rendementseis waarbij de rentevoet van alle actoren 2% lager is dan in het Referentiepad. Een lagere rentevoet van alle actoren kan van toepassing zijn als de financiering van investeringen minder onzeker is en de opbrengsten zekerder.

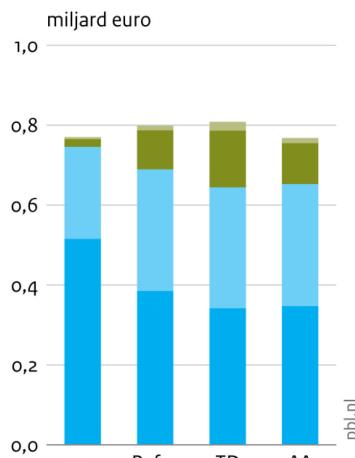
- *Rentevoet transport en distributie (TD 0%)*: In de rekenvariant met de lagere rendementseis van warmtenetten is het aandeel warmtebedrijven in de totale warmte- en elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving groter dan in de referentie bij zowel het scenario WLO Laag als Hoog. Door de lagere rentevoet zijn de warmtenetten eerder rendabel waardoor het aantal aansluitingen toeneemt ten koste van de bestaande gasaansluiting en eventuele overstap naar elektrische warmtepomp.
- *Lagere rentevoet alle actoren (AA -2%)*: Vanwege de lagere rentevoet van gebouweigenaren is energiebesparing door schilverbeteringen rendabeler dan in het Referentiepad. Hierdoor is de warmtevraag minder groot in AA -2% vergeleken met de referentie. Het aandeel van de warmtebedrijven is ongeveer gelijk. Dit is het resultaat van twee tegenovergestelde effecten. Enerzijds is de energiebesparing groter waardoor de warmtevraag minder groot is dan in de referentie. Anderzijds geldt de lagere rentevoet ook voor warmtebedrijven waardoor de business case van warmtenetten positief wordt beïnvloed.

Warmte- en elektriciteitsvraag bij lagere rendementseis, 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



- *Hulpwarmteketel*
- *Warmtebedrijven*
- *Elektriciteit*
- *Gas*

TD 0% = Rentevoet transport- en distributienet 0%

AA -2% = Rentevoet alle actoren -2%

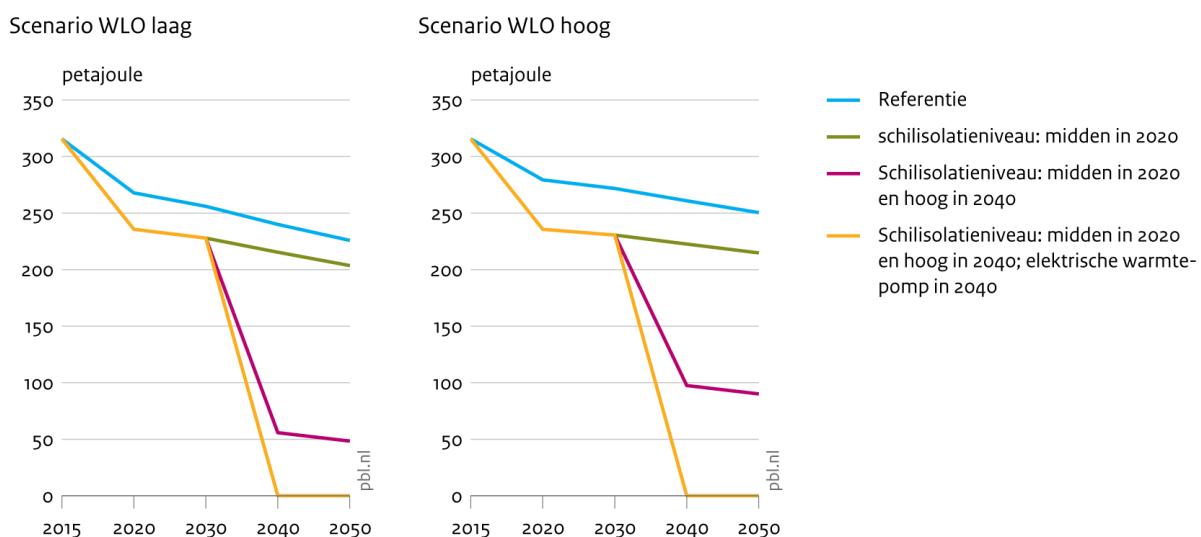
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

4.2.3 Verplichte energieprestatie voor woningen met elektrische warmtepomp (set 5)

In deze rekenvarianten wordt het technisch-economisch potentieel bepaald van schilverbeteringen en de elektrische warmtepomp van woningen. Dit geeft inzicht in het potentieel van een verplichte energieprestatie van woningen.

- *Referentie (blauwe lijn):* in de Referentiepaden is er geen verplichting voor schilverbeteringen. Toch daalt het gasgebruik van bestaande woningen als gevolg van rendabele renovaties en sloop;
- *Schilisolatienniveau: midden 2020 (groene lijn):* alle woningen, die nog geen schillabel B hebben, worden gerenoveerd tot energieschillabel B in 2020. Door de energiebesparing daalt het gasgebruik 20 tot 30 PJ vergeleken met de Referentiepaden in de WLO scenario's.
- *Schilisolatienniveau: midden in 2020 en hoog in 2040 (rode lijn):* vervolgens worden alle woningen, die nog geen schillabel Aplus hebben, gerenoveerd tot schillabel Aplus. Het is mogelijk dat daardoor ook de vervanging van de gasketel door een elektrische warmtepomp of een WKO aansluiting rendabel is. Dit levert een extra energiebesparing waardoor het gasgebruik wordt verminderd met 150 tot 170 PJ in 2050 vergeleken met de referentie. De extra besparing op het gasgebruik is het grootst in scenario WLO Laag vanwege de hoge aardgasprijs.
- *Schilisolatienniveau: midden in 2020 en hoog in 2040; met elektrische warmtepomp in 2040 (gele lijn):* behalve de schilverbeteringen tot Aplus (zie het vorige punt) krijgen alle woningen een elektrische warmtepomp in 2040 waardoor het gasgebruik daalt tot nul.

Gasverbruik woningen bij schilisolatie en elektrische warmtepomp, 2015 – 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

4.2.4 Verplichte energieprestatie voor woningen en hybride warmtepomp (set 6)

In paragraaf 4.2.4 is het technisch-economisch potentieel bepaald van schilverbeteringen en de elektrische warmtepomp van woningen. In deze paragraaf worden enkele varianten met de hybride warmtepomp toegevoegd.

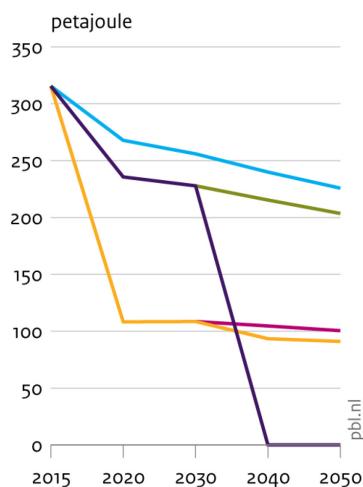
- *Referentie (blauwe lijn):* de Referentiepaden zijn hetzelfde als in paragraaf 4.2.4. Er is geen verplichting voor schilverbeteringen en het gasgebruik van bestaande woningen daalt als gevolg van rendabele renovaties en sloop;
- *Schilisolatienniveau: midden 2020 (groene lijn):* ook deze variant is hetzelfde als in paragraaf 4.2.2. Alle woningen, die nog geen schillabel B hebben, worden gerenoveerd tot energieschillabel B in 2020. Door de energiebesparing daalt het gasgebruik 20 tot 30 PJ vergeleken met de Referentiepaden in de WLO scenario's.
- *Schilisolatienniveau: midden 2020 en hybride warmtepomp in 2020 (rode lijn):* Behalve de renovatie van woningen naar schillabel B (groene lijn) worden ook nog alle gasketels vervangen door een hybride warmtepomp in 2020. Het gasverbruik daalt spectaculair van ruim 300 PJ in 2015 tot ruim 100 PJ in 2020. Daarna worden geen extra verplichtingen opgelegd waardoor het gasgebruik ongeveer op hetzelfde niveau blijft tot 2050.
- *Schilisolatienniveau: midden 2020, hoog in 2040 en hybride warmtepomp in 2020 (gele lijn):* bovenop de maatregelen in de vorige variant (rode lijn) vinden verplichte renovaties plaats naar schillabel Aplus in de periode van 2020 tot 2040. Dit levert weinig extra gasbesparing (vergelijk de gele met de rode lijn). De redenen zijn: 1. de hybride warmtepomp gebruikt al relatief weinig gas bij de renovatie in 2020 en dus valt er relatief weinig te besparen bij verdergaande renovatie; en 2. in de variant zonder de verplichting naar schillabel Aplus (rode lijn) hebben mogelijk ook enkele renovaties plaatsgevonden naar schillabel Aplus omdat ze rendabel zijn door de hogere gasprijs in 2040 en 2050.

Bij deze variant (gele lijn) maken we de volgende kanttekening. Er is enkel en alleen naar het effect van de hybride warmtepomp gekeken zonder rekening te houden met eventuele rendabele alternatieven die zich kunnen voordoen in de loop der tijd. Zo zijn in het model geen elektrische warmtepompen en aansluitingen op WKO ingezet. Ook niet als ze rendabel zouden zijn. In werkelijkheid is het goed mogelijk dat hybride warmtepompen een tijdelijke techniek zijn die in 2020 rendabel is maar waar na verloop van tijd voordeliger alternatieven voor zijn. Aan het einde van hun levensduur zouden ze dan vervangen kunnen worden door een elektrische warmtepomp, een aansluiting op WKO of ander warmtenet. Dat is in deze variant echter niet verondersteld, ook niet als dat rendabeler zou zijn.

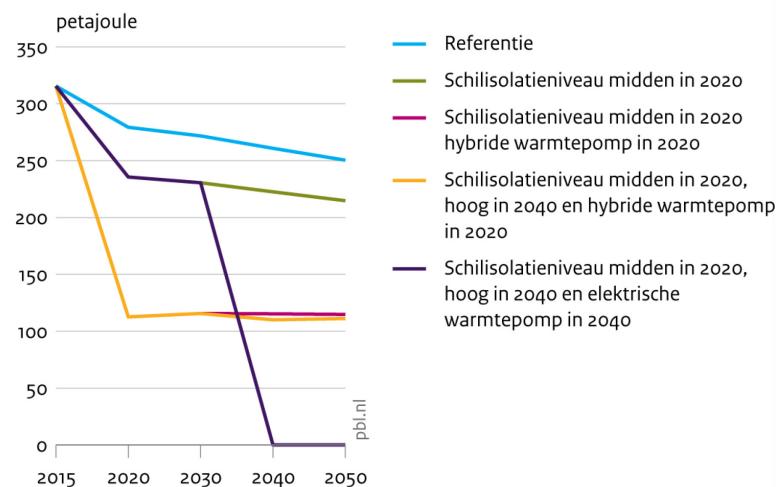
- *Schilisolatienniveau: midden in 2020, hoog in 2040 en elektrische warmtepomp in 2040 (paarse lijn):* deze variant is hetzelfde als de gele lijn in paragraaf 4.2.4. Renovaties vinden plaats tot schillabel B in 2020 en schillabel Aplus in 2040. Daarnaast worden alle gasketels vervangen door elektrische warmtepompen in 2040 waardoor het gasgebruik daalt tot nul.

Gasverbruik woningen bij schilisolatie en warmtepomp, 2015 – 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

4.2.5 Vaste warmteprijs (set 7)

Om het maximale potentieel van de warmtenetten te bepalen is een variant met een extreem hoge warmteprijs doorgerekend. De energiegebruikers betalen voor de warmte geleverd door het warmtenet een vaste prijs die overeenkomt met een gasprijs van 2 euro per m³ vanaf 2020. Er zijn geen energiebesparingen verondersteld anders dan de rendabele renovaties in het Referentiepad. Het potentieel van warmtelevering aan woningen is dan circa 220 PJ dat wil zeggen dat ongeveer twee derde van de warmtevraag van woningen wordt voorzien door het warmtenet en één derde door aardgas.

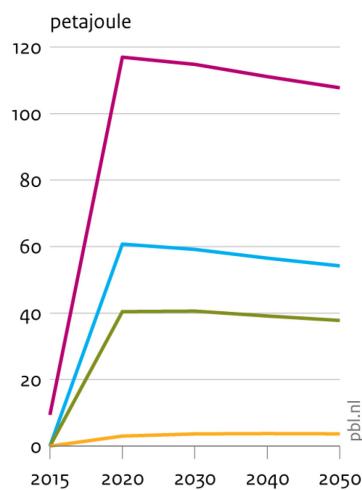
In onderstaande figuur staat de bijdrage per warmtebron:

- *Restwarmte (rode lijn):* restwarmte heeft het grootste aandeel omdat restwarmte de hoogste prioriteit bij de keuze tussen warmtebronnen heeft in deze variant. Deze prioriteitsvolgorde is anders dan in de meeste andere varianten waarbij geothermie de hoogste prioriteit heeft en restwarmte de tweede keus is. Vrijwel alle beschikbare restwarmte wordt benut. Een groot deel hiervan bestaat uit aftapwarmte van elektriciteitscentrales. Er is geen rekening gehouden met de uitfasering van fossiel gebruik zoals de sluiting van kolencentrales in 2030 voorgenomen in het regeerakkoord Rutte III.
- *Geothermie (groene lijn):* omdat restwarmte de hoogste prioriteit heeft komt geothermie alleen in aanmerking op plaatsen waar de restwarmtebron is uitgeput of te ver weg ligt om nog rendabel naartoe te transporteren. Maar ook geothermie is niet overal mogelijk waardoor het potentieel begrensd is.
- *Bio WKK (blauwe lijn):* Op plaatsen waar zowel restwarmte als geothermie uitgeput en/of te duur zijn om naar toe te transporteren kan een warmtenet gevoed door een Bio WKK een alternatief zijn. De Bio WKK installatie kan in de meeste gevallen vlakbij een wijk of buurt worden geplaatst. Er is verondersteld dat er voldoende biomassa als brandstof is en deze eenvoudig kan worden aangeleverd. In hoeverre dit overeenkomt met de werkelijkheid en inzichten voor de toekomst valt buiten de scope van dit rapport. Het potentieel van warmtelevering zoals berekent onder de genoemde aannames is ongeveer 60 PJ.
- *WKO (gele lijn):* het potentieel van WKO is beperkt omdat de bestaande woningen niet voldoende zijn geïsoleerd om geschikt te zijn voor de lage temperatuurvoorziening. Daarnaast komt WKO op weinig plaatsen in aanmerking omdat het een lagere prioriteit dan restwarmte en geothermie heeft.

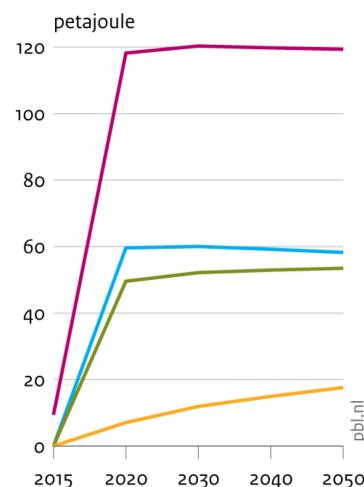
Inzet bronnen voor warmtelevering aan woningen bij wamteprijs van twee euro per m³ vanaf 2020

2015 – 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



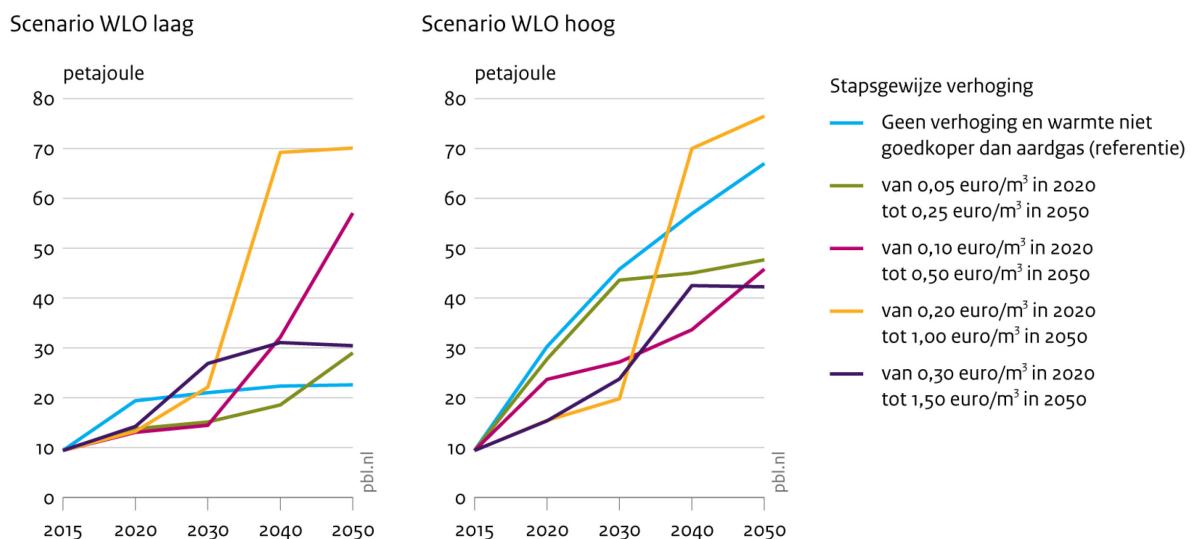
- Bron
- Bio WKK
 - Geothermie
 - Restwarmte
 - WKO

Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

4.2.6 Warmte uit warmtenetten goedkoper dan aardgas (set 8)

Om de aansluiting op een warmtenet voor de gebruiker financieel aantrekkelijker te maken dan het gebruik van aardgas zijn varianten doorgerekend waarbij de warmteprijs 15% lager is dan aardgas. In onderstaande figuur staan de resultaten voor de warmtelevering in de Referentiepaden van de WLO scenario's (*blauwe lijn*) en de vier varianten met de verhoging van de energiebelasting op aardgas (*gekleurde lijnen*) uit paragraaf 4.1. Het effect van de lagere warmteprijs kan worden afgeleid door onderstaande figuur te vergelijken met de situatie dat het Niet-meer-dan-anders (NMDA) principe is toegepast (zie paragraaf 4.1.3). Hieruit blijkt dat de warmtelevering met de lagere warmteprijs lager is dan die gebaseerd op het NMDA principe. Dit is het gevolg van het feit dat de business case van de warmtebedrijven ongunstiger is bij een lagere warmteprijs. Voor de eindgebruikers is het uiteraard voordeliger waardoor een aansluiting op het warmtenet financieel aantrekkelijker is. Dit kan gunstig zijn voor het imago van het warmtenet maar het effect hiervan wordt niet meegenomen in het model.

Levering van warmtenetten aan woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas en warmte uit warmtenetten goedkoper dan aardgas, 2015 – 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

5 Kosten actoren

In het vorige hoofdstuk werden de resultaten op hoofdlijnen besproken. Daarbij kwamen ook de kosten van het energiegebruik aan bod. In dit hoofdstuk gaan we verder in op deze kosten, met name op de verdeling over verschillende actoren en op de samenstelling van de kosten.

Dit doen we aan de hand van de set met rekenvarianten van de verhogingen van de energiebelasting op aardgas. De overige sets met beleidsvarianten laten we hier buiten beschouwing. In de bijlage 'Specifieke kosten actoren' worden sommige onderdelen in nog meer detail gepresenteerd. In de figuren staan de absolute kosten. De extra kosten van het beleid kan de lezer afleiden door de beleidsvarianten te vergelijken met het Referentiepad.

5.1 Inleiding

Voor de kosten van actoren komen de verschillen tussen de rekenvarianten het meest tot uiting in het zichtjaar 2050. Het zichtjaar 2050 staat daarom centraal in deze paragraaf. Een uitzondering hierop zijn de kosten en opbrengsten van het gas- en elektriciteitsnet waarvoor de ontwikkeling in de periode van het startjaar (2015) tot 2050 is gegeven. De kosten van actoren zijn gegeven in de volgende deelparagrafen:

Paragraaf 5.2 Kostenposten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in 2050

Deze figuur schetst de verandering van de kostenposten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving. Het laat zien op welke wijze de energiekosten van de eindgebruikers zijn opgebouwd;

Paragraaf 5.3 Kostenposten van de energievoorziening van bestaande woningen in 2050

Deze figuur schetst de kostenposten van de energievoorziening van bestaande woningen die door de woninggebruiker en -eigenaar gezamenlijk worden opgebracht. Eventuele overdrachten tussen gebruiker en eigenaar vallen daarbij tegen elkaar weg;

Paragraaf 5.4 Kosten en opbrengsten van energiegebruikers van bestaande woningen in 2050 (incl. Vergoeding renovatie en huurverlaging)

Deze figuur schetst de kostenposten van alleen de energiegebruikers van bestaande woningen;

Paragraaf 5.5 Kosten en opbrengsten van renovaties van eigenaren van bestaande woningen in 2050

Deze figuur schetst de kosten en opbrengsten van de energie-installaties van eigenaren van bestaande woningen. Hierbij kan gekeken worden of de kosten en opbrengsten in evenwicht zijn;

Paragraaf 5.6 Kosten en opbrengsten van de warmteleveranciers in 2050

Deze figuur schetst de kosten- en opbrengsten van de warmteleveranciers. Hierbij kan gekeken worden of de kosten en opbrengsten in evenwicht zijn;

Paragraaf 5.7 Kosten en opbrengsten van het gasnet in de periode 2015 – 2050, rekenvariant verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0,50 euro/m³

Deze figuur schetst de kosten en opbrengsten van het gasnet in de periode 2015 – 2050. Hierbij wordt zichtbaar of de opbrengsten teruglopen vanwege de vermindering van het gasgebruik terwijl de afschrijvingskosten doorlopen en de verwijderingskosten van lege gasnetten toenemen. Hierdoor zijn de kosten en opbrengsten mogelijk niet in evenwicht en kan worden gekeken hoe groot het gat is dat moet worden gedicht;

Paragraaf 5.8 Kosten en opbrengsten van het elektriciteitsnet in de periode 2015 – 2050, rekenvariant verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0,50 euro/m³

Deze figuur schetst de kosten en opbrengsten van het elektriciteitsnet. Hierbij wordt zichtbaar of de kosten en opbrengsten nog in evenwicht zijn in 2050. Met name door een toename van elektrische warmtepompen kunnen de extra kosten van netverzwareing het evenwicht in onbalans brengen bij voortzetting van de huidige tarieven;

Paragraaf 5.9 Opbrengsten van de overheid in 2050

Deze figuur schetst de opbrengsten van de overheid in 2050. Deze kunnen toenemen bij een verhoging van de energiebelasting maar ook afnemen bij een stringent klimaat- en energiebeleid.

5.2 Kostenposten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in 2050

De figuur van deze paragraaf schetst de verandering van de kosten van de eindgebruikers indien de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd. Als eindgebruikers zijn woningen, utiliteit en glastuinbouw beschouwd. In de figuur staan de kosten van de eindgebruikers die door de verschillende actoren worden veroorzaakt. Als kostenposten worden onderscheiden:

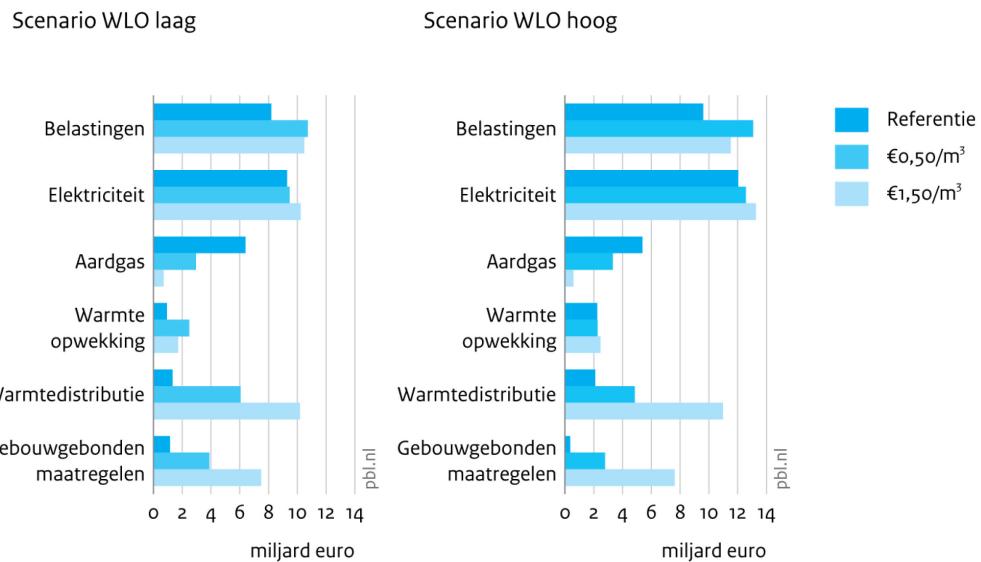
- *Belastingen*: De betalingen aan de overheid ten gevolge van het energiegebruik van de eindgebruikers. Ze bestaan uit BTW, energieheffing (dit is het totaal van de energiebelasting en de opslag duurzame energie) van de eindgebruikers, elektriciteit-, gas- en warmtebedrijven; precario van warmtenetten en CO₂-heffing op elektriciteit en aardgas maar exclusief subsidie;
- *Elektriciteit en aardgas*: De kosten van elektriciteit en aardgas betreffen zowel de levering van de energie als de infrastructuur die hiervoor nodig is. Ze zijn exclusief de kosten die direct en indirect naar de overheid gaan en exclusief subsidie;
- *Warmte-opwekking en warmtedistributie*: De kosten van warmtelevering opgesplitst in de warmte-opwekking aan de bron en de warmtedistributie inclusief transport en bijstook van aardgas in hulpketels. Omdat het warmtarief is gebaseerd op het NMDA principe worden er forse winsten gemaakt op de warmtelevering. Deze zijn toegerekend in de grafiek aan de warmtedistributie.
- *Gebouwgebonden maatregelen*: Tenslotte worden de kosten van de eindgebruikers in beeld gebracht voor de gebouwgebonden maatregelen zoals energiebesparing via isolatie en installaties zoals elektrische warmtepompen, zonneboiler en zonnecellen.

Resultaten kosten

- *Algemeen*: In het vorige hoofdstuk was al zichtbaar dat de kosten van eindgebruikers (inclusief de gebouweigenaren) toenemen naarmate de verhoging van de energiebelasting van aardgas groter is. In de eerste figuur van deze paragraaf zien we dat de kosten van eindgebruikers voor een groot deel verschuiven van aardgas naar investeringen in gebouwmaatregelen en de warmtelevering door warmtenetten;
- *Referentiepaden*: In het Referentiepad van WLO Laag zijn de kosten van gebouwgebonden maatregelen in 2050 hoger dan in WLO Hoog omdat de aardgasprijs sterker is gestegen in WLO Laag. In WLO hoog zijn de kosten van warmtenetten hoger dan in WLO Laag omdat er minder energie wordt bespaard waardoor meer warmtenetten rendabel zijn en omdat er meer nieuwbouw is waar WKO wordt toegepast;
- *Belastingen*: De betalingen aan de overheid nemen toe bij de verhoging van de energiebelasting met 0,50 euro/m³ in 2050. Indien de verhoging stijgt naar 1,50 euro/m³, nemen de kosten van belastingen aan de overheid echter af omdat er dan bijna geen aardgas meer wordt afgenoemd. Door de gebouwmaatregelen neemt de energievraag af en de warmte- en koudelevering van collectieve netten is vrijgesteld van energiebelasting. Door de grote toename van investeringen in de gebouw- en gebiedsmaatregelen nemen de kosten van BTW echter wel toe;
- *Elektriciteit*: De kosten van eindgebruikers (exclusief WKO) aan elektriciteit stijgen door een toename van de elektrische warmtepomp indien de energiebelasting op aardgas hoger wordt;

- *Aardgas*: De kosten van aardgas verschuiven in meerdere mate naar de gebouwgebonden maatregelen en warmtenetten naarmate de verhoging van de energiebelasting op aardgas groter is;
- *Warmte-opwekking en warmtedistributie*: Naarmate de energiebelasting op aardgas hoger is, nemen de kosten van warmtedistributie meer toe dan de warmteopwekking. Dit komt door de extra grote toename van WKO waarbij alle investeringen onderdeel zijn van de warmtedistributie.

Kostenposten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving bij verhoging van de energiebelasting op aardgas, 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

5.3 Kostenposten van de energievoorziening van bestaande woningen in 2050

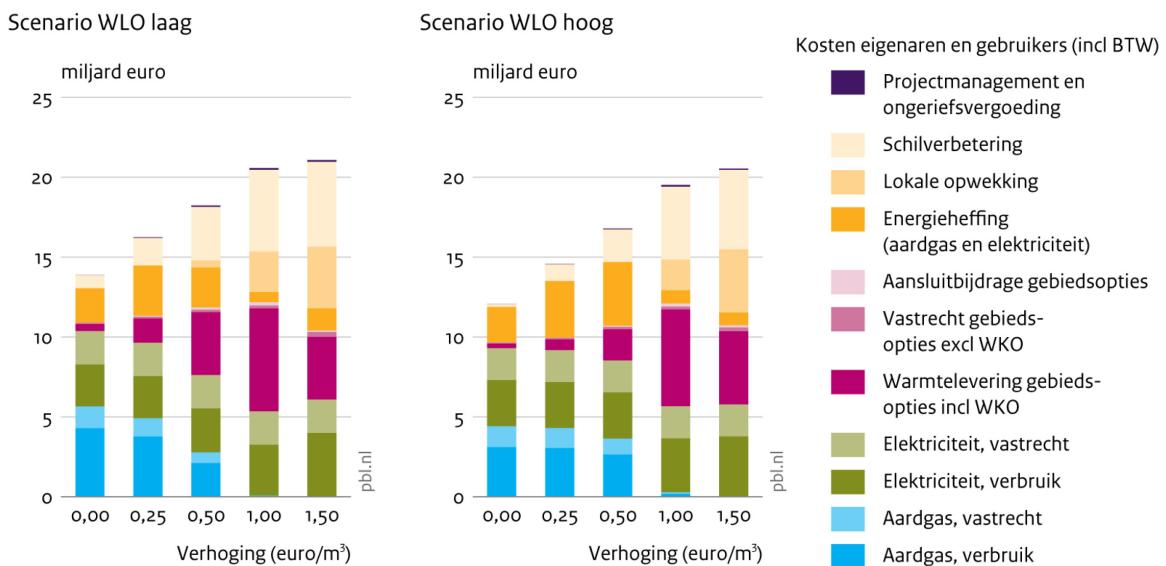
De figuur in deze paragraaf schetst de kostenposten van de energievoorziening van bestaande woningen in 2050. Eventuele overdrachten tussen gebruiker en eigenaar vallen daarbij tegen elkaar weg.

Resultaten kosten

Naarmate de verhoging van de energiebelasting groter is:

- Zijn de totale kosten van bestaande woningen hoger. Daar staat tegenover dat de CO₂-uitstoot door verwarmen daalt;
- Het sterkst nemen de kosten van warmtelevering door gebiedsopties toe, gevolgd door de gebouwgebonden maatregelen;
- De kosten aan aardgas (vastrecht en gebruik) dalen en verdwijnen bij de grootste verhoging van de energiebelasting op aardgas;
- De kosten van de energieheffing (energiebelasting op aardgas en elektriciteit; en opslag duurzame energie) stijgen bij een verhoging tot 0,50 euro /m³ van de energiebelasting op aardgas waarna ze sterk dalen bij een verdere verhoging.

Energiekosten bestaande woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

5.4 Kosten en opbrengsten van energiegebruikers van bestaande woningen in 2050 (incl. Vergoeding renovatie en huurverlaging)

In de vorige paragraaf keken we naar de totale kosten van de bestaande woningen in 2050. Er werd nog geen rekening gehouden met de split incentive tussen gebruikers en eigenaren bij gebouwmaatregelen (zie paragraaf 2.4.1 en 3.2). De figuur in deze paragraaf schetst de kosten en opbrengsten van alleen de *energiegebruikers* en de volgende paragraaf die van eigenaren.

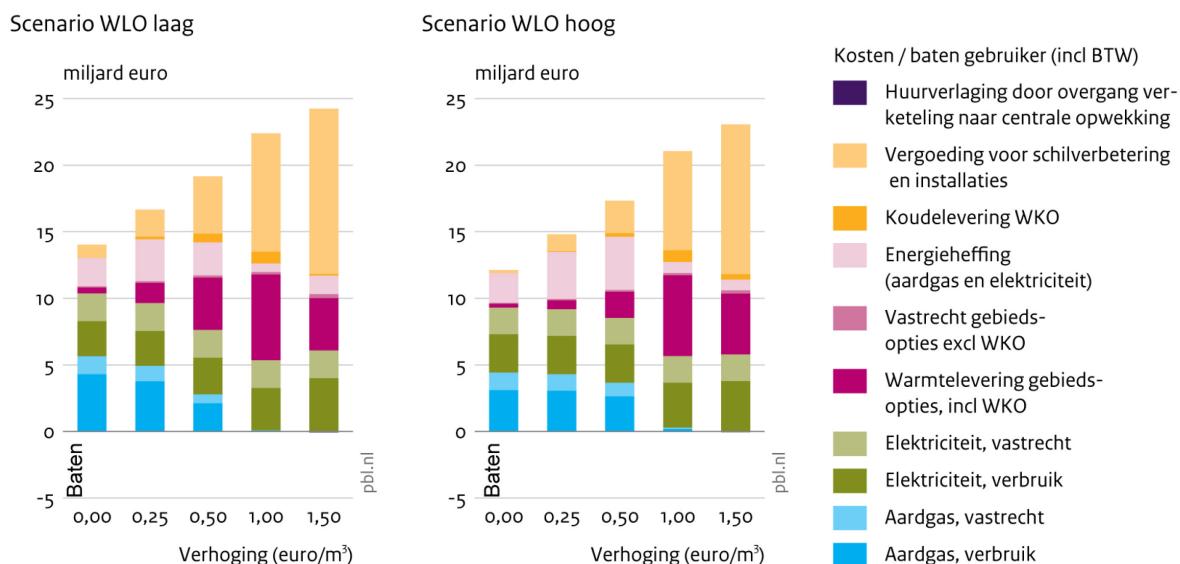
Resultaten kosten en opbrengsten

In de figuur staan kosten boven en baten onder de x-as. Baten zijn echter niet duidelijk zichtbaar.

Naarmate de verhoging van de energiebelasting groter is:

- Zijn de totale kosten van de energiegebruiker van bestaande woningen hoger;
- Het sterkst nemen de kosten van warmtelevering van gebiedsopties toe, gevolgd door de gebouwgebonden maatregelen;
- De kosten van aardgas (vastrecht en gebruik) dalen en verdwijnen bij de grootste verhoging van de energiebelasting op aardgas;
- De kosten van de energieheffing (energiebelasting op aardgas en elektriciteit; en opslag duurzame energie) stijgen bij een verhoging tot 0,5 euro /m³ van de energiebelasting op aardgas waarna ze sterk dalen bij een verdere verhoging;
- De energiegebruiker betaalt een vergoeding aan de eigenaar voor de verbeteringen van de schil en installaties (licht gele vlak). De vergoeding neemt toe naarmate de energiebelasting op aardgas hoger is. De vergoeding wordt toegelicht in de volgende paragraaf;
- De huurverlaging beschouwen we als een opbrengst of baat maar is zo klein dat deze niet zichtbaar is in de figuur. De verklaring hiervoor wordt gegeven in de volgende paragraaf. Het is echter de enige baat die is opgenomen in de figuur waardoor er geen negatieve staafdiagram zichtbaar is;
- Bij renovatie van bestaande woningen die een WKO aansluiting krijgen, wordt de levering van koude als comfortverbetering meegenomen en als zodanig financieel gewaardeerd in de rentabiliteitsafweging. Zie hiervoor paragraaf 2.5. Deze immateriële baat is niet meegezogen in de figuur.

Kosten en baten gebruiker bestaande woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

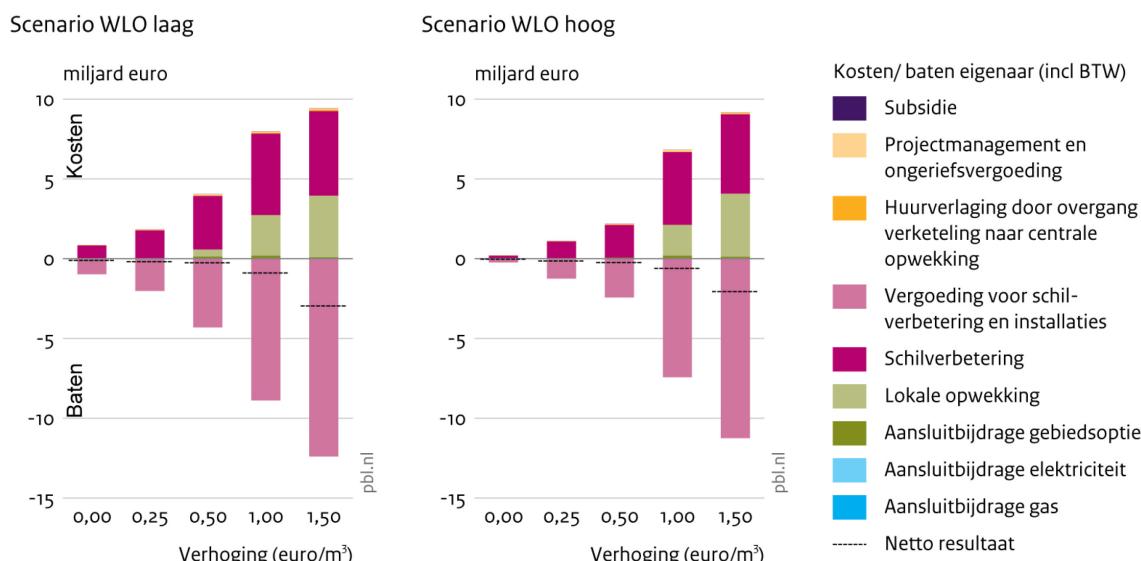
5.5 Kosten en opbrengsten voor eigenaren van renovaties van bestaande woningen in 2050

In de vorige paragraaf is ingegaan op de energiegebruikers. De figuur in deze paragraaf schetst de kosten en opbrengsten voor *eigenaren* van renovaties (schilverbeteringen en energie-installaties) van de bestaande woningen. Hierbij kan gekeken worden of de kosten en baten in evenwicht zijn.

Resultaat kosten en opbrengsten

- *Vergoeding voor schilverbetering en gebouwininstallaties*
Naarmate de verhoging van de energiebelasting groter is, zijn de opbrengsten van de wooningeigenaar hoger dan de kosten. Het netto resultaat dat zichtbaar is in de figuur is dan gunstiger. Dit wordt veroorzaakt door de vergoeding voor schilverbetering en gebouwininstallaties (zie paragraaf 2.4.1 en 3.2). Die vergoeding is namelijk hoger bij hogere energieprijzen. Hogere energieprijzen hebben twee effecten. In de eerste plaats kan de eigenaar meer maatregelen nemen omdat hij een hogere vergoeding kan krijgen. In de figuur worden daarom de staafdiagrammen van de kosten en de baten groter. In de tweede plaats neemt de vergoeding toe van maatregelen die al bij lage energieprijzen rendabel zijn. De vergoeding wordt dan (veel) groter dan de kosten van de maatregel. In de figuur zien we daarom een steeds gunstiger resultaat (stippellijn) bij een grotere stijging van de energiebelasting op aardgas;
- *Huurverlaging door overgang van individuele ketels naar centrale warmte-opwekking*
Bij de overgang van individuele ketels naar een collectief verwarmingssysteem daalt de maximale huur die een verhuurder mag vragen. In veel gevallen wordt de maximale huur al niet gevraagd en zal er geen huurverlaging plaatsvinden. In dit voorbeeld is een jaarlijkse huurverlaging van 75 euro toegepast per bestaande woning die overgaat op een collectief warmtenet. Voor WKO en meergezinswoningen is geen huurverlaging toegepast. In onderstaande figuur is de huurverlaging moeilijk te zien omdat het niet tot een substantieel bedrag leidt voor alle bewoners gezamenlijk. De reden is dat WKO en meergezinswoningen de grootste aandelen hebben in het aanbod van respectievelijk de vraag naar warmte.

Kosten en baten eigenaren bestaande woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

5.6 Kosten en opbrengsten van de warmteleveranciers in 2050

De figuur in deze paragraaf schetst de kosten- en opbrengsten van de warmteleverancier in 2050. Hierbij kan gekeken worden of de kosten en opbrengsten in evenwicht zijn.

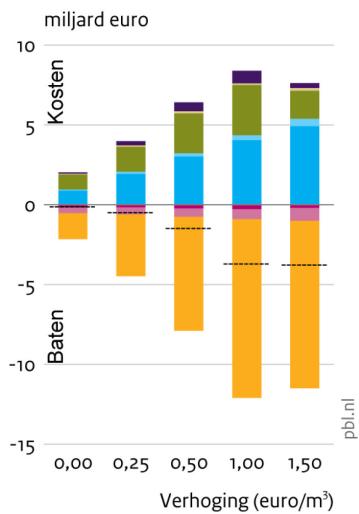
Resultaten kosten en opbrengsten

Naarmate de verhoging van de energiebelasting groter is:

- Nemen de kosten en opbrengsten van de warmteleverancier toe;
- Worden de opbrengsten hoger dan de kosten.

Kosten en baten warmteleveranciers bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



Kosten/ baten	
Inpandige distributie	
Woningeigenaar	
Warmtelevering warmtebronnen	
Vastrecht warmtebronnen	
Aansluitbijdrage warmtebronnen	
Administratiekosten leverancier	
Warmtebronnen	
Primair transport	
Wijkdistributie	
Netto resultaat	

Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

5.7 Kosten en opbrengsten van de gasleveranciers in de periode 2015 – 2050, rekenvariant verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0,50 euro/m³

De figuur in deze paragraaf schetst de kosten en opbrengsten van de gasleverancier in de periode 2015 – 2050. Hierbij wordt zichtbaar dat de opbrengsten teruglopen vanwege de vermindering van het gasgebruik terwijl de afschrijvingskosten doorlopen en de verwijderingskosten van ongebruikte gasnetten toenemen. Hierdoor zijn de kosten en opbrengsten mogelijk niet in evenwicht.

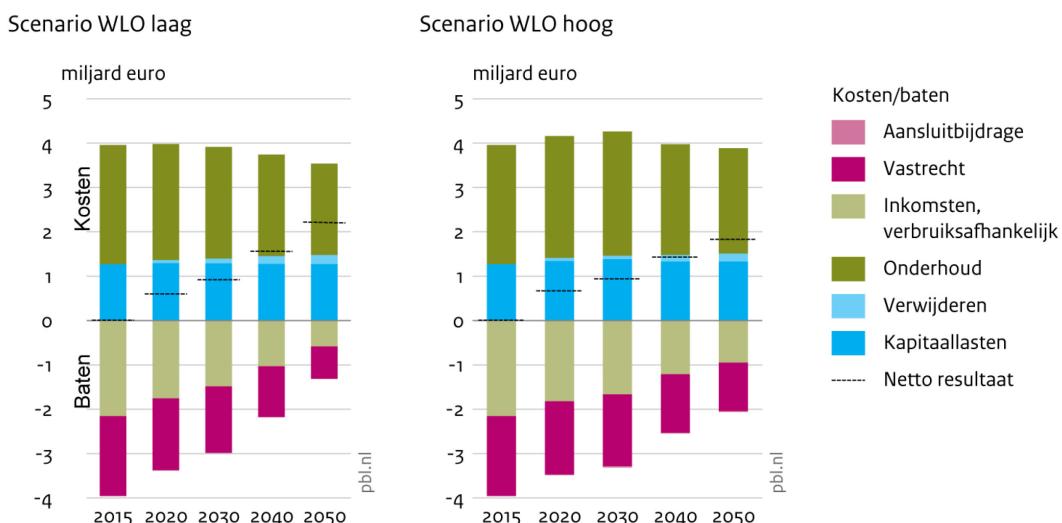
Resultaten kosten en opbrengsten

Naarmate het zichtjaar later is:

- Zijn de opbrengsten geringer dan de kosten;
- Nemen de opbrengsten sterk af door de energiebesparing op de warmtevraag en de overgang van stoken op gas naar warmtelevering door warmtenetten en de elektrische warmtepomp. Niet alleen de gasafzet vermindert maar ook de opbrengsten uit vastrecht;
- Nemen de kosten van het gasnet licht toe tot 2020 in WLO Laag en tot 2030 in WLO Hoog om daarna licht te dalen tot 2050. De stijging wordt veroorzaakt door de volumegroei van het aantal woningen en utiliteitengebouwen. De daling wordt veroorzaakt door lagere onderhoudskosten omdat minder gasnetten worden gebruikt. Gasnetten die niet meer worden gebruikt moeten worden verwijderd. De toename van de verwijderingskosten doen de daling van de onderhoudskosten voor een deel teniet.

Kosten en baten gasleveranciers bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050

Variant stapsgewijze verhoging van 0,10 euro/m³ in 2020 tot 0,50 euro/m³ in 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

5.8 Kosten en opbrengsten van de elektriciteitsleveranciers in de periode 2015 – 2050, rekenvariant verhoging van de energiebelasting op aardgas van 0,50 euro/m³

Deze figuur schetst de kosten en opbrengsten van de elektriciteitsleverancier in de periode 2015 - 2050. Hierbij wordt zichtbaar of de opbrengsten van extra aansluitingen door de nieuwbouw van gebouwen voldoende toenemen om de extra kosten van netverzwaarding die nodig is voor de elektrische warmtepomp te compenseren.

Resultaten kosten en opbrengsten

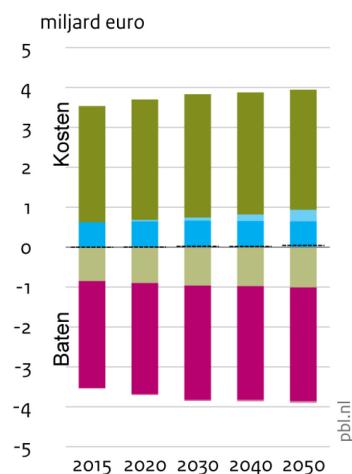
Naarmate het zichtjaar later is:

- Blijven de kosten en opbrengsten vrijwel aan elkaar gelijk in WLO Laag en worden de opbrengsten iets hoger dan de kosten in WLO Hoog;
- De kosten en opbrengsten stijgen in WLO Hoog meer dan in WLO Laag als gevolg van de grotere volumegroei van het aantal woningen en utiliteitsgebouwen;
- Is de toename van het aantal elektrische warmtepompen groter waardoor het elektriciteitsnet op meer plekken moet worden verzwaard. Dit betekent een extra kostenpost die in de loop der jaren toeneemt.

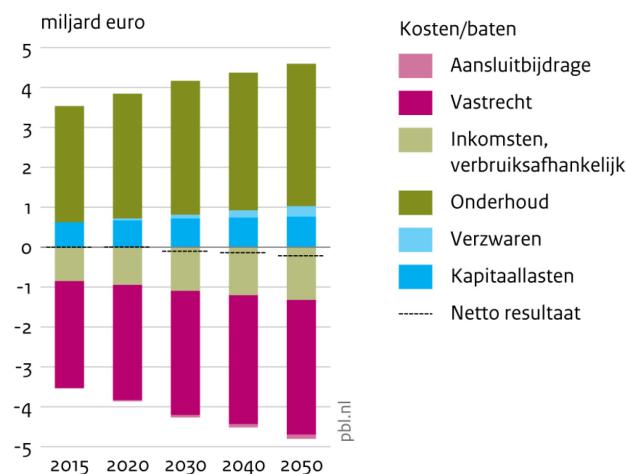
NB Er is geen rekening gehouden met de toename van zon-PV.

Kosten en baten elektriciteitsleveranciers bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050 Variant stapsgewijze verhoging van 0,10 euro/m³ in 2020 tot 0,50 euro/m³ in 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

5.9 Opbrengsten van de overheid in 2050

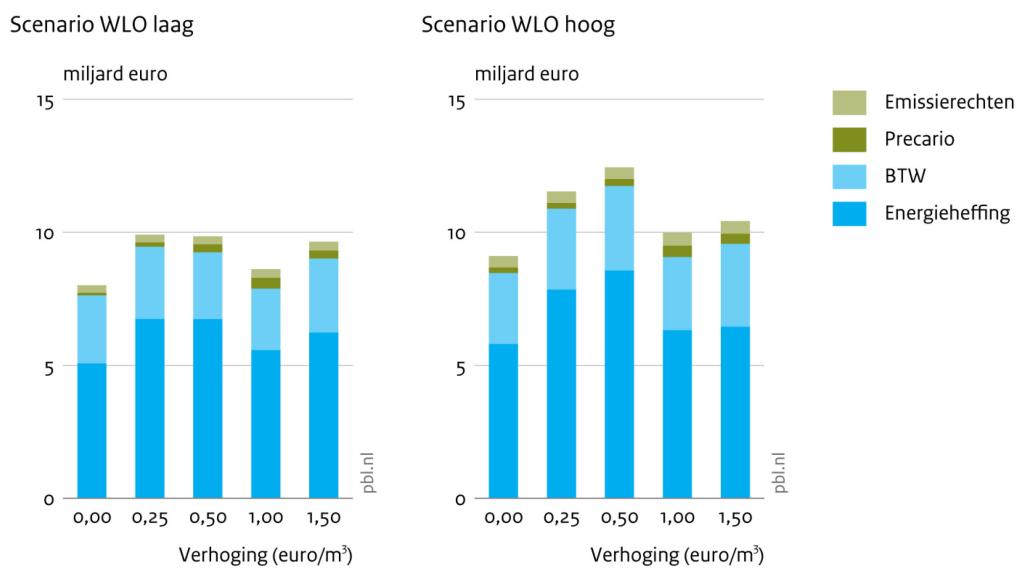
De figuur in deze paragraaf schetst de opbrengsten van de overheid.

Resultaten opbrengsten

Naarmate de verhoging van de energiebelasting groter is:

- Nemen de opbrengsten van de overheid toe tot een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,50 euro/m³. Bij een grotere verhoging worden de opbrengsten lager maar wel substantieel hoger dan zonder verhoging (Referentiepad);
- De toename van de opbrengsten wordt in sterke mate veroorzaakt door de energieheffing en in geringe mate door precario.

Opbrengsten overheid bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

In de bijlage zijn figuren opgenomen met de ontwikkeling van de verschillende posten die bijdragen aan de opbrengsten van energieheffing en BTW.

6 Schilverbeteringen bestaande woningen

In dit hoofdstuk laten we zien hoe de schil van woningen zich kan ontwikkelen. De schilverbeteringen hebben in deze notitie betrekking op de energieprestatie van het gebouw en worden uitgedrukt in het energieschillabel. Deze kan verbeteren door isolatie van vloer, gevel en dak en beter isolerend glas in ramen.

Als voorbeeld is de ontwikkeling gegeven van het energieschillabel (schilverbetering) van bestaande woningen in de periode van het startjaar (2015) tot 2050 in de Referentiepaden van de scenario's WLO Laag en WLO Hoog en de rekenvarianten met verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,50 euro/m³ en 1,50 euro/m³.

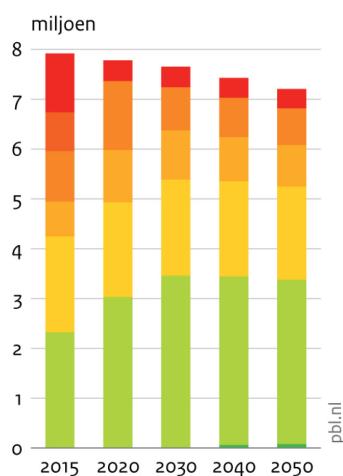
Resultaten schilverbeteringen:

- Het aantal bestaande woningen neemt af vanwege sloop, die in WLO Hoog hoger is dan in WLO Laag;
- Het aantal schilverbeteringen is hoger in het Referentiepad met hogere gasprijzen; dat is WLO Laag ;
- Het overgrote deel van de woningen heeft minimaal energieschillabel C in zowel WLO Laag als WLO Hoog bij een verhoging van de energiebelasting met 0,50 euro/m³ in 2050. In WLO Laag zijn de energieschilverbeteringen beter dan in WLO Hoog vanwege de hogere aardgasprijs;
- Alle woningen hebben energieschillabel A+ in zowel WLO Laag als in WLO Hoog bij de verhoging van de energiebelasting met 1,50 euro/m³ in 2050. Een deel heeft daarbij een elektrische warmtepomp.

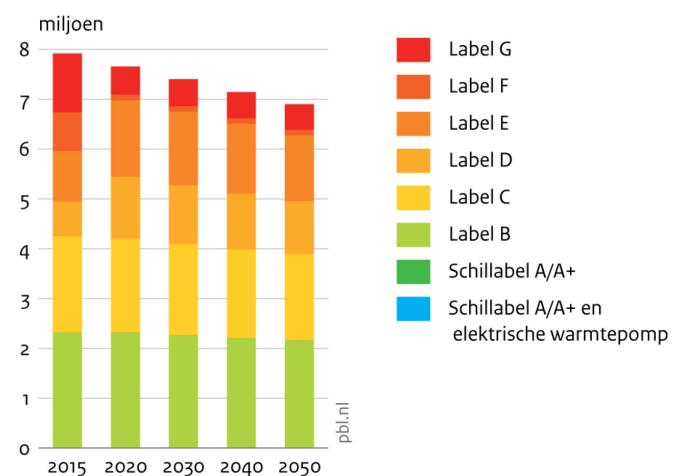
Energieschillabels bestaande woningen, 2015 – 2050

Referentiepad

Scenario WLO laag



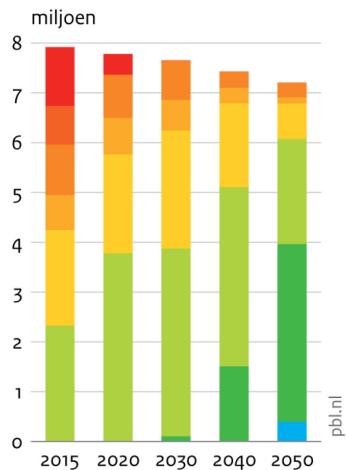
Scenario WLO hoog



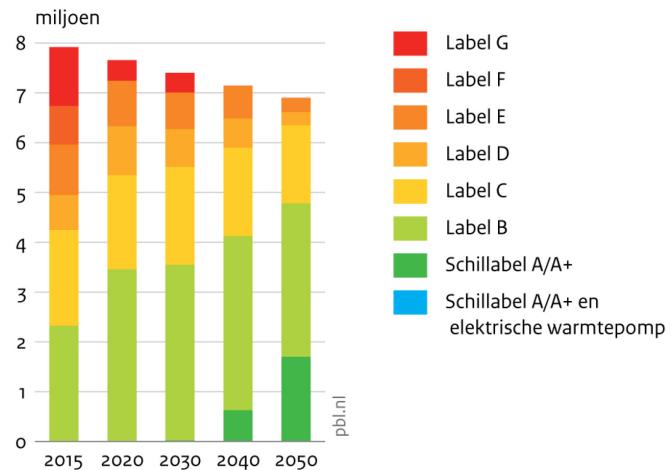
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

Energieschillabels bestaande woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050
Variant stapsgewijze verhoging van 0,10 euro/m³ in 2020 naar 0,50 euro/m³ in 2050

Scenario WLO laag



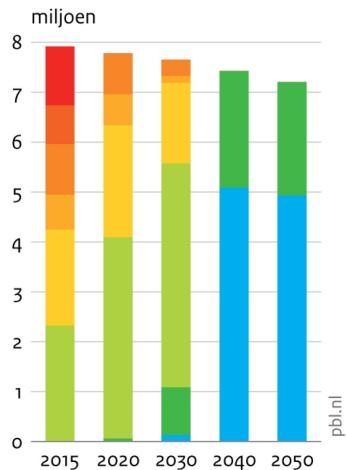
Scenario WLO hoog



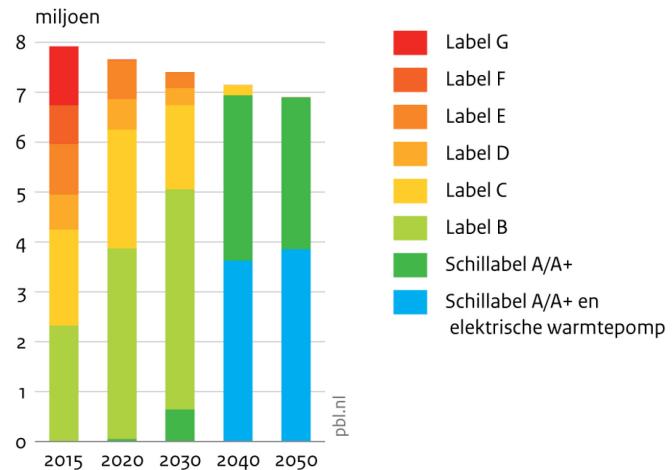
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

Energieschillabels bestaande woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050
Variant stapsgewijze verhoging van 0,30 euro/m³ in 2020 naar 1,50 euro/m³ in 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

7 Aansluitingen warmtevoorziening bestaande woningen

Dit hoofdstuk laat zien hoe het aanbod van de warmtevoorziening zich ontwikkelt van het startjaar (2015) tot 2050. De volgende figuren geven het aantal woningen met een warmtepomp of een aansluiting op het aardgasnet, WKO-net en ander warmtenet. Hierbij is te zien hoe de aansluitingen op het aardgasnet worden vervangen door warmtepompen, WKO en andere warmtenetten. Dit is gedaan voor de Referentiepaden van de scenario's WLO Laag en WLO Hoog en de rekenvarianten met verhoging van de energiebelasting op aardgas met 0,50 euro/m³ en 1,50 euro/m³.

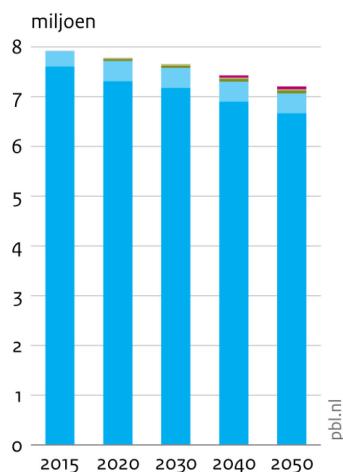
Resultaten aansluitingen:

- Het aantal bestaande woningen neemt af vanwege de sloop die in WLO Hoog hoger is dan in WLO Laag;
- Er is een beperkte toename van het aantal aansluitingen op warmtenetten en WKO in het Referentiepad van zowel WLO Laag als WLO Hoog omdat gas in beide scenario's duurder wordt;
- Het aantal gasaansluitingen neemt af van 7,8 miljoen in het startjaar (2015) tot ongeveer 4,5 miljoen in WLO Laag en 5 miljoen in WLO Hoog bij een verhoging van 0,50 euro/m³ in 2050. De grotere afname van het aantal gasaansluitingen in WLO Laag wordt veroorzaakt door een toename van aansluitingen op warmtenetten en WKO door de stijging van de aardgasprijs;
- Vrijwel geen van de woningen heeft nog een gasaansluiting bij de verhoging van de energiebelasting met 1,50 euro/m³ in 2050. De meeste woningen hebben WKO en de overige hebben een elektrische warmtepomp of een aansluiting op een warmtenet met geothermie, bio-wkk en restwarmte als warmtebron.

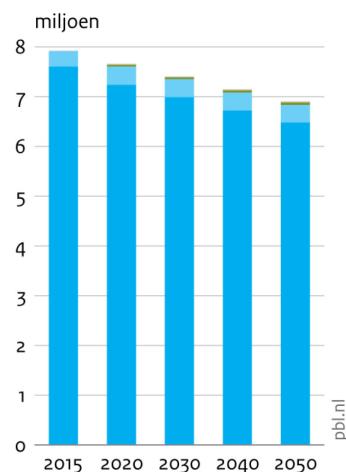
Aantal aansluitingen warmtevoorziening bestaande woningen, 2015 – 2050

Referentiepad

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



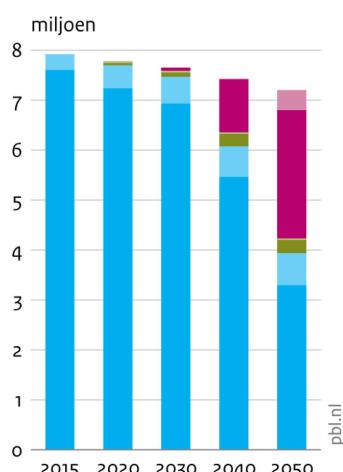
- Warmtepompen
- WKO
- Bio-WKK
- Geothermie
- Restwarmte
- Aardgas

Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

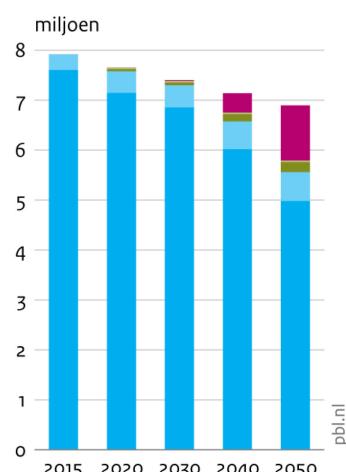
Aantal aansluitingen warmtevoorziening bestaande woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050

Variant stapsgewijze verhoging van 0,10 euro/m³ in 2020 naar 0,50 euro/m³ in 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



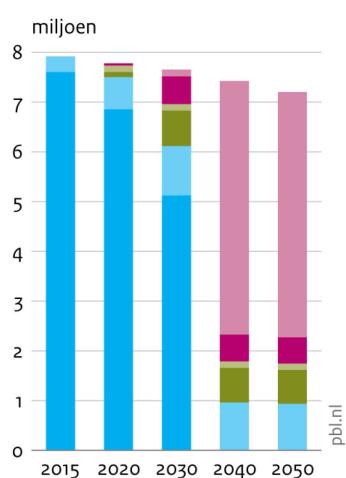
- Warmtepompen
- WKO
- Bio-WKK
- Geothermie
- Restwarmte
- Aardgas

Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

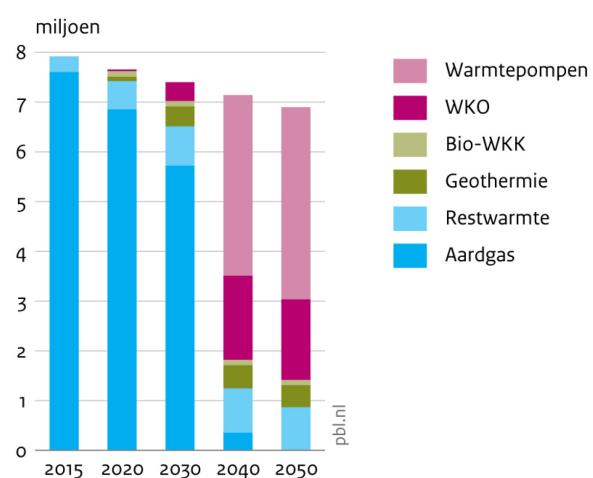
Aantal aansluitingen warmtevoorziening bestaande woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2015 – 2050

Variant stapsgewijze verhoging van 0,30 euro/m³ in 2020 naar 1,50 euro/m³ in 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

De onderstaande figuur geeft de kaart van de gebieden op CBS buurtniveau waar in het startjaar (2015) overwegend een warmtenet is voor de gebouwde omgeving (woningen, utiliteit en glastuinbouw).

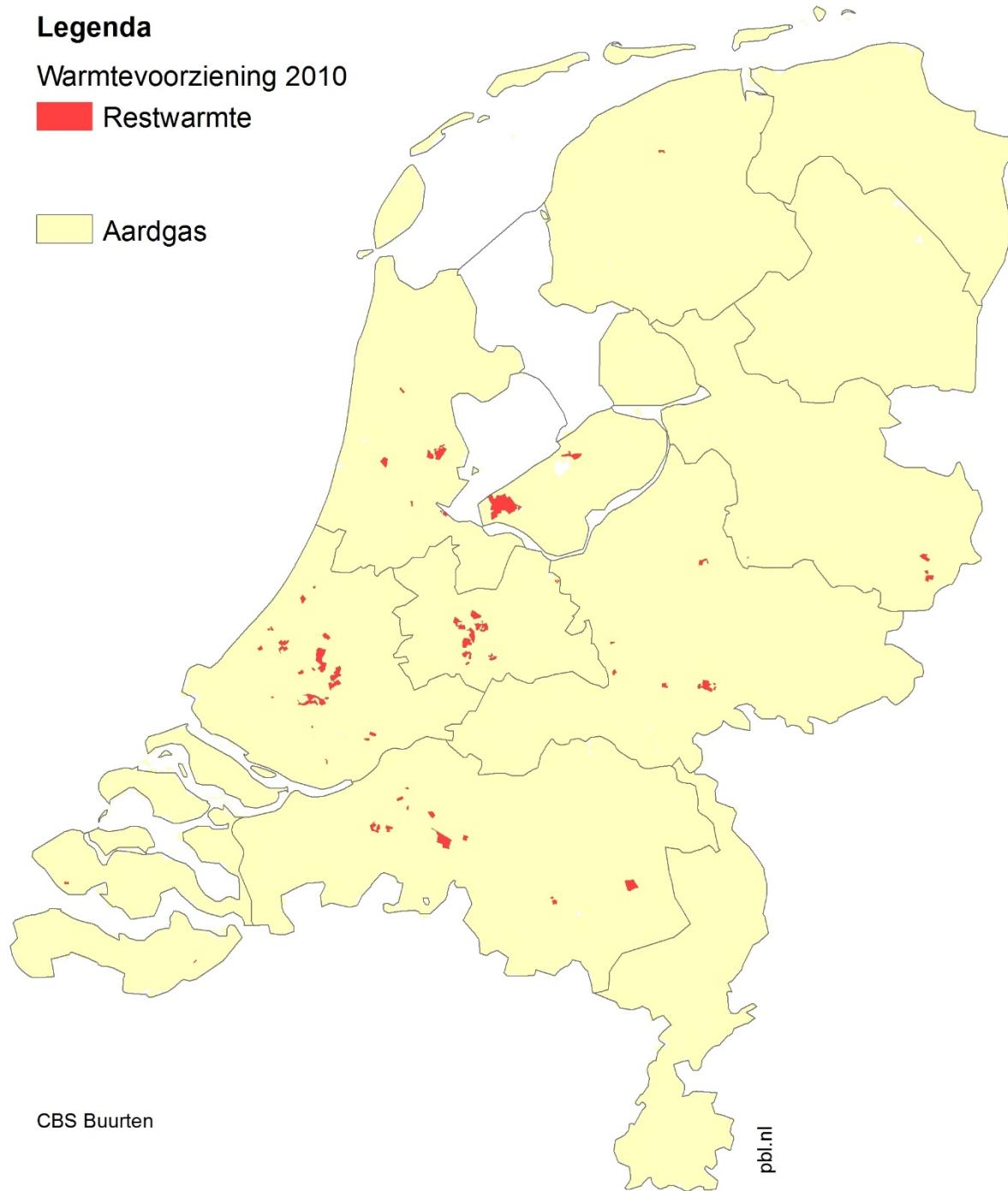
Figuur 7.1
Infrastructuur warmtevoorziening gebouwde omgeving in startjaar (2015)

Legenda

Warmtevoorziening 2010

Restwarmte

Aardgas



CBS Buurten

pbl.nl

De onderstaande figuur geeft de kaart van de infrastructuur van de warmtevoorziening in WLO Hoog in 2050 voor de rekenvariant verhoging energiebelasting op aardgas met 1,50 euro/m³. In het oranje gebied bevinden zich de CBS buurten waarbij minimaal één gebouw nog een gasaansluiting heeft. De overige woningen in deze buurten worden verwarmd met een elektrische warmtepomp of WKO.

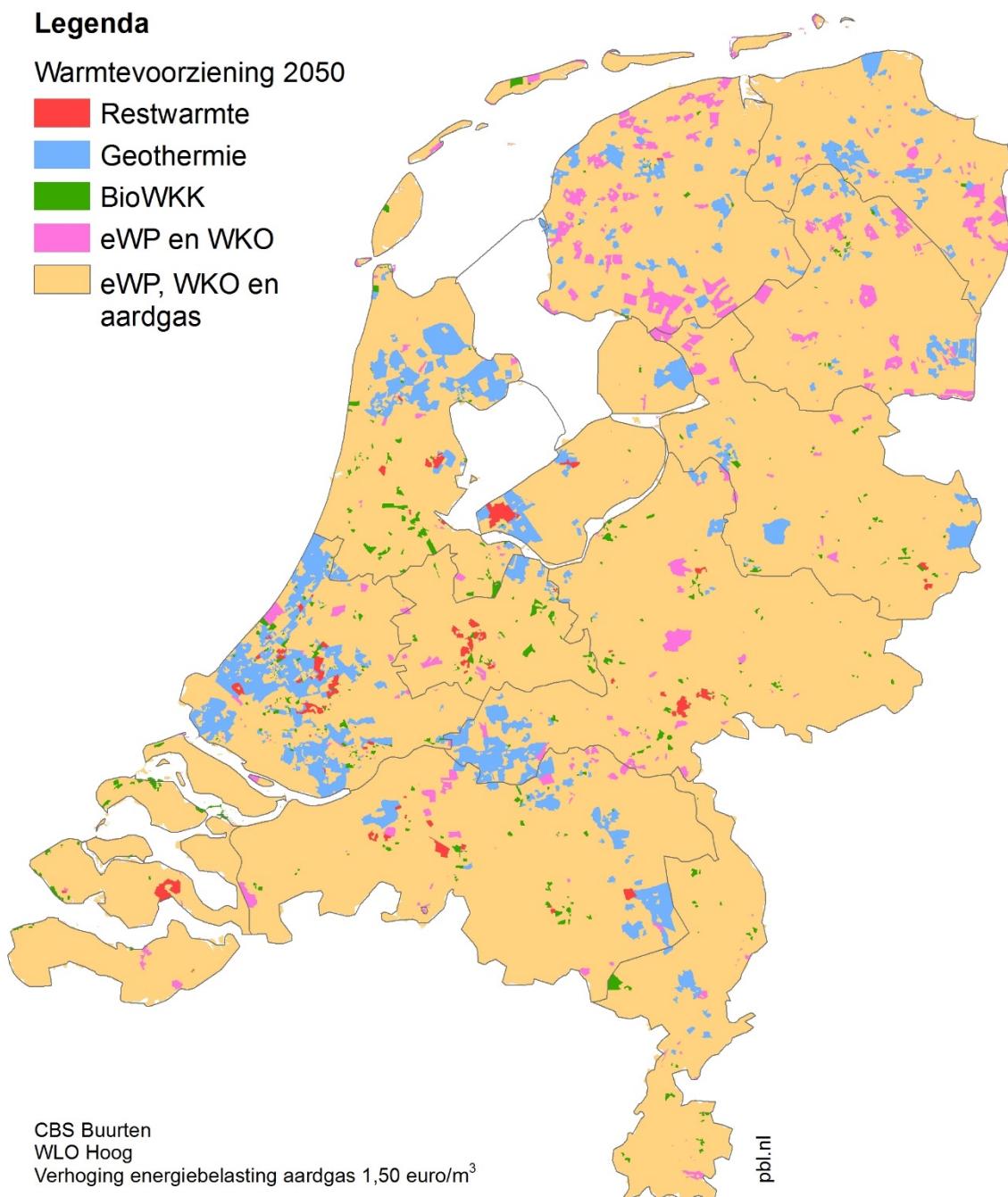
Figuur 7.2

Infrastructuur warmtevoorziening gebouwde omgeving in WLO Hoog in 2050, Rekenvariant verhoging energiebelasting op aardgas met 1,50 euro/m³. In alle buurten zijn mogelijk ook gebouwen met warmtepomp of WKO-installatie.

Legenda

Warmtevoorziening 2050

- Restwarmte
- Geothermie
- BioWKK
- eWP en WKO
- eWP, WKO en aardgas



8 Referenties

- Bruyn, Sander de, Martijn Blom, Ellen Schep en Geert Warringa (2017a), *Werkwijzer voor MKBAs op het gebied van milieu*, Publicatienummer 17.7A76.48, CE Delft, Delft
- Bruyn, Sander de, Salihah Ahdour, Marijn Bijleveld, Lonneke de Graaff, Ellen Schep, Arno Schrotten, Robert Vergeer (2017b), *Handboek Milieuprijzen 2017*, Delft, CE Delft, Publicatienummer 17.7A76.64
- CE Delft (2015)
Energiekentallen utiliteitsgebouwen Vesta 2.0, C. Leguijt, B.L. Schepers, N.R. Naber en R.A. van den Wijngaart
- CE Delft (2017), *Functioneel ontwerp Vesta MAIS 3.0*, Benno Schepers, Cor Leguijt, Ruud van den Wijngaart en Maarten Hilferink. CE Delft publicatienummer 17.3H57.176.
- CPB/PBL (2015a), *Nederland in 2030 en 2050: Twee referentiescenario's, Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving*, Den Haag, CPB en PBL.
- CPB/PBL (2015b), *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Cahier Klimaat en Energie*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving/Centraal Planbureau.
- CPB/PBL (2016), *WLO-klimaatscenario's en de waardering van CO₂-uitstoot in MKBA's*, CPB/PBL Achtergronddocument, 23 november 2016, Den Haag, CPB/PBL.
- ECN (2014), *Verbetering referentiebeeld utiliteitssector: voorraadgegevens, energiegebruik, besparingspotentieel, investeringskosten, arbeidsinzet*, J.M. Sipma, ECN-E-13-069, ECN.
- ECN/PBL (2016), *Kostenefficiëntie van beleidsmaatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies, Bijlage bij het IBO kostenefficiëntie CO₂-reductiemaatregelen*, Bert Daniels en Robert Koelemeijer, ECN-E-15-060, PBL publicatienummer 1748.
- EZ (2016), *Energieagenda: naar een CO₂-arme energievoorziening*, Ministerie van Economische Zaken.
- IBO (2016), *Rapport IBO kostenefficiëntie CO₂-reductiemaatregelen*, Ministerie van Financiën, Inspectie der Rijksfinanciën - Bureau Strategische Analyse.
- Koelemeijer R, Koutstaal P, Daniëls B en Boot P, 2017. *Nationale kosten energietransitie in 2030*. PBL-publicatienummer 2888, PBL, Den Haag.
- OHN (2014), Object Hoogtebestand Nederland: afkorting in *Object Hoogte Nederland, de hoogte van alles wat boven het maaiveld uitsteekt*, Alterra, Wageningen University & Research, H. Kramer, J. Clement en C.A. Mücher, Geo-Info 2014-3 (2014). – ISSN 1572-5464 – p. 18-21.
- PBL (2016), *Belastingverschuiving: meer vergroening en minder complexiteit, Verkenning van trends en opties*, Milieubelastingen en Groene Groei Deel III, Herman Vollebergh, Justin Dijk, Eric Drissen, Hans Eerens en Gerben Geilenkirchen, PBL.
- PBL (2017), *Analyse leefomgevingseffecten verkiezingsprogramma's 2017-2021*, PBL-publicatienummer 2568.
- Ros, J. en B. Daniëls (2017), *Verkenning van klimaatdoelen, Van lange termijn beelden naar korte termijn actie*, Policy Brief, PBL-publicatienummer 2966.
- Romijn, G. en G. Renes (2013), *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*, Den Haag: CPB/PBL.
- VROM (1998), *Kosten en baten in het milieubeleid, Definities en berekeningsmethoden – Herziene uitgave van de standaardmethode voor het definiëren van de kosten van milieubeheer*, Herziening van Methodiek Milieukosten: Achtergronddocument VROM, Publicatiereeks Milieubeheer, nr. 1994/1 - nr 1998/6, Publicatiereeks milieustrategie, ministerie van Volks- huisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Bijlage 1 Project MAIS: overzicht van activiteiten

Onderstaande notitie geeft een overzicht van de activiteiten van het kernteam MAIS die hebben geleid tot de uitbreidingen van het Vesta MAIS model in 2016 en het beschikbaar stellen van de open source deskundigenversie in januari 2017. De notitie is vastgesteld door het kernteam MAIS dd 31 januari 2017.

Multi Actor Impact Simulatie (MAIS) Warmte en Netwerken

Aanleiding

De Vereniging Nederlandse Banken is eerder betrokken bij een project waarbij een Multi Actor Impact Simulatie (MAIS) project werd uitgevoerd, zoals in de transport sector. In hun contacten met diverse marktpartijen in de energiesector is het idee ontstaan ook voor het onderwerp 'Warmte en Netwerken' eenzelfde project op te zetten. Na afstemming met het Ministerie van Economische Zaken hierover is overeenstemming bereikt om gezamenlijk een project te initiëren. In april 2015 heeft de Minister van Economische Zaken in een brief aan de Tweede Kamer zijn Warmtevisie neergelegd, waarin explicet opgenomen is om samen met stakeholders een rekenmodel te ontwikkelen dat de integrale businesscase van warmteprojecten in beeld brengt.

Dit rekenmodel moet overheid en betrokken stakeholders inzicht geven in de impact van beleidswijzigingen/maatregelen die een relatie hebben met een fors duurzamere warmtehuishouding. Het idee van een MAIS model is dat als overheid en markt het eens zijn over kentallen en berekeningswijzen, ze het gemakkelijker eens kunnen worden over effectieve en efficiënte stimuleringsinstrumenten om beleidsdoelen te bereiken.

Betrokken partijen

Bij de samenstelling van het projectteam is getracht de belangrijkste stakeholders bij Warmte en Netwerken te betrekken. Dit heeft geresulteerd in een projectteam bestaande uit vertegenwoordigers van de volgende partijen:

- Ministeries vanuit hun rol als beleidsmaker en verantwoordelijke voor beleidsuitvoering op het vlak van 'Warmte' gerelateerde zaken zijn aangesloten de Ministeries van Economische Zaken, Infrastructuur & Milieu, Binnenlandse Zaken & Koninkrijksrelaties en Financiën.
- Nederlandse Vereniging van Banken vanuit haar rol als financier van warmte projecten.
- Aedes als vertegenwoordiger namens de sector woningcorporaties
- Stichting Warmtenetwerk als platform van partijen die actief zijn met collectieve warmte- en koude netten
- Programma bureau Warmte Koude Zuid-Holland als coördinator/initiator van initiatieven gericht op het verduurzamen van de warmtevraag in de provincie Zuid-Holland.
- Nationaal Expertisecentrum warmte als uitvoerend orgaan betrokken bij de beleidsuitvoering van vele warmte gerelateerde projecten. Dit expertisecentrum is ondergebracht bij de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl).

Deelname aan het MAIS project is geheel voor eigen rekening van de betrokken partijen geweest. Bij aanvang van het project in 2015 vervulde het adviesbureau Balance zowel de rol van projectleider als secretariaat. Deze taken zijn in de 2e helft 2015 overgenomen door RVO.nl.

Project uitvoering

Als een van de eerste activiteiten heeft het projectteam een inventarisatie gemaakt van de wensen van verschillende stakeholders ten aanzien van het rekenmodel. Daaruit kwamen onder andere de volgende aspecten naar voren:

- het model moet niet alleen te gebruiken zijn voor het doorrekenen van warmtenetten maar ook voor andere duurzame warmte opties zoals gebouwgebonden oplossingen, of warmtepompen etc.
- het model moet zich niet alleen richten op het doorvoeren van wijzigingen in onder andere energiebelasting, subsidies maar ook verschillende tarieven voor gas en elektriciteit meenemen;
- het model is vooral bedoeld is om betrokken partijen inzage te geven in de effecten van wijzigingen. Daarom moet het model ook maatschappelijke kosten in beeld brengen. Het model is niet bedoeld om specifieke businesscases door te rekenen
- het model moet ook de effecten van beleidswijzigingen op de emissie van CO₂ en NO_x in beeld brengen;
- het model moet inzicht geven in de effecten voor de verschillende actoren;

Daarnaast werd de wens uitgesproken om diverse variabelen makkelijk te kunnen wijzigen, en er grote waarde werd gehecht aan een visuele weergave van de resultaten. Ook zou het model de mogelijkheid moeten bieden om achtergrond data en uitgangspunten makkelijk te wijzigen.

Met deze wensen als basis is gekeken naar geschiktheid van bestaande modellen omdat het ontwikkelen van een compleet nieuw model wellicht meer tijd en geld zou gaan kosten dan gebruik maken van een bestaand model. Dit heeft ertoe geleid dat uiteindelijk is gekozen om het Vesta model van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) als basismodel te gebruiken en de gewenste aanpassingen hierop door te voeren. Het Vesta model word reeds gebruikt om beleidsondersteunende studies uit te voeren voor ministeries en andere overheidsorganisaties.

Na de vaststelling van het te gebruiken basismodel zijn de vervolg activiteiten middels werkgroepen vanuit het kernteam opgepakt om daarmee een Vesta⁺ model (MAIS-model) te ontwikkelen in het kader van het MAIS project. De volgende werkgroepen zijn daarbij ingesteld:

- *Borging en gebruik*: Doel was het borgen dat het te ontwikkelen rekenmodel een brede toepassing kan gaan vinden en voor vele partijen toegankelijk is.
- *Aanpassingen model*: Doel was het bepalen van de benodigde aanpassingen en uitbreidingen van het model.
- *Validatie van Vesta⁺ model*: validatie van gegevens en data in het huidige Vesta model en bepalen van de aanvullende data nodig voor het Vesta⁺ model.
- *Ontwikkeling interface*: het ontwikkelen van eenvoudige interface als instrument om te gebruiken door de stakeholders.

Het MAIS kernteam is ongeveer maandelijks bij elkaar gekomen en voor de verschillende werkgroepen zijn er ook tussentijdse sessies geweest. Na de keuze voor het Vesta model als basis model is ook PBL zowel bij het kernteam als ook bij het overleg van de werkgroepen betrokken geweest. De werkgroep Validatie heeft ook 2 keer met een groep externe experts gediscussieerd over de input gegevens.

Daarnaast zijn ook externe partijen betrokken bij enkele werkgroepen. De inzet van PBL en de aanpassingen voor het Vesta⁺-model zijn gefinancierd vanuit het Ministerie van Economische Zaken.

Project resultaten

Het model is na de zomer van 2016 opgeleverd, wat later dan gepland. Dit kwam niet alleen door dat het vaststellen van de gewenste aanpassingen aan het model meer tijd vergden maar ook de softwarematige verwerking ervan. De gewenste aanpassingen betroffen fikse uitbreidingen van uiteenlopende aard. Bovendien is het model uitgebreid getest en zijn twee scenario's met ieder circa 30 beleidsvarianten doorgerekend. In de tussenliggende tijd is gecommuniceerd over het MAIS project zoals tijdens het Nationaal Warmtecongres 2015. Het Vesta model is een uitgebreid en complex model en de aanpassingen moesten daarom grondig worden bekeken en uitgevoerd.

De eindresultaten van de werkgroepen kunnen als volgt kort worden samengevat:

- *Borging en gebruik*: het Ministerie van Economische Zaken heeft PBL opdracht gegeven het Vesta⁺ model gedurende een periode van vier jaar te onderhouden zodat het breed gebruikt kan gaan worden. De software waarin het model nu is ontwikkeld is beschikbaar in het publieke domein. Ook heeft het MAIS project ertoe geleid dat PBL bepaalde basisgegevens nu aan publieke

bronnen ontleend zoals het BAG register (Basisregistratie Adressen en Gebouwen) dat door gemeentes worden beheerd.

- *Aanpassingen model:* Binnen het kernteam is een uitgebreide inventarisatie gemaakt van gewenste aanpassingen op onderwerpen als kosten, infrastructuur, emissies, technologische oplossingen, de huursector problematiek, openbaarheid van gegevens waaronder de overschakeling van commerciële bestanden naar openbare gegevens zoals de Basisregistratie adressen en gebouwen, rekenselheid en overige zaken. Deze inventarisatie is uitgebreid bediscussieerd en vastgesteld welke aanpassing wel of niet doorgevoerd moesten worden en de argumenten hierbij. Met deze aanpassingen en de resultaten uit de validatie werkgroep heeft PBL de aanpassingen softwarematig verwerkt tot het MAIS model.

- *Validatie van Vesta⁺ model:* Middels 2 sessies met experts (16 september 2015 en 11 december 2015) uit de markt zijn de belangrijkste basisgegevens waar het Vesta model mee rekent bediscussieerd en waar nodig aangepast. Hiermee is ook een breed draagvlak ontstaan voor de kengetallen in het Vesta⁺ model.

- *Ontwikkeling interface:* De oorspronkelijk bedoelde eenvoudige interface is niet tot stand gekomen omdat dit enerzijds een complex geheel zou worden en de daarvoor benodigde financiering niet gevonden kon worden. Wel is PBL bereid gevonden een zogenaamde 'deskundigen versie' te ontwikkelen die het mogelijk maakt om veel data en gegevens uit het Vesta⁺ model beschikbaar te stellen voor adviesbureaus. De uitwerking van deze deskundigen versie is mede mogelijk gemaakt door een medefinanciering van Netbeheer Nederland.

Het kernteam heeft het laatste formele overleg gehad op 20 september 2016 ter afsluiting van het MAIS project. In dit overleg is ook de tevredenheid uitgesproken over het traject dat gezamenlijk doorlopen is, en is ook aangegeven dat promotie van het Vesta⁺ model moet gaan plaatsvinden.

Als eerste stap daartoe is het Vesta⁺ model gepresenteerd tijdens een sessie 30 september 2016 bij RVO in Den Haag. Voor een groep van circa 50 vertegenwoordigers uit diverse geledingen van de markt en overheden heeft PBL een toelichting gegeven op het Vesta⁺ model. De meerderheid van de deelnemers was onder de indruk van het eindresultaat en de gepresenteerde voorbeelden die de grote variatie in mogelijkheden liet zien maar ook de mate van detail die het model geeft. Daarbij is ook duidelijk gemaakt hoe complex het gebruik van het model nog is, en dat met de 'deskundigen versie' hier hopelijk een stap gezet zou kunnen worden. Deze deskundigenversie is eind 2016 afgerond. In Januari en Februari 2017 worden voor een groep van circa 30 personen instructiedagen worden georganiseerd door PBL.

Conclusies

Geconcludeerd kan worden dat het MAIS project een zeer bruikbaar resultaat heeft opgeleverd. De onderlinge afstemming over de door te voeren wijzigingen binnen het kernteam heeft veel tijd gekost maar daardoor is er uiteindelijk wel een goed draagvlak ontstaan voor deze wijzigingen. De vertaalslag in softwarematige zin was ook een extra uitdaging omdat de wensen van het kernteam breed en divers was. De gedetailleerdheid van het Vesta model heeft grote voordelen, maar brengt ook een complexiteit met zich mee waardoor het model niet door iedereen is te gebruiken. Hoewel de interface niet tot stand is gekomen is er vertrouwen dat de deskundigen versie een bruikbare toevoeging is om de toepassing van het Vesta⁺ model in de praktijk te vergroten. De afspraak tussen PBL en het Ministerie van Economische Zaken om het model enkele jaren te onderhouden kan ertoe bijdragen dat het model komende jaren een belangrijke basis wordt voor het beoordelen van beleidswijzigingen. Daarnaast kan met de deskundigenversie ook op een andere dan landelijke schaal bijdragen worden aan een brede toepassing van de resultaten van het MAIS project.

Samenstelling van het projectteam MAIS

Ministerie van Economische Zaken	Wouter Schaaf en Ralf Vermeer
Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties	Leo Brouwer
Ministerie van Infrastructuur en Milieu	Piet Kruithof
Vereniging van Nederlandse Banken	Dirk Jan van Swaay
Stichting Warmtenetwerk	Gijs de Man
Aedes	Pieter de Jong
Programmabureau Warmte en Koude Zuid Holland	Maya van der Steenhoven
Planbureau voor de Leefomgeving	Ruud van den Wijngaart en Steven van Polen
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland	Leon Wijshoff, Lex Bosselaar en Dia de Wijs

Bijlage 2 VROM

Methodiek Milieukosten

De berekening van de kosten en baten in het Vesta MAIS model is gebaseerd op de 'VROM Methodiek Milieukosten'. Om recht te doen aan het perspectief van de eindgebruikers van energie inclusief bedrijven die energie produceren wordt de benadering van de 'eindverbruikerskosten' gehanteerd. Hiervoor wordt de '*Verbrede eindverbruikersbenadering*' gehanteerd uit de overzichtstabel aan het einde van paragraaf 5.6 in (VROM 1998). Daarnaast geeft de benadering van de 'nationale kosten' het perspectief voor Nederland als geheel weer. Deze is samengevat in de eerste rij *Maatschappelijke kosten* in genoemde overzichtstabel.

Hieronder wordt de volledige tekst van paragraaf 5.6, *Kosten en baten van energiebesparing*, uit (VROM 1998) opgenomen omdat het document niet digitaal beschikbaar is op internet. De hier besproken benadering wordt niet alleen als standaard gebruikt in het Vesta MAIS model maar is eveneens de gangbare methode die wordt gehanteerd in vele studies voor de overheid door het Planbureau voor de Leefomgeving en andere organisaties.

Kosten en baten van energiebesparing (VROM 1998)

Aard en doe/ van de toepassing

De milieukostenmethodiek wordt ook gebruikt voor de berekening van de kosten en baten van energiebesparing. Een afzonderlijke paragraaf hierover is op zijn plaats, omdat in deze berekeningen verschillende invalshoeken en doelen mogelijk zijn. Deze zijn aanleiding tot verschillen in de uitwerking van de methodiek.

In de eerste plaats bestaan er verschillende invalshoeken. In een *nationale of maatschappelijke benadering* gaat het om de kosten en baten van energiebesparing voor Nederland als geheel. In een *eindverbruikersbenadering* gaat het om de kosten en baten voor eindverbruikers: doelgroepen en sectoren. In beide gevallen is er sprake van rendabele maatregelen wanneer de opbrengsten van de maatregel groter zijn dan alle met deze maatregel gepaard gaande kosten.

Hierbij wordt in principe een breed kostenbegrip gehanteerd: behalve kapitaals- en operationele kosten worden in principe ook alle toerekenbare bijkomende kosten in de beschouwing betrokken. Voorbeelden daarvan zijn: voorbereidings- en transactiekosten, inpassingsproblemen en opstartkosten, installatiekosten, notariskosten, kosten in verband met een onderhoudscontract, bouwrente, e.d. Daarnaast kunnen ook niet-financiële factoren (soms aangeduid als immateriële kosten, resp. baten) in de beschouwing worden betrokken. Te denken valt aan zaken als tijdsbe- slag, comfort, verandering van gebruikswaarde of (on)gemak.

De beschikbaarheid van data is een tweede belangrijk aandachtspunt in deze para- graaf. Bij het in databestanden opslaan van gegevens wordt weliswaar een vrij breed kostenbegrip gehanteerd, maar in de praktijk blijkt het uitermate lastig om een goede schatting van de bijkomende kosten te maken. Daar de omvang van deze kosten aanzienlijk kan zijn, is het van belang dat er wegen worden gezocht om ze toch in de analyse te kunnen meenemen. Er zijn daarvoor oplossingen ontwikkeld, als gevolg waarvan er binnen de eindverbruikersbenadering verschil- lende invulling mogelijk zijn.⁷

In de derde plaats moet aandacht worden besteed aan de baten van energiebesparing. Het bestaan van baten in de vorm van bespaarde energie onderscheidt energiebesparing van veel andere milieumaatregelen. Deze opbrengsten worden in de berekening meegenomen. De wijze waarop de bespaarde energie wordt gewaardeerd, verschilt echter met de gekozen invalshoek.

⁷ Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie, dee! A Beschrijving van de metho- diek, dee! B Vaststellen van het referentiekader, Ministerie van VROM, Publicatiereeks Lucht & Energie, nrs. 119 en 120, december 1995. Eindrapport Vervolgonderzoek kosteneffectiviteit van maatregelen in de industrie, Ministerie van VROM, Publicatiereeks L&E, nr. 126, november 1997.

⁸ Zie voor een uiteenzetting: G. de Wit, J. van Swighem en N. van der Ende, *Energiebesparingspotentielen volgens diverse methodieken; verschillen, oor-aken en beleidsrelevantie*, Delft, 1997. Zie ook: T.W.G. van Bergen en M.J. Dykstra: *Energiebesparing, hoe ver moetje gaan?* In: ESB van 27-3-1998.

Uitwerking: Nationale benadering

Het doel van de *nationale of maatschappelijke benadering* is het bepalen van de kosten en baten van energiebesparing voor Nederland als geheel. Hier is sprake van een macro- benadering, die aangeeft wat *per saldo* de kosten en baten zijn van de door de verschillende doelgroepen en sectoren te treffen maatregelen. Deze benadering geeft daarmee een eerste indicatie van (een deel van) de macro-economische effecten van de maatregelen of investeringsprojecten.

De belangrijkste karakteristieken zijn:

- *de hoogte van de discontovoet:* In de berekening van de nationale kosten en baten wordt uitgegaan van een lagere discontovoet dan in privaat-economische analyses gebruikelijk is.⁹ Er wordt gerekend met een (reele) maatschappelijke of sociale discontovoet van 3 tot 5 %. Dit percentage kan ontleend worden aan ofwel een economisch scenario van het CPB, als daarvan in de analyse wordt uitgegaan, ofwel gebaseerd worden op de discontovoet die de overheid hanteert voor grote overheidsprojecten.¹⁰ Alle investeringskosten, ook die van particulieren en bedrijven, worden tegen dit percentage verdisconteerd. Dit geeft aan dat voor de maatschappij als geheel ook investeringen met een lange looptijd 'rendabel' kunnen zijn.
- *het meenemen van negatieve externe effecten:* In de nationale benadering wordt in een aantal gevallen ook rekening gehouden met het optreden van externe effecten. Energie- opwekking uit fossiele brandstoffen leidt immers tot milieuschade. Het voorkomen van deze schade kan dan ook worden meegenomen als baten van de besparingsmaatregelen. Overigens is het in de meeste gevallen slechts mogelijk om een zeer globale inschatting van de externe effecten te maken.
- *de waardering van de bespaarde energie:* Energie heeft baten in de vorm van bespaarde energie en de bovengenoemde vermeden milieuschade. Deze baten worden in de nationale benadering gewaardeerd tegen de 'schaduwprijs' van energie: de wereldmarktprijs van energie (bijv. m³-gas) plus de vermeden milieuschade. In deze prijs wordt geabstraheerd van heffingen en belastingen, omdat die op nationaal niveau tegen elkaar wegvallen. Of ook rekening gehouden moet worden met transport- en distributiekosten, hangt af van de tijdshorizon. Op korte termijn liggen deze vast vanwege het hoge kapitaalaandeel van de investeringen in gas- en elektriciteitsleidingen en kan daarop weinig worden bespaard. Op langere termijn kunnen investeringen en daarmee transport- en distributiekosten wel veranderen en zullen zij in de beschouwing moeten worden betrokken.

⁹ De terminologie in deze paragraaf gaat uit van het gebruik van de netto-contante-waarde methode; het is echter ook mogelijk om jaarlijkse kosten en baten te berekenen, ook met gebruikmaking van een annuiteitsfactor voor het vaststellen van jaarlijkse (constante) kapitaalskosten.

¹⁰ Zie hiervoor: Centraal Planbureau, Omgevingsscenario's Lange Termijn Verkenning 1995-2020, CPB Werkdocument No. 89. Den Haag, 1996; Ministerie van Financien: *De toepassing van de disconteringsvoet bij de analyse van overheidsprojecten. Rapport van de Studiegroep Heroverweging Disconteringsvoe/*, Den Haag, 1994; hierin wordt 4% aanbevolen.

Eindverbruikersbenadering

In de eindverbruikersbenadering is het doel het zo goed mogelijk bepalen van de kosten en baten van energiebesparingsmaatregelen voor eindverbruikers als bedrijven en gezinnen. Er

wordt daarom gerekend op een wijze zoals eindverbruikers dat ook doen in hun (privaat-economische) afweging van kosten en baten.

De belangrijkste karakteristieken zijn:

- *de hoogte van de discontovoet*: Bij de berekening van de kosten en baten wordt uitgegaan van een voor eindverbruikers relevante discontovoet. Deze is hoger dan de discontovoet die wordt gehanteerd in de nationale benadering.
- *meenemen van externe effecten*: De vermeden negatieve extreme effecten worden in eindverbruikersbenaderingen niet als baten meegenomen. Alleen de bespaarde energie leidt voor de eindverbruiker tot baten.
- *de waardering van bespaarde energie*: De bespaarde energie wordt gewaardeerd tegen de geldende eindverbruikersprijs. Deze geeft immers de feitelijke kostenbesparing voor de eindverbruiker weer.

Binnen de eindverbruikersbenadering zijn, afhankelijk van het beoogde doel en de beschikbaarheid van gegevens, verschillende invullingen mogelijk. Achtereenvolgens komen aan de orde: de milieukostenmethodiek, een 'verbrede' eindverbruikersbenadering en de methode voor het voorspellen van (vrijwillig) benutte energiebesparingsmogelijkheden.

De methodiek milieukosten

Het doel van de milieukostenmethodiek is het bepalen van de feitelijke materiële kosten van een milieumaatregel.¹¹ In beginsel wordt hierbij een ruime definitie van materiële kosten gehanteerd: alle daadwerkelijke of toegerekende geldstromen welke samenhangen met de aanschaf, installatie/invoering en exploitatie van de maatregel. De methode laat toe dat in de praktijk door beperkte beschikbaarheid van gegevens vaak gewerkt wordt met een wat smallere kostendefinitie. Met name de minst goed zichtbare kostencomponenten, de transactiekosten en (andere) verborgen kosten, worden vanwege hun grote diversiteit en onbekendheid nogal eens buiten beschouwing gelaten.

Bij de toepassing van de milieukostenmethodiek op energiebesparingsmaatregelen worden de jaarlijkse kosten van energiebesparing gevormd door de jaarlijkse kapitaalkosten (afschrijvingen en rentekosten, berekend als in voorgaande hoofdstukken is uiteengezet met een gemiddelde vermogenskostenvoet van 5% voor de rijksoverheid, 6% voor andere overheden, de non-profit sector, de huishoudens en het agrarische bedrijfsleven en 10% voor het overige bedrijfsleven) plus de jaarlijkse exploitatiekosten.¹² De uitgespaarde energie wordt, als gebruikelijk in eindverbruikersbenaderingen, gewaardeerd tegen de eindverbruikersprijs (inclusief heffingen en belastingen en transport- en distributiekosten).

¹¹ Hierbij kan ook rekening worden gehouden met de kosten na uitvoering van institutionele regelingen en van overheidsbeleid (subsidies, fiscale faciliteiten, e.d.)

¹² Het gebruik van vaste rentepercentages verdient om redenen van vergelijkbaarheid de voorkeur in opeenvolgende energiebesparingsonderzoeken. In de kostenoverzichten van het RIVM daarentegen blijven dezelfde kosten berekend worden met variabele rentepercentages, opgebouwd uit de variabele kapitaalmarkt-rente en vaste, sectorspecifieke opslagen (zie hst. 3.).

Een 'verbrede' eindverbruikersbenadering

In een 'verbrede' eindverbruikersbenadering is de afweging van kosten en baten eveneens gericht op het inschatten van de kosten en baten van energiebesparing. Op basis hiervan kunnen vervolgens ook rendabele energiebesparingspotentielen worden ingeschat en kosteneffectiviteiten worden berekend. Specifiek voor de benadering is dat op een bepaalde wijze wordt omgegaan met de hierboven genoemde bijkomende kosten, waarbij expliciet de verborgen kosten en op geld waardeerbare risico's worden betrokken. Bij deze laatste categorie gaat het om zaken als toegenomen risico's door het gebruik van nieuwe, onbekende technieken (bijv. kans op kwaliteitsverlies of productstoring). Deze risico's kunnen in beginsel ook in kosten vertaald worden.

Kenmerkend voor verborgen kosten en risico's is dat ze moeilijk zijn vast te stellen: de literatuur biedt sterk uiteenlopende schattingen. Empirisch onderzoek heeft wel aangetoond dat het totaal van de bijkomende en verborgen kosten en risico's bij energiebesparing fors kan zijn: schattingen lopen uiteen van 30 tot 250% van de aanschafprijs.¹³ Als deze kosten niet bekend zijn, zal hiervan een schatting gemaakt moeten worden om overschatting van het rendabele potentieel te voorkomen. Om praktische redenen wordt hieraan meestal uitvoering gegeven door een globale ophoging van de discontovoet in de gehanteerde contante waarde berekening.

In overheidspublicaties wordt bij de berekening van de kosten en de baten van energiebesparing gekozen voor een discontovoet van 8% voor investeringen van de overheid zelf, de non-profit sector, de landbouw en de huishoudens en 15% voor het niet-landbouwbedrijfsleven.¹⁴ Deze percentages kunnen ook als uitgangspunt dienen voor de berekening van rendabele energiebesparingspotentielen, alsmede van de kosteneffectiviteit van de verschillende maatregelen.¹⁵

Het voorspellende van energiebesparing

Uit onderzoek blijkt dat het berekende rendabele energiebesparingspotentieel veelal hoger uitvalt dan de potentielen die daadwerkelijk door de eindverbruikers worden benut. Een verklaring daarvoor is dat ook belemmerende factoren van niet-financiële aard een rol spelen bij de besluitvorming over energiebesparing. Enkele voorbeelden daarvan zijn: gebrek aan informatie, comfortverlies, weerstand tegen verandering of tegen bepaalde maatregelen. Dergelijke factoren werden verantwoordelijk gehouden voor de *efficiency gap*: het verschijnsel dat niet alle rendabele energiebesparingsmaatregelen ook daadwerkelijk worden getroffen.¹⁶

¹³ Zie hierover J. Oonk en A. Joi in: Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie, Ministerie van VROM, Publicatiereeks Lucht & Energie, Nr. 119 en 120. Zie ook: J.W. Velthuijsen, *Determinants of investment in energy conservation*. Groningen 1995. Er zijn echter ook lagere schattingen, zoals in: Hein en Blok, *Transaction Costs of Energy Efficiency Improvement*, NW&S, UvU Utrecht, 1995. Deze weerleggen de algemene lijn in de literatuur echter niet.

¹⁴ In de Energiebesparingsnota (1998) is een wat globalere indeling van sectoren gehanteerd: 8% voor gezinnen en gebouwde omgeving en 15% voor het gehele bedrijfsleven. Zie hierover Bijlage 3 van de nota.

¹⁵ Als in het kader van energiebesparingsstudies in een en dezelfde berekening zowel energiebesparingsmaatregelen als andere, 'gewone' milieumaatregelen moeten worden meegenomen, dan ligt het omwille van de vergelijkbaarheid voor de hand om voor beide dezelfde verbrede eindverbruikersbenadering te gebruiken. Dit wordt gezien als uitzondering op de algemene berekeningsregel van de kosteneffectiviteit, zoals uiteengezet in par. 5.5.

¹⁶ Zie voor een uiteenzetting hierover G. de Wit, e.a., geciteerde werk (1997), Bijlage B en C.

In economische publicaties wordt de efficiency gap vaak vertaald in nog weer een hogere discontovoet, bijv. tot wel 20%. Deze benadering is toegelaten, zolang het doel van de analyse in het oog wordt gehouden: niet het berekenen van kosten en baten, maar het inschatten van het (waarschijnlijk) benutte energiebesparingspotentieel. De niet-financiële factoren worden dan verdisconteerd als een derde categorie van kosten. Het gaat daarbij niet meer alleen om materiële kosten, maar om immateriële kosten in de brede (welvaartseconomische) zin van het woord. Voor het ontwikkelen van hierop gerichte beleidsinstrumenten kan dit onderscheid van belang zijn.

Samenvatting van overeenkomsten en verschillen

In de besproken benaderingen worden in de praktijk zoals gezegd verschillende rekenmethoden gebruikt: jaarkosten of netto-contante-waarde methode. Voor de uitkomsten is dat geen relevant onderscheid. De keuze voor de ene of de andere methode wordt vooral bepaald door de aard van de maatregel en het verloop van kosten en baten in de tijd.

Essentieel is wel de invalshoek resp. het doel waarvoor de berekening wordt gebruikt, waardoor en het kostenbegrip en de hoogte van centrale variabelen veranderen. Onderstaande tabel geeft daarvan een samenvattend overzicht.

	<i>Doel</i>	<i>Kostenbegrip</i>	<i>Rentevoet</i>	<i>Energieprijs</i>
<i>Maatschappelijke kosten</i>	kosten en baten voor Nederland als geheel	materiële kosten en externe effecten	3-5 %	schaduwprijs
<i>MKM</i>	kosten en baten van eindverbruikers	goed zichtbare materiële kosten	5, 6 en 10%	eind-verbruikers-prijs
<i>'Verbrede' eind-verbruikers-benadering</i>	idem, incl. inschatting rendabel potentieel	alle materiële kosten incl. verborgen kosten en risico's	8 en 15%	eind-verbruikers-prijs
<i>Voorspellen van energie-besparing</i>	inschatting benutte potentieel, en efficiency gap	materiële en verborgen kosten, risico's en immateriële factoren	verdere ophoging t.o.v. 8 en 15 %	eind-verbruikers-prijs

Overzicht Verschillen in methodische uitwerking en berekeningsdoelen.

Bijlage 3 Specifieke kosten en opbrengsten van actoren

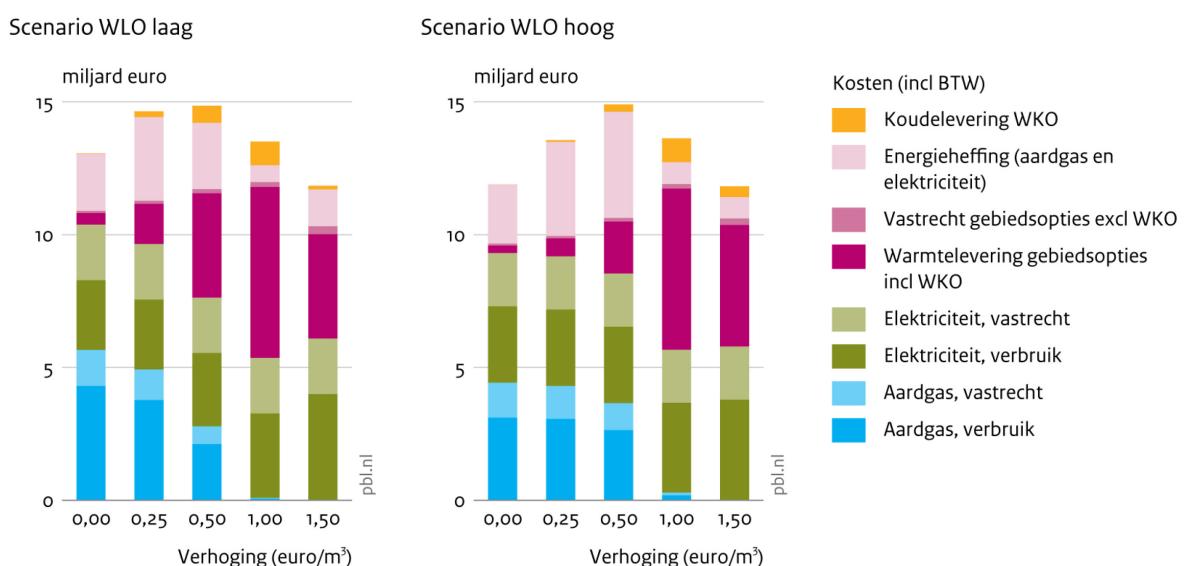
De kosten van sommige actoren zijn in nog meer detail weergegeven in deze bijlage. Hiermee kan nog nauwkeuriger worden nagegaan wat de ontwikkeling is van diverse posten en in hoeverre zij relevant zijn voor de business case van actoren.

Achtereenvolgens worden figuren van de rekenvarianten van de verhoging van de energiebelasting op aardgas gepresenteerd voor:

- Energiekosten van gebruikers van bestaande woningen in 2050 (exclusief vergoeding renovatie en huurverlaging);
- Kosten wijkdistributie 2050;
- Opbrengsten aardgasleverancier 2050;
- Opbrengsten elektriciteitsleverancier 2050;
- Opbrengsten energieheffing 2050;
- Opbrengsten BTW 2050.

Tenslotte is een uitsplitsing gemaakt van de kosten van warmtebronnen in 2050 voor het Referentiepad.

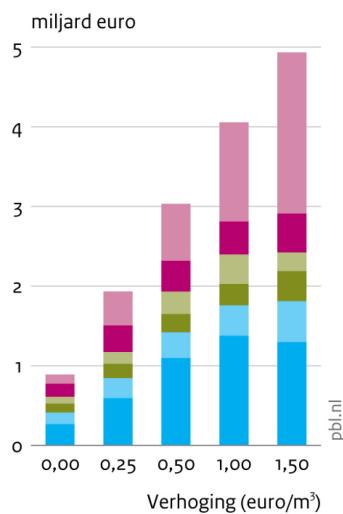
Energiekosten gebruiker bestaande woningen bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050 Exclusief vergoeding renovatie en huurverlaging



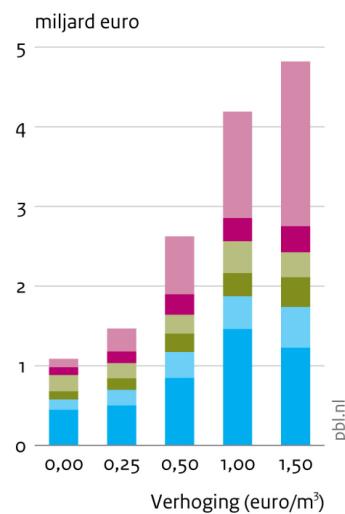
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

Kosten wijkdistributie bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog

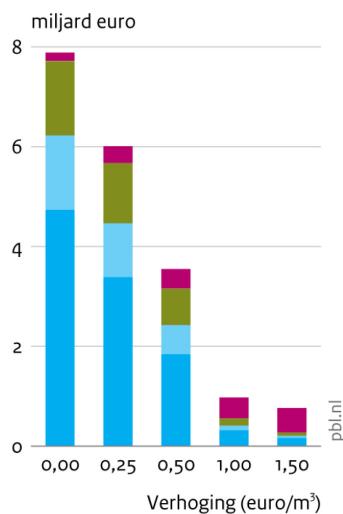


- Energieheffing gasverbruik hulpketel
- Gasverbruik hulpketel
- Precario
- Administratie
- Onderhoud en beheer
- Kapitaallasten investering

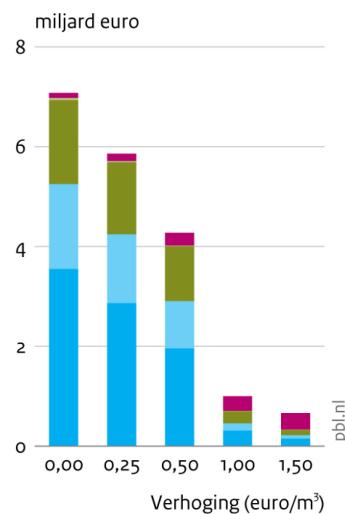
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

Opbrengsten aardgasleverancier bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog

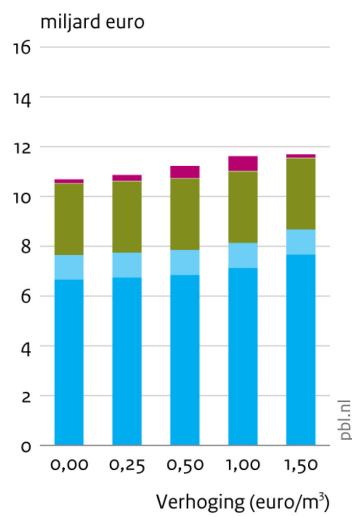


- Levering aan hulpketel wamtedistributie
- Aansluitbijdrage
- Vastrecht
- Verbruksafhankelijke netwerkinkomsten
- Levering aan eindverbruikers

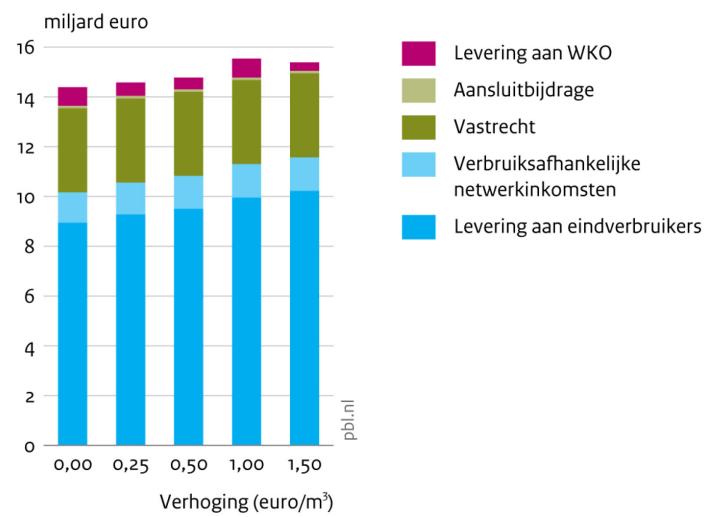
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

Opbrengsten elektriciteitsleverancier bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050

Scenario WLO laag



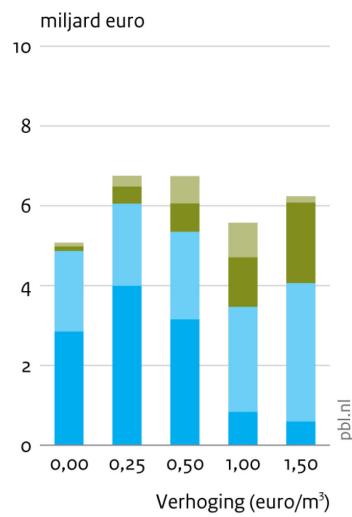
Scenario WLO hoog



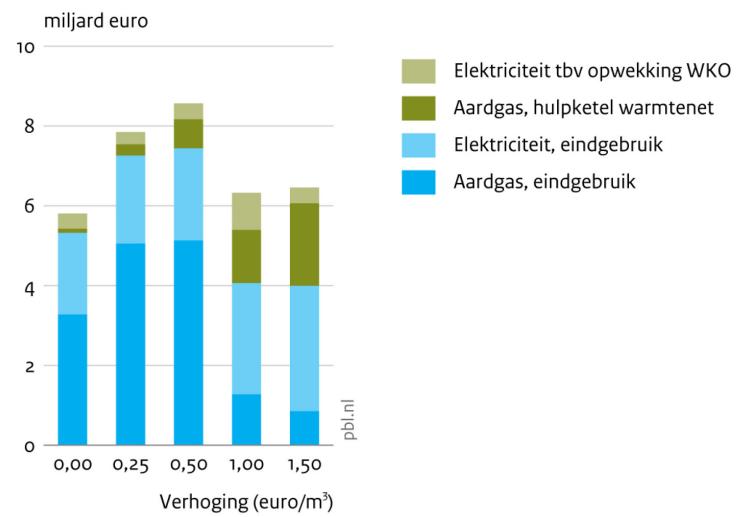
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

Opbrengsten energieheffing bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050

Scenario WLO laag



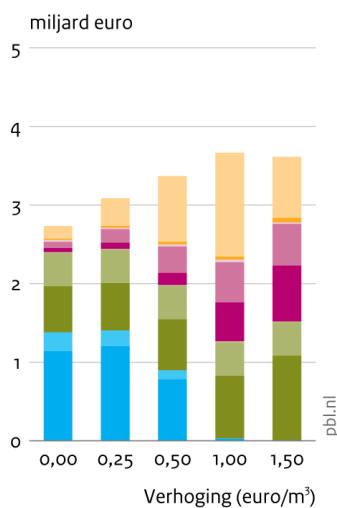
Scenario WLO hoog



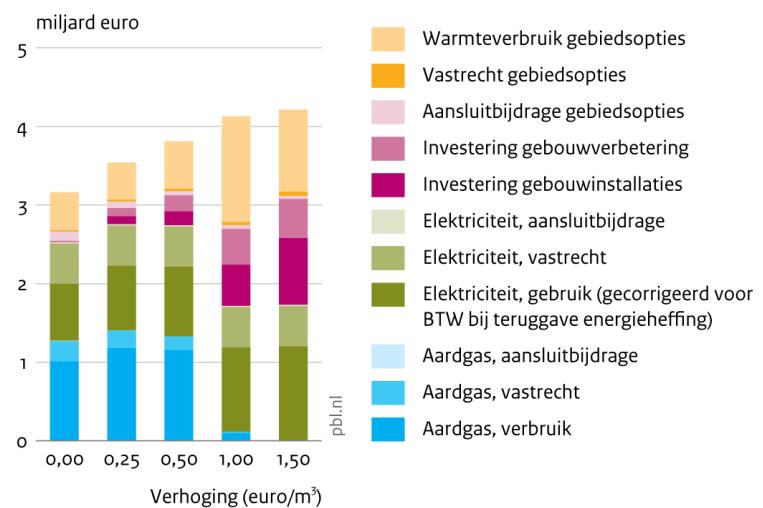
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

Opbrengsten BTW bij verhoging energiebelasting op aardgas, 2050

Scenario WLO laag



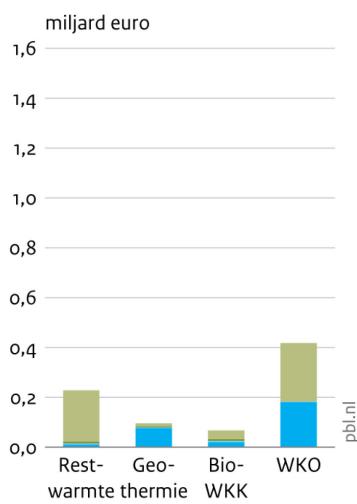
Scenario WLO hoog



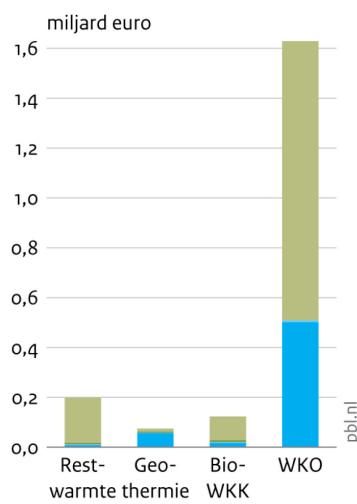
Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017

Kosten warmtebronnen referentie, 2050

Scenario WLO laag



Scenario WLO hoog



Bron: PBL, Vesta MAIS model 2017