



Functioneel ontwerp Vesta

Rapport
Delft, juli 2011

Opgesteld door:
C. (Cor) Leguijt
B.L. (Benno) Schepers
Met medewerking van:
Ruud van den Wijngaart (PBL)
Rob Folkert (PBL)
Maarten Hilferink (Object Vision)



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

C. (Cor) Leguijt, B.L. (Benno) Schepers

Met medewerking van: Ruud van den Wijngaart (PBL), Rob Folkert (PBL), Maarten Hilferink (Object Vision)

Functioneel ontwerp Vesta

Delft, CE Delft, juli 2011

Gebouwde omgeving / Energievoorziening / Vraag en aanbod / Warmte / Gegevensbestanden / Scenario's

Publicatienummer: 10.3299.54

Opdrachtgever: Planbureau voor de Leefomgeving.

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Cor Leguijt.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.



Inhoud

1	Globale beschrijving van de werking van het model	5
1.1	Doel	5
1.2	Werking van het model	5
2	Blok 2: Input bebouwing	9
3	Blok 2: Input energiegegevens	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Energievraagkenticallen en kenticallen voor energieaanbod op gebouwniveau	11
3.3	Invoerbestand restwarmtelokaties	14
3.4	Inputgegevens overige warmtebronnen	14
3.5	Kosten en energieprijzen	15
3.6	Gegevens over potenties en kostprijzen van vraagzijdebepanking	17
3.7	Contourbestanden geothermie en WKO	18
3.8	Gegevens huidige warmtedistributiegebieden en -netten	18
4	Blok 3: Overige input	19
4.1	Draagvlakindicatoren	19
4.2	Overige input	19
5	Blok 4: Interactie	21
5.1	Energiescenario's vraag- en aanbodzijde	22
6	Blok 5: Bepaling energievraag en lokale energieproductie per gebied	23
6.1	Inleiding	23
6.2	Werkwijze	23
7	Blok 6: Rekenmodule warmterentabiliteit	25
7.1	Inleiding	25
7.2	Werkwijze	26
7.3	Aaneenrijgen van PC4-gebieden t.b.v. warmtelevering: iteratieslagen	28
7.4	Stap 1: Berekening van de opbrengsten van warmtelevering voor de leverancier	29
7.5	Stap 2: Berekening van de kosten van warmtedistributie per gebied	30
7.6	Stap 3: Bepaling maximaal toelaatbare warmte-inkoopprijs per gebied	31
7.7	Stap 4: Vergelijken maximale warmte-inkoopprijs met kosten per warmtebron, toewijzing gebieden per bron	31
8	Blok 7: Interactie en bepaling: nadere reductie energievraag	33



9	Blok 8: Bepaling kosten	35
9.1	Inleiding maatschappelijke- en eindgebruikerskosten	35
9.2	Implementatie in het model	36
9.3	Welke energieprijzen te hanteren?	37
9.4	Uitgewerkte voorbeelden	37
9.5	Te hanteren default-discontovoeten in de kostenbepaling	40
10	Beschrijving blokken 9 t/m 12	41
10.1	Blok 9: Bepaling draagvlak en kansrijkheid	41
10.2	Blok 10: Wegschrijven output	41
10.3	Blok 11: Analyse	41
10.4	Blok 12: Analyses buiten het model	42
	Literatuurlijst	43
Bijlage A	Bebouwing	45
A.1	Woningen	45
A.2	Utiliteitsbouw	46
A.3	Glastuinbouw	46
A.4	Toekomstige situatie bebouwing (peiljaren: 2020, 2030, 2040, 2050)	47
Bijlage B	Overzicht investerings-componenten	49
Bijlage C	Formules rentabiliteit	51
C.1	Hoofdformules (schematisch)	51
C.2	Opbrengsten uit het warmtenet	53
C.3	Kosten bij grootschalige warmtelevering	60
C.4	WKO (warmte-koudeopslag)	75
Bijlage D	Berekening van CO₂-emissies	81
Bijlage E	Berekening maatschappelijke- en eindgebruikerskosten	83
Bijlage F	Overzichtstabellen	89
F.1	Algemeen	89
F.2	Kosten en baten	89
F.3	Energiebalans	93
F.4	CO ₂ -balans	94
F.5	Voorbeelden van outputtabellen	94



1 Globale beschrijving van de werking van het model

1.1 Doel

Het doel van het model is om beleidsinformatie te genereren met betrekking tot de energievoorziening van de gebouwde omgeving. De nadruk ligt in de eerste fase op de invulling van de warmtevraag. Vanuit de aanbodzijde kan dat traditioneel, op basis van (aard)gas met HR-ketels, maar dat kan bijvoorbeeld ook met collectieve systemen zoals restwarmte of geothermie, of met warmtepompen op basis van bodemwarmte. Vanuit de vraagzijde kan gestuurd worden op o.a. verbetering van de isolatiegraad van gebouwen, of op bewonersgedrag. Het model rekent keuzes met betrekking tot vraagzijde en aanbodzijde door op energievraag, eindgebruikers- en maatschappelijke kosten, CO₂-emissies, etc. Daarbij kan gekozen worden uit verschillende scenario's voor de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland en kunnen invoerparameters zoals de ontwikkeling van energieprijzen gevarieerd worden. De ruimtelijke ontwikkeling van Nederland wordt als invoer aan het model aangeboden.

Bij de warmtevoorziening zit er interactie tussen vraag en aanbod, omdat de omvang van de vraag medebepalend is voor de rentabiliteit van warmte-distributieprojecten. Isoleren van gebouwen reduceert zo bijvoorbeeld het potentieel aan rendabele warmteprojecten. De gebruiker van het model kan aldus handmatig zoeken naar optimale situaties, het rekenmodel optimaliseert zelf niet.

Van belang voor een goed begrip van het model is het besef dat energie-vraagzijdemaatregelen worden opgelegd door de modelgebruiker, hetzelfde geldt voor lokale energieproductie met zonneboilers, zonnecellen, warmtepompen en microwarmtekracht. Dit in tegenstelling tot warmtebronnen waarmee ook een warmtedistributienet samenhangt, zoals rest- en aftapwarmte, 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.

De default is in alle gevallen verwarming met gas.

1.2 Werking van het model

De globale werking van het model is weergegeven in het stroomschema in Figuur 1. De nummers van de blokken worden verderop in deze notitie weer gebruikt.

Om aan de energievoorziening in de gebouwde omgeving te kunnen rekenen moet er eerst een gebouwde omgeving in het model worden ingevoerd. Dat gebeurt in Blok 1.

De basis van het model is de ruimtelijke verdeling van de bebouwing in Nederland, op postcode6 (PC6)-niveau. Voor de toekomst wordt er gewerkt met verschillende scenario's voor nieuwbouw en sloop, de gebruiker moet daar



in Blok 4 een keuze uit maken. Alle benodigde scenariogegevens worden al wel in Blok 1 ingelezen.

Aan elk type bebouwing is een energievraag toegekend. De energiekentallen daarvan worden ingelezen in Blok 2. De gebruiker kan er in Blok 4 voor kiezen om de huidige vraag te reduceren, bijvoorbeeld door de efficiency van gebouwen te verhogen. De kentallen voor de kosten en effecten van dergelijke maatregelen worden ook ingelezen in Blok 2, evenals alle andere energie-relevante gegevens zoals gegevens over restwarmtebronnen, geothermie, et cetera. Keuzes voor energievraagreductie zijn belangrijk omdat die van invloed zijn op de rentabiliteit van warmtelevering, die verderop, in Blok 6, wordt bepaald door het model. De default voor de energielevering voor de warmtevraag is gas in het model. Gebouwen worden geacht 'default' op het gas- en elektranet aangesloten te zijn.

De energievraag van de bebouwing en de lokale productie met bijvoorbeeld zonneboilers of microwarmtekracht, worden uitgerekend in Blok 5. Dat gebeurt op PC6-niveau. De gebruiker moet daarvoor alle benodigde keuzes maken in Blok 4, zoals energieprijsscenario's, prioriteitsvolgordes van warmtebronnen, etc. Als default wordt de gebouwde omgeving verwarmd op basis van gas.

Overige benodigde gegevens zoals discontovoeten worden ingelezen in Blok 3. In Blok 3 worden ook gegevens ingelezen die relevant zijn voor bepaling van draagvlak en kansrijkheid van bepaalde maatregelen.

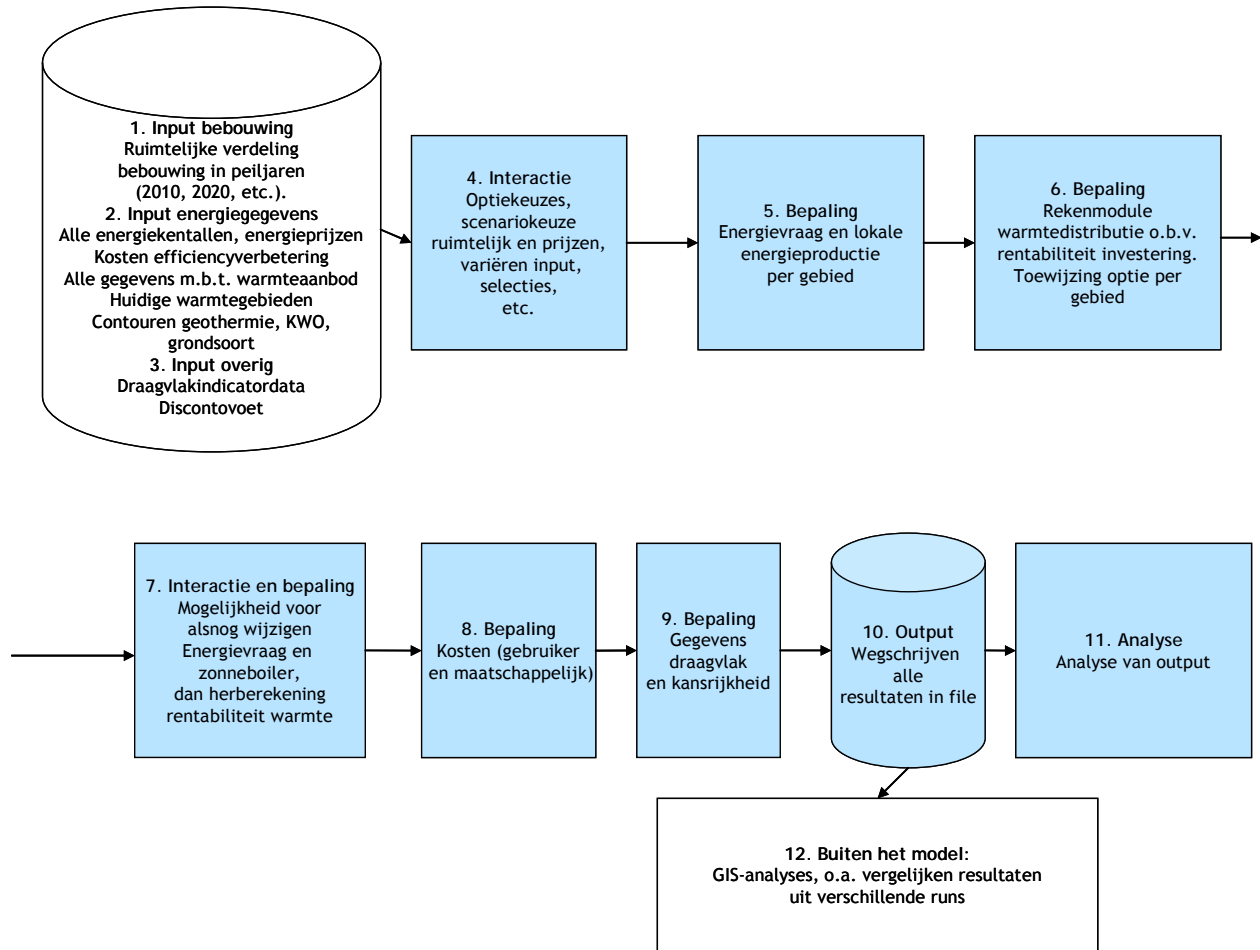
Als de energievraag en de lokale productie eenmaal zijn bepaald in Blok 5, dan wordt in Blok 6 vervolgens per gebied berekend of het rendabel is om te kiezen voor een andere warmtebron dan gas. Het rekenmodel bepaalt voor elk gebied of warmtedistributie fysiek beschikbaar is, en of dat rendabel toe te passen is of niet. Voor grootschalige restwarmte en voor geothermie worden die bepalingen op PC4-niveau uitgevoerd, voor WKO op PC6-niveau.

In Blok 7 heeft de gebruiker de mogelijkheid om de interactie tussen warmtevraag en rentabiliteit van warmtedistributieprojecten te onderzoeken door alsnog de warmtevraag te veranderen of alsnog zonneboilers toe te passen. Het model bepaalt de gewijzigde rentabiliteit van de warmteprojecten.

In Blok 8 en Blok 9 worden gebruikerskosten en maatschappelijke kosten uitgerekend en draagvlakgegevens bepaald. In Blok 10 worden alle gegevens weggeschreven voor nadere analyse buiten het model (Blok 12). In Blok 11, tenslotte, heeft de gebruiker de mogelijkheid om terug te keren naar het eerste interactieblok, de keuzes te wijzigen en het model opnieuw te laten rekenen.

Alle output van het model is op PC6-niveau. Door de outputs van verschillende runs van het model te vergelijken en te analyseren worden de effecten van beleidskeuzes inzichtelijk, de gebruiker kan zo naar optimale combinaties van vraag- en aanbodzijdemaatregelen zoeken.

Figuur 1 Schematisch stroomschema van het model. De functionele beschrijving is gebaseerd op de blokknummers in deze figuur





2 Blok 2: Input bebouwing

Dit blok heeft als functie om alle bebouwingsgegevens in te lezen. De basislaag van het model wordt gevormd door de gegevens over de bebouwing in Nederland. Deze worden in dit blok ingelezen. Het model koppelt daar vervolgens de energiekentallen aan, zodat de energievraag per gebied kan worden uitgerekend.

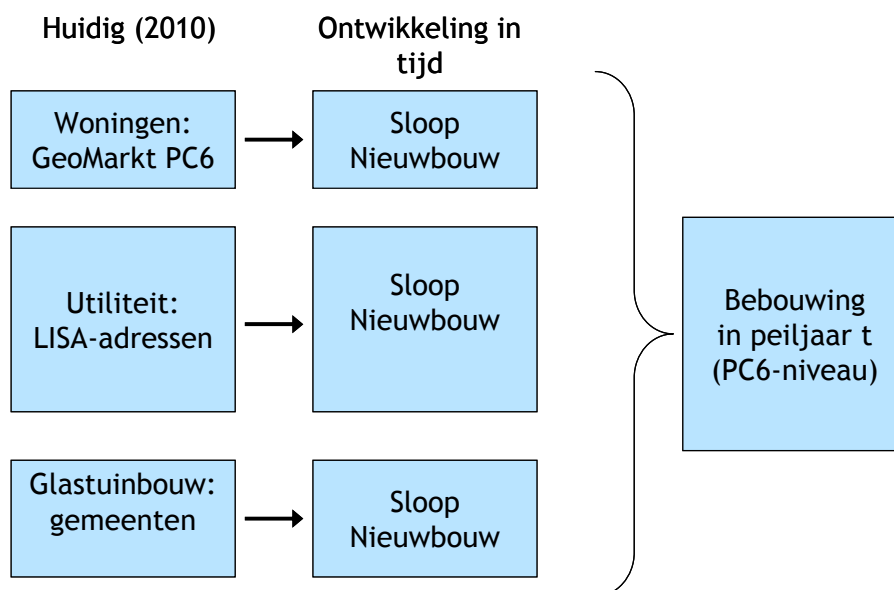
Het model leest gegevens in over de ruimtelijke verdeling van gebouwen in Nederland, op PC6-niveau.

De huidige verdeling in 2010 van woningen, utiliteit en glastuinbouw komt uit ingekochte basisbestanden. Daaraan toegevoegd worden gegevens over sloop en over nieuwbouw. Dit wordt buiten het rekensysteem gecombineerd tot een invoerbestand met daarin per peiljaar (2010, 2020, 2030, 2040, 2050) de bebouwing per soort op PC6-niveau. Per gebied (PC6) wordt ook het gebiedsoppervlak ingelezen.

Er worden meerdere varianten van dit invoerbestand gemaakt, voor verschillende ruimtelijke scenario's in Nederland, en ook voor de situatie dat er geen sprake is van sloop of van nieuwbouw. De gebruiker kan in het systeem opgeven welk specifiek invoerbestand hij wil 'aankoppelen'. Deze keuze wordt gemaakt in Blok 4 (Interactie). Het is vanuit het rekensysteem niet mogelijk om ruimtelijke invoergegevens te wijzigen, wel kunnen in Blok 4 extra beslisregels worden toegevoegd waarmee bijvoorbeeld slechts een deel van de bebouwing wordt meegenomen in de bepaling van de energievraag. De basissleutel voor die selectie moet dan al wel deel uitmaken van het datamodel van het ruimtelijk invoerbestand. Zie daarvoor Bijlage A.

Ten behoeve van volgende blokken wordt ook het oppervlak van elk PC6-gebied ingelezen.

Figuur 2 Schematische opbouw van de bebouwing in peiljaar t





3 Blok 2: Input energiegegevens

3.1 Inleiding

Dit blok heeft de functie om alle energiegerelateerde gegevens in te lezen.

Input wordt ingelezen voor de huidige situatie (peiljaar 2010), en voor de peiljaren 2020, 2030, 2040 en 2050. De input in dit blok staat in invoerbestanden en voor sommige gegevens als default bij de formules in Bijlage C, en bestaat uit:

- gegevens over de energievraag in de gebouwen en de opbouw van die energievraag;
- gegevens over de warmtecapaciteitsvraag;
- locatiegegevens van rest- c.q. aftapwarmtebronnen en relevante verdere gegevens van die bronnen;
- gegevens overige warmtebronnen;
- kosten/prijzen van energie en kostprijs van CO₂-emissies;
- CO₂-emissies van elektriciteit (aard)gas, en warmte (per bron);
- de relevante gegevens voor de rentabiliteitsberekeningen van warmtedistributie en WKO;
- potenties en kosten van energiebesparende technieken in de vorm van kostencurves, en van gebouwgebonden decentrale opwekking (zon-PV, zonneboilers, elektrische warmtepompen en micro-WKK);
- contourbestanden met bodemgeschiktheid voor geothermie (ja/nee), bodemgeschiktheid voor WKO (ja/nee), graaddagencorrectie;
- de gebieden met huidige warmteleveringsgebieden (en -netten)¹.

Deze gegevenssoorten worden hieronder nader beschreven.

3.2 Energievraagkentalen en kentalen voor energieaanbod op gebouwniveau

De volgende energievraagkentalen worden ingevoerd in het model:

1. Functionele energiebehoefte uitgesplitst in warmtevraag, koudevraag, elektriciteitsvraag en warmwatervraag per gebouw (zie Tabel 1):
 - a. Woningen (per woningtype, per bouwjaarklasse).
 - b. Utiliteit (per m² bvo, per type utiliteit, per bouwjaarklasse).
 - c. Glastuinbouw (per m², per type, per bouwjaarklasse).

Op de functionele behoefte van woningen en utiliteit wordt ook een 'knop' in het systeem opgenomen waarmee de gebruiker een verlaging daarvan kan doorvoeren (bij handmatige wijze van het modelleren van bijvoorbeeld prijselasticiteit of van gedragscampagnes)². Door de functionele behoefte in toekomstige peiljaren te verlagen kan de gebruiker van het model een autonome efficiencyverbetering simuleren.

¹ In het 'rekenmodel rentabiliteit warmte' worden huidige rest/aftapwarmtebronnen gewoon doorgerekend alsof er nog geen warmtelevering plaatsvindt. Vervolgens wordt de output grafisch (buiten het model) vergeleken met de werkelijke huidige situatie.

² In Vesta kan de functionele energiebehoefte worden aangepast door schaling (basiswaarde = 1.0) van warm water, koude, elektrische apparatuur en ruimteverwarming in DragerSpecifiekeOpties.



De functionele energiebehoefte staat voor de energievraag die de bewoners van het gebouw hebben. Deze vertaalt zich naar een vraag 'aan de energiemeter' via de efficiency van het gebouw en de efficiency van de installatie/apparatuur.

Daarnaast wordt een 100x100 m² gridbestand met zgn. graaddagencorrectie ingelezen. Er wordt default ruimtelijk gecorrigeerd met graaddagencorrectie. De correctiefactor moet worden toegepast op de functionele vraag ruimteverwarming in de gebouwen, en dient om te kunnen corrigeren voor de ruimtelijke verdeling van de gemiddelde jaartemperatuur in Nederland en voor de toekomstige geleidelijke temperatuurstijging in de peiljaren. Het aantal graaddagen per jaar in een gebied is rechtevenredig met de jaarvraag naar ruimteverwarming. De inputkentallen per gebouwtype daarvoor zijn gebaseerd op het langjarig Nederlands gemiddelde zoals gemeten in De Bilt. Zie PBL (2011) voor nadere informatie.

2. Gebouwefficiency en installatie-efficiency per gebouw voor het huidige jaar³ (2010) en vier zichtjaren: 2020, 2030, 2040 en 2050 vanuit BAU⁴ en voor zowel de warmte⁵, de koudevraag als de warmwatervraag, gedifferentieerd naar energiedrager: elektriciteit, gas, warmte (zie Tabel 1). NB: Bij woningen wordt ook de huidige energie-index en bijbehorend label ingevoerd, deze worden echter niet *berekend* in het model.

a. Woningen (per woningtype, per leeftijdscategorie).

b. Utiliteit (per m², per aard utiliteit).

c. Glastuinbouw (per m², per type).

De efficiency voor warm waterinstallatie en ruimteverwarmingsinstallatie is als echte fysieke efficiency gemodelleerd, de gebouwefficiency is als *indexgetal* gemodelleerd, met indexgetal = 1,0 voor de huidige bebouwing.

NB: Per woning, m² utiliteit en m² glastuinbouw wordt ook de aansluitcapaciteit voor warmtelevering ingevoerd. Deze is nodig voor de kostenbepaling (i.e. investeringen) en afzetprijs van eventuele warmtelevering.

³ NB: Mocht er naderhand voortschrijdend inzicht zijn over de huidige kwaliteit van gebouwen dan kunnen de invoermatrices daar op worden aangepast, bijvoorbeeld door een andere (verbeterde) invoerset in te lezen.

⁴ BAU: Business as Usual.

⁵ NB: Het energiegebruik voor koken wordt niet separaat opgevoerd in het model vanwege de geringe omvang van dit verbruik (bij gas: < 100 m³/jaar), en koken op gas of elektrisch koken afhankelijk is van leefstijl en alleen met veel aannames in een model te vatten.



Tabel 1 Modelinput per type gebouw. Functionele vraag, gebouwefficiency en apparatuur/installatie-efficiency bepalen gezamenlijk 'de vraag aan de netten'

	Warm water			Koude ⁶	Elektriciteit apparatuur	Ruimteverwarming		
	Gas	Warmte	Elek.			Gas	Warmte	Elek ⁷ .
Functionele vraag	V_WW			V_KOU	V_APP_ELEK	V_RV		
Efficiency gebouw	N.v.t.			EG	N.v.t.	EG		
Efficiency apparatuur c.q. installatie	E_WW_G	E_WW_W	E_WW-E	E_KOU_E	E_APP_E	E_RV_G	E_RV_W	E_RV_E

NB: Bij woningen wordt daarnaast ook de energie-index en bijbehorend label ingevoerd, die wordt echter niet berekend in het model.

3. Aanbodpotenties op gebouwniveau, ter berekening van de lokale energieproductie per gebied (indien opgegeven als keuzeoptie door de gebruiker):
 - a. Zon-PV (beschikbaar dakoppervlak per type gebouw (m²), jaarproductie met zon-PV per m² dakoppervlak (kWh/jr)), kostprijs.
 - b. Zonneboiler (beschikbaar dakoppervlak per type gebouw (m²)); ervan uitgaand dat de zonneboiler alleen voor warmtapwaterproductie in het betreffende gebouw wordt gebruikt, jaarproductie per m² dakoppervlak (GJ/jr), kostprijs.
 - c. Elektrische warmtepomp⁸ (eWP) (effect op installatie-efficiency, kostprijs, extra benodigde elektriciteitsinzet). De extra elektriciteitsinzet wordt bepaald uit:
 - toename el.vraag = (warmtevraag aan eWP/COP) [GJe/jr];
 - waarbij default COP = 400%;
 - en (warmtevraag aan eWP) = func.vraag warmwater + (func.vraag ruimteverwarming/eff.gebouw) [GJth/jr].
 - d. De elektrische warmtepomp is in het model inzetbaar voor nieuwbouw van woningen en utiliteit. Voor de bestaande bouw is dit niet gemodelleerd mede omdat de investeringskosten voor het benodigde lage temperatuursysteem relatief hoog zijn. Ook bij glastuinbouw is de inzet van de elektrische warmtepomp niet mogelijk in het model.
 - e. Micro-WKK (elektriciteitsproductie (GJe/jr) en benodigde gasinzet (GJgas/jr) per geleverde eenheid warmte (GJth/jr)), in te zetten in de woningbouw.

⁶ In de koudevraag van gebouwen wordt in het model voorzien door elektrische compressiekoelers, tenzij het gebouw wordt aangesloten op WKO.

⁷ Elektrische verwarming van ruimten (*en* warm water) wordt in het model alleen toegepast bij inzet van een elektrische warmtepomp, het gebouw wordt dan 'all electric' (is in het model alleen een optie bij nieuwbouw).

⁸ Voor nieuwbouw is er van uitgegaan dat het gebouw zodanig is gebouwd dat toepassing van elektrische warmtepompen standaard mogelijk is i.t.t. bij bestaande bouw. De elektrische warmtepomp is gemodelleerd onder 'lokale energieproductie' in plaats van onder efficiencyverbetering, omdat het gebouw 'all electric' wordt en er ook een verhoging van de elektriciteitsvraag mee samenhangt.



3.3 Invoerbestand restwarmtelokaties

Een belangrijk onderdeel van het model vormt de afweging of warmte-distributie rendabel toe te passen is. Hiertoe wordt onder andere een bestand met restwarmtelokaties ingelezen.

Vanuit een invoerbestand worden huidige en toekomstige restwarmtelokaties ingelezen in het systeem. De gegevens per restwarmtebron betreffen:

- ID ter identificatie (string);
- locatie (coördinaten);
- jaartal ingebruikname (i.e. reeds beschikbaar in 2010, of jaartal in de toekomst);
- productiekostprijs van de warmte (€/GJ) (per peiljaar);
- eenmalige investeringskosten in de uitkoppeling van de restwarmte (€/kW);
- maximale (en minimale) capaciteit van de levering (MW);
- CO₂-emissie per geleverde GJ warmte vanuit de bron.

In het systeem moet op elk punt (locatie) een restwarmtebron kunnen worden opgevoerd. De begrenzing is de Nederlandse grens. Eventuele restwarmte-productielocaties die net over de grens liggen⁹ worden op de grens opgevoerd in het invoerbestand, waarbij de transportkosten tussen werkelijke locatie en het punt op de grens worden opgenomen in de eenmalige investeringskosten voor de uitkoppeling van de warmte.

Huidige gebieden met warmtedistributie worden in een separate grafische laag opgenomen. De huidige restwarmtebronnen worden doorgerekend alsof er nog geen restwarmtelevering plaatsvindt. De uitkomsten kunnen vervolgens grafisch vergeleken worden met de huidige situatie.¹⁰

3.4 Inputgegevens overige warmtebronnen

Het systeem werkt, naast rest/aftapwarmte van bestaande of toekomstige elektriciteitscentrales, AVI's en industrieën, met de volgende warmte-aanbodopties:

- geothermie;
- WKO;
- wijk-WKK.

Deze hebben, in tegenstelling tot rest/aftapwarmte, de eigenschap dat ze op elk gewenst punt kunnen worden ingezet, zonder transportafstand, *mits* de ondergrond daarvoor geschikt is i.g.v. geothermie en WKO. Per bron van deze types wordt daarom opgegeven in het systeem:

- de productieprijs van warmte (€/GJ);
- de eenmalige investeringskosten in de bron (€).

In tegenstelling tot restwarmte zijn deze aanbodopties niet gebonden aan een maximale capaciteit.

⁹ Zeer beperkt aantal, wellicht nul, maar het model moet het als mogelijkheid aankunnen.

¹⁰ NB: eventueel worden in een vervolgfase van het model de bestaande WarmteOverdracht-Stations (WOS), of de hartpunten van huidige warmteleveringslocaties, opgevoerd als bron (met omvang aan nog beschikbare capaciteit) voor het doorrekenen van warmtelevering aan naburige gebieden. In dat geval wordt de huidige situatie dus als uitgangspunt genomen, en moeten de betreffende PC-gebieden met huidige warmtelevering dus ook op die manier gekenmerkt worden in het model.



Voor geothermie en WKO is er de beperking dat de ondergrond in Nederland niet overal geschikt is. Er wordt met gebiedscontouren in het systeem opgegeven waar geothermie en WKO fysiek beschikbaar is. In het warmte-rentabiliteitsrekenmodel kan een geothermiebron binnen die contouren op afstand nul worden opgevoerd, het systeem moet ook rekening houden met de mogelijkheid dat geothermie naar een locatie buiten die contour wordt getransporteerd. Het systeem moet in dat geval aan de kosten van dat betreffende geothermieproject dan de investeringskosten voor het warmtetransport toevoegen.

Voor WKO is in de eerste fase de keuze gemaakt om dit alleen binnen de contour toe te staan, en geen transportnet toe te staan vanuit een WKO-bron.

3.5 Kosten en energieprijzen

Deze gegevens zijn nodig voor de rentabiliteitsberekeningen aan de verschillende warmteopties (Blok 6).

De kostencomponenten (investeringen, etc.) voor warmtelevering, deze zijn uitgebreid beschreven, inclusief defaultwaardes, in Bijlage C. De kosten zijn onderscheiden naar

- a. Aansluitkosten van woningbouw.
- b. Aansluitkosten van utiliteitbouw.
- c. Aansluitkosten van glastuinbouw.
- d. Alle onderdelen van het distributienet warmte (en WKO).
- e. Kosten voor het transportnet voor de warmte (prijs per km rechte afstand; gedifferentieerd naar capaciteit).
- f. Kostprijs van de warmte bij de warmtebron.

De inkoopkosten van (rest)warmte worden uit een invoerbestand ingelezen in het model. De defaultwaardes staan in Tabel 2. De gebruiker kan desgewenst een ander invoerbestand aankoppelen met eigen gegevens. Elk type restwarmtebron kent een eigen bedrag per kWth aan eenmalige investering voor de uitkoppeling van de restwarmte. Om geen onrealistisch kleine uitkoppelingen te genereren in het model is er een ondergrens aan uitkoppelingsinvestering aan elk type verbonden. Verder wordt rekening gehouden met een jaarlijks percentage aan onderhoud op de uitkoppelingsinvestering, en met de variabele kostprijs van een GJ warmte. Deze laatste zijn per peiljaar bepaald, in Tabel 2 is alleen peiljaar 2010 opgenomen.



Tabel 2 Invoerbestand met defaultwaardes voor de kosten per restwarmtebron¹¹ waarmee in het model rekening wordt gehouden

Typebenaming	Investering	Ondergrens	Ondergrens	Vaste kosten	Variabele kosten
(Sleutelveld)	(€/kW)	(MWth)	€	(% van inv.)	Euro_per_GJwarmte_2010
Type	K_kW	MWth_min	K_min	JaarKosten	K_GJ10
STEG	167	10,0	1.670.000,00	5%	4,94
Kolen	167	20,0	3.340.000,00	5%	2,38
Gasmotor	1.692	0,5	812.160,00	1%	3,71
Gasturbine	180	6,0	1.080.000,00	5%	4,94
Conventioneel	180	6,0	1.080.000,00	5%	4,94
Industrie	250	6,0	1.500.000,00	5%	0,000237
Raffinaderij	250	6,0	1.500.000,00	5%	0,000237
KVSTEG (kolen-vergasser-STEG)	167	6,0	1.002.000,00	5%	2,38
AVI	167	3,0	501.000,00	5%	2,67
BMC (biomassacentrale)	167	3,0	501.000,00	5%	5,10
Kern (kerncentrale)	-	-	-	5%	0,000237
Wijk-WKK	1.692	0,5	812.160,00	1%	3,71
Geothermie	1.830	3,0	5.490.000,00	1%	0,000237

Daarnaast worden in het model uit een invoerbestand invoergegevens ingelezen van de energieprijzen en CO₂-prijs voor elk jaar, per soort afnemer. De gebruiker kan desgewenst een ander invoerbestand aankoppelen met eigen gegevens. In de eerste fase van het model wordt in de berekeningen de energieprijs constant in de tijd gehouden en gelijk aan de waarde in het gekozen peiljaar.

Tabel 3 Defaults voor de energieprijzen in het model, prijzen zijn in Euro_2008 per kWh resp. m³, voor kleingebruikers incl. BTW. E is elektriciteit, G is gas

Peiljaar	Kleingebruik		Middelgrootgebruik ¹²		Glastuinbouw	
	E	G	E	G	E	G
2010	0,2287	0,4303	0,1236	0,3418	0,1151	0,2268
2020	0,3000	0,4566	0,1902	0,3638	0,1345	0,2488
2030	0,3067	0,4566	0,1958	0,3638	0,1401	0,2488
2040	0,3067	0,4566	0,1958	0,3638	0,1401	0,2488
2050	0,3067	0,4566	0,1958	0,3638	0,1401	0,2488

Bron: ECN.

¹¹ NB: voor investeringen in 'actieve' bronnen (i.p.v. Investerings in uitkoppeling van een restwarmtebron) is de gehele investering in de bron bepaald. In geval daarmee ook elektriciteit wordt opgewekt met de bron, zoals bij wijk-WKK, is de opbrengst daarvan verrekend in de warmteprijs, en wordt de jaarlijkse omvang van die elektriciteitsproductie berekend i.v.m. het effect daarvan op de landelijke productie (die wordt immers minder, en daardoor ook de CO₂-emissie van het 'landelijk centralepark').

¹² In het model is de functionele mogelijkheid opgenomen om onderscheid te maken in energieprijzen voor elektriciteit en gas naar drie subcategoriën middelgrote gebruikers.



De warmteverkooprijzen in het model zijn afhankelijk van de gasprijzen (en bij kleingebruik in beperkte mate ook van de elektriciteitsprijs, conform de prijsadviesformule voor warmtelevering aan kleingebruikers van brancheorganisatie EnergieNed), zie de betreffende formules in Bijlage C.

3.6 Gegevens over potenties en kostprijzen van vraagzijdebepanking

De functie van deze gegevens is dat de gebruiker kan kiezen om aan de energievraagzijde energiebesparende maatregelen door te voeren. Het betreft kosten voor verbeteren van de gebouwefficiëntie, van de installatie-efficiëntie voor warmte/koudevraag en warmwater, en gedifferentieerd naar energiedrager elektriciteit, gas, warmte. De gegevens worden uit een invoerbestand ingelezen. De gebruiker kan desgewenst een ander invoerbestand aankoppelen met eigen gegevens.

In het model wordt een maximale efficiëntieverbetering opgevoerd met bijbehorende kosten. De gebruiker kan er voor kiezen een deel van die efficiëntieverbetering door te voeren; het model voert dan een lineaire interpolatie op de opgegeven kosten uit.

Het invoerbestand is gedifferentieerd naar:

- woningen (per woningtype, per leeftijdscategorie);
- utiliteit (per m² bvo, per type utiliteit);
- glastuinbouw (per m², per type).

Voor de woningbouw zijn de defaultwaardes voor de efficiëntieverbeteringen ontleend aan de Voorbeeldwoningen van Agentschap NL. Voor utiliteitbouw zijn deze gegevens afgeleid van die van rijwoningen, zie PBL (2011). Voor glastuinbouw waren nog geen goede gegevens beschikbaar, in het invoerbestand zijn de mogelijke efficiëntieverbeteringen voor glastuinbouw daarom op nul gezet. Functioneel is deze mogelijkheid gewoon aanwezig.

Tabel 4 Voorbeeld van de defaultwaardes efficiëntieverbetering uit de invoertabel bestaande woningbouw

Type woning	Bouwjaar	Gebouweff.	Kosten (€)	Ruimteverw. eff.	Kosten (€)
Rijtjeshuizen/eengezins	voor 1800	2,72	11.296	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	1800<=1900	2,72	11.296	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	1900<=1920	2,72	11.296	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	1920<=1940	2,72	11.296	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	1940<=1960	2,58	5.658	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	1960<=1970	2,51	6.823	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	1970<=1980	1,55	5.080	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	1980<=1990	1,58	4.418	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	1990<=1995	1,30	2.786	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	1995<=2000	1,30	2.786	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	2000<=2010	1,00	0	1,07	3.615
Rijtjeshuizen/eengezins	Onbekend	2,58	5.658	1,07	3.615



3.7 Contourbestanden geothermie en WKO¹³

In Blok 1 wordt een geografisch bestand ingelezen waarin met contouren wordt aangegeven of er binnen dat contour geothermie mogelijk is of niet (de keuze is: ja/nee), en een contourbestand over de fysieke mogelijkheid voor WKO (de keuze is: ja/nee)¹⁴.

3.8 Gegevens huidige warmtedistributiegebieden en -netten

Ingelezen worden de postcode 4-gebieden waar op dit moment (2010) warmtedistributie plaatsvindt. In de eerste fase van het project wordt dit alleen geografisch vergeleken met de output uit het model.

¹³ In Blok 1 wordt ook een geografisch bestand met grondsoorten ingelezen, dit ten behoeve van een eventuele differentiatie van investeringen in warmteleidingen. In fase één wordt echter zonder differentiatie gewerkt.

¹⁴ In een volgende fase kan hier desgewenst nader worden gedifferentieerd, met meer en minder geschikt voor WKO, waarbij de investeringskosten bij 'minder geschikt' hoger zijn.



4 Blok 3: Overige input

Naast de bebouwingsdata en de energiegerelateerde input heeft het model ook nog andere gegevens nodig. Die worden in dit blok ingelezen.

4.1 Draagvlakindicatoren

Het model kan al rekening houden met het *effect* van draagvlak en kansrijkheid, dit is ingebouwd in de functionaliteit van het model. Op basis van bepaalde karakteristieken kunnen eindgebruikers worden aan- of uitgezet in de modelberekeningen.

In een vervolgfase wil PBL ook berekende draagvlak- en kansrijkheidsgegevens kunnen presenteren en combineren met de outputgegevens van het systeem zoals al bepaald voor de eerste fase. Het beeld daarbij is dat 'draagvlak' en 'kansrijkheid' separate geografische lagen zijn, die grafisch gecombineerd kunnen worden met de andere outputgegevens. In het datamodel moet daar nu al rekening mee gehouden worden.

In de eerste fase zijn de volgende inputgegevens vanuit het GeoMarktbestand in te lezen:

- inkomen (€/jaar);
- woningwaarde (WOZ, €);
- eigendomsverhouding (huur versus koop).

In een vervolgfase kan dit worden uitgebreid met andere inputparameters zoals leefstijl en samenstelling van huishoudens.

4.2 Overige input

Algemene inputgegevens zoals de rentevoet voor discontering van investeringen in de rentabiliteitsberekeningen en de bepaling van de maatschappelijke- en eindgebruikerskosten. De maatschappelijke en sectorale rentevoet wordt gegeven in Paragraaf 9.5.





5

Blok 4: Interactie

Dit blok heeft als functie dat de gebruiker hier kan kiezen of de ingelezen defaults gehanteerd worden of dat andere keuzes of gewijzigde cijfers worden gebruikt. Het is mogelijk het model te ‘runnen’ op basis van alle defaults.

De invoergegevens bevatten sets van verschillende bebouwings- en prijs-scenario's. Ook kan de gebruiker kiezen om bijvoorbeeld de energievraag te reduceren door energiebesparende maatregelen toe te passen of lokale energieproductie toe te passen. De energie-invoergegevens die als default worden ingelezen kunnen ook worden gewijzigd.

In dit blok heeft de gebruiker de mogelijkheid om:

1. Te kiezen welke set voor de ruimtelijke ontwikkeling gebruikt moet worden (selectie uit de inputdatasets die in Blok 1 zijn ingelezen).
2. Te kiezen welk scenario voor energieprijsontwikkeling gebruikt moet worden.
3. Te kiezen of er graaddagencorrectie op de functionele behoefte ruimteverwarming moet worden uitgevoerd en met welk correctiefactorenbestand.
4. De voorkeursvolgorde voor toewijzen van warmteopties op te geven.
5. Ingelezen gegevens uit Blok 2 en 3 te variëren, zoals bijvoorbeeld de efficiency van gebouwen of de energievraag van de bewoners; zonder wijzigingen hanteert het model de defaultwaardes zoals ze in Blok 2 zijn ingelezen. De gegevens in het invoerbestand wijzigen niet, alleen de actuele waardes waar het model mee rekent wijzigen. De gebruiker heeft de mogelijkheid om met een ‘reset’ terug te vallen op de defaultwaardes.
6. Een gebied te selecteren en alleen voor dat specifieke gebied, bijvoorbeeld een provincie, scenario's te kiezen en gegevens te wijzigen.¹⁵

De gebruiker krijgt ook met ‘knoppen’ de mogelijkheid om:

- aan te vinken of huurwoningen en/of koopwoningen in de analyse worden meegenomen;
- de functionele vraag in gebouwen te reduceren of juist te verhogen (knop met continue verdeling 0-200%; 100% is de defaultwaarde in het model);
- te kiezen of investeringen in warmtenetten grondsoortafhankelijk zijn of niet (default is: niet (invoergegevens hiervan zijn nog niet voorhanden));
- te kiezen of een kostenvoordeel van de combinatie geothermie en WKO wordt meegenomen of niet (default is: niet, nog geen gegevens voorhanden).

Het systeem is zo ontworpen dat niet alleen vooraf gedefinieerde keuzes als ‘knop’ kunnen worden uitgevoerd, maar dat de gebruiker ook zelf bepaalde selectieregels kan toevoegen (‘fluïde’ methode).

Als voorbeeld hierbij: de gebruiker wil bijvoorbeeld alleen de rijwoningen in de analyse meenemen. Die optie is niet als ‘knop’ aangemaakt. De gebruiker voegt dan een zelf opgegeven selectieregel toe. Uiteraard moet de basis voor die selectie dan in de onderliggende data wel aanwezig zijn.

¹⁵ Een manier om dit mogelijk te maken is het toevoegen van een kenmerk ‘provincie’ aan PC4-codes. In een ruimtelijke tabel kan dan worden aangegeven of de provincie wel/niet meedoet.



De ontwikkelingen in de tijd van bouwvolume, sloop en van ontwikkeling van energieprijzen moet door de gebruiker elk met een ‘vinkje’ aan of uit te zetten zijn. In geval van nieuwbouw betekent dat, dat een andere ruimtelijke dataset wordt geselecteerd. Sloop kan wel gevarieerd worden binnen de aanwezige ruimtelijke dataset.

5.1 Energiescenario's vraag- en aanbodzijde

De gebruiker moet vraagzijde- en aanbodzijdescenario's voor energie kunnen kiezen. Dat kan zijn: Business as usual (BAU), maar dat kan ook een actief beleid zijn met bijvoorbeeld verdergaande vraagzijde maatregelen dan in BAU.

Voor vraagzijde worden knoppen ingebouwd waarmee de gebruiker de functionele energievraag kan verlagen of verhogen, en de gebouwefficiëntie en de installatie/apparatuurefficiëntie kan verbeteren. In de invoerdata zijn de bijbehorende kostencurves opgenomen.

NB: In het model is ervoor gekozen om de optie zonneboilers in te zetten als ‘lokale energieproductie’.

Voor aanbodzijde (alleen voor warmte) geldt dat de gebruiker warmteopties kan aan- of uitzetten, en de onderlinge prioritaire volgorde van toepassing kan opgeven.

NB: Alleen van warmteopties zoals rest/aftapwarmte, geothermie en WKO wordt in Blok 6 de rentabiliteitsafweging ten opzichte van de default ‘gas’ gemaakt. Kiest de gebruiker voor eerste prioriteit voor gebouwopties als micro-WKK of elektrische warmtepomp dan zal het model alle gebieden¹⁶ aan die optie toekennen, omdat er geen economische afweging voor die opties wordt gemaakt. De kosten van die opties worden wel bepaald in het model. De gebruiker kan op die manier de effecten analyseren ten opzichte van andere keuzes.

¹⁶ Immers: het model werkt op PC6-niveau, niet op gebouwniveau.



6 Blok 5: Bepaling energievraag en lokale energieproductie per gebied

6.1 Inleiding

De functie van dit blok is dat, op basis van de door gebruiker ingevoerde keuzes, de energievraag en de lokale energieproductie (bijvoorbeeld zonneboiler) per PC6-gebied wordt bepaald. Dit wordt gedaan door de bebouwingsgegevens te combineren met de energiekentallen. Op basis van de output van dit blok wordt in het volgende blok de rentabiliteit van warmte-distributie berekend.

6.2 Werkwijze

Met behulp van de kentallen en de door de gebruiker opgegeven keuzes voor een eventuele energievraagbesparing en lokale productie (bijv. zonneboiler en/of zon-PV) wordt de energievraag in de bebouwing bepaald, per PC6-gebied, per energiedrager en per soort bebouwing. Dit wordt vervolgens intern in het systeem ook getotaliseerd naar PC4-gebied ten behoeve van de berekeningen aan grootschalige restwarmte, geothermie en wijk-WKK. De berekeningen van WKO vinden plaats voor de energievraag van woningen en utiliteit apart, op PC6-niveau.

NB: Voor warmtedistributie is er interactie tussen vraag en aanbod, omdat de omvang van de vraag medebepalend is voor de rentabiliteit van warmte-distributie. Isoleren van gebouwen reduceert zo bijvoorbeeld het potentieel aan rendabele warmteprojecten. De keuze voor aanschakelen van vraagzijde-maatregelen heeft de gebruiker gemaakt in Blok 3 (Interactie).

Tot de warmtevraaggegevensbepaling behoort eveneens de aansluitwaarde warmte (en koude). Voor woningen is die onderscheiden naar woningtype en bouwjaarcategorie. Voor de utiliteitsbouw wordt de aansluitwaarde bepaald met behulp van de ingevoerde gegevens (kW/m^2 bvo) per type, zie ook Bijlage A en Bijlage C. De aansluitwaarde is bepaald in kW/m^2 bvo per utiliteitssector en kW/m^2 voor glastuinbouw.

PS: In Blok 7 krijgt de gebruiker nog de mogelijkheid om alsnog de energievraag te wijzigen en/of zonneboilers toe te passen; met die in dat blok gewijzigde energievraaggegevens wordt door het model dan alleen nog een herberekening van de rentabiliteit van de warmtelevering uitgevoerd, maar niet meer een herbepaling van de toewijzing van warmteopties per gebied.





7 Blok 6: Rekenmodule warmterentabiliteit

7.1 Inleiding

De functie van dit blok is dat hier wordt bepaald of een geprioriteerde warmtedistributieoptie economisch rendabel is in een gebied. Is dat het geval, dan wordt dat gebied vervolgens aan die optie toegewezen. Zo niet, dan blijft de default van kracht: gas.

Dit is een zeer belangrijk blok in het systeem. De default voor de warmtevoorziening is gasdistributie. In deze module wordt, op basis van de door de gebruiker gemaakte keuzes en invoer, bepaald waar warmtedistributie rendabel is en waar niet. Op basis van de door de gebruiker opgegeven prioritaire volgorde worden die gebieden vervolgens toegewezen aan een warmtebron.

Als bijvoorbeeld de eerste prioriteit ligt bij WKO dan wordt eerst per PC6-gebied bepaald waar WKO rendabel is en aldus de voorkeur krijgt. Daarna wordt met de resterende vraag op PC4-niveau bepaald of de andere warmteopties rendabel zijn.

Indien de eerste prioriteit bij restwarmte of geothermie wordt gelegd dan worden gehele PC4-gebieden toegewezen aan die opties en is daarbinnen geen ruimte meer voor WKO.

Het rekensysteem moet dus *op PC6-niveau* administreren welke warmtevoorziening is toegewezen. De default is (aard)gaslevering voor alle gebieden.

NB: Pas op: bij wijk-WKK wordt de gasmotor (en de piekkel) gevoed met gas, dat is van belang voor de CO₂-emissies. Ook bij restwarmtelevering en geothermie wordt de piekkel in het centrale overdrachtstation in de wijk gevoed met gas.

Details over de gebruikte formules zijn opgenomen in Bijlage C. Het model is, met de nodige aanpassingen, ontleend aan het voormalige CE-rekenmodel voor grootschalige restwarmtelevering. Dit model is beschreven in:

CE, 1993
F.J. Rooijers, G.C. Bergsma, L.B.M.M. Boels, J. Verlinden
Grootschalige warmtelevering in de bestaande bouw
Delft : CE Delft, 1993

en

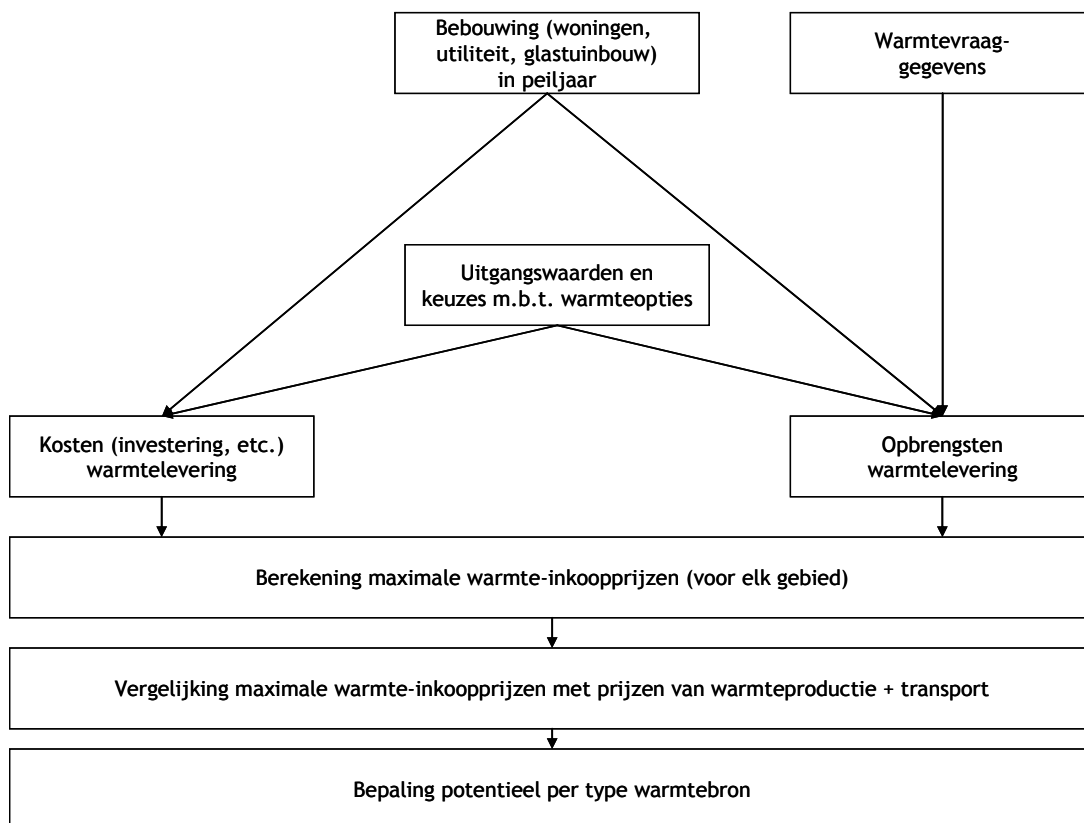
CE, 1994
F.J. Rooijers, G.C. Bergsma, J. Verlinden
Grootschalige warmtelevering in de nieuwbouw en de glastuinbouw
Delft : CE Delft, 1994



7.2 Werkwijze

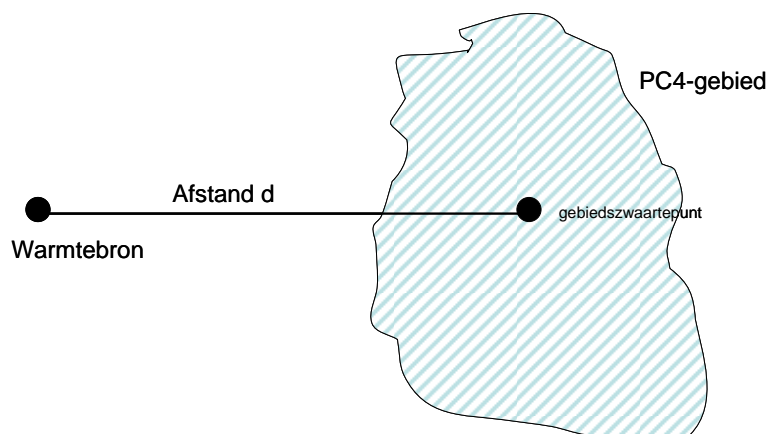
Het systeem rekent per gebied eerst de maximale opbrengst van warmtelevering uit, en de benodigde investeringen en andere kosten voor een warmtedistributienet in het gebied. Op basis daarvan wordt een maximale warmte-inkoopprijs voor het gebied bepaald. Die wordt vervolgens vergeleken met de diverse aanbodmogelijkheden. Het stroomschema voor de rentabiliteitsafwegingen is weergegeven in Figuur 3, waarbij de bebouwingsgegevens, de warmtevraaggegevens en de uitgangswaarden al eerder in dit functioneel ontwerp zijn behandeld.

Figuur 3 Rekenschema rentabiliteitsafwegingen warmtedistributie



Per PC-gebied wordt op basis van de invoergegevens bepaald wat de maximale warmte-inkoopprijs mag zijn. Voor grootschalige restwarmte en geothermie is dat PC4-niveau, voor WKO is dat PC6-niveau. Deze wordt vervolgens vergeleken met de kosten (investeringen, etc.) om de warmte in het gebied te brengen. Voor restwarmtebronnen worden deze laatste kosten bepaald door de productiekosten van de warmte plus de transport- en distributiekosten. Voor nieuwe bronnen die specifiek voor het gebied worden geïnvesteerd, zoals WKO, zijn de transportkosten nihil vanuit de aanname dat de nieuwe bron zo optimaal mogelijk in het gebied zal worden gepositioneerd. Zie Bijlage B voor een schema welke uitgaven en inkomsten worden meegenomen in de rentabiliteitsbepalingen.

Figuur 4 Schematische weergave van restwarmtebron en warmteleveringsgebied



Een postcodegebied op het niveau van PC4 vormt een goed gebied voor doorrekenen van de rentabiliteit van grootschalige warmtelevering. Zo'n postcodegebied is in het algemeen monofunctioneel, volgt grote barrières als waterwegen en vormt voor de woningbouw in het algemeen een homogene woonwijk. Per onderscheiden gebied worden de opbrengsten en kosten van grootschalige warmtelevering berekend op basis van aantallen gebouwen, warmtebehoefte per gebouw, aansluitdichtheid en aansluitwaarde per gebouw. Aan deze gegevens worden kengetallen voor de opbrengsten en kosten van warmtedistributie gekoppeld. De opbrengsten minus de kosten resulteren per warmteleveringsgebied in een prijs waarvoor warmte voor dat warmteleveringsgebied kan worden ingekocht bij kostendekkende warmtelevering: de maximale warmte-inkoopprijs.

De berekende maximale warmte-inkoopprijs wordt vervolgens vergeleken met productieprijzen. De productieprijzen zijn de prijzen van warmteproductie bij inzet van verschillende typen productie-eenheden. Per warmteleveringsgebied wordt op basis van de warmtevraag bepaald of een productie-eenheid voor warmtelevering in aanmerking komt; in het door de gebruiker geselecteerde aanbodscenario wordt de prioritaire volgorde van inzet van de verschillende typen warmteproductie bepaald. Kostendekkende warmtelevering is mogelijk als de maximale warmte-inkoopprijs hoger is dan de productieprijs.

De toewijzing van gebieden aan een specifieke bron gaat in volgorde van maximale opbrengst per eenheid warmtecapaciteit, omdat de warmtecapaciteit van de bron uiteindelijk de limiterende factor is.

Samengevat worden de volgende stappen doorlopen:

1. Berekening van de opbrengsten van warmtelevering per warmteleveringsgebied.
2. Berekening van de kosten van warmtedistributie per warmteleveringsgebied.
3. Berekening van de maximale warmte-inkoopprijs per warmteleveringsgebied.
4. Tenslotte worden de maximale warmte-inkoopprijzen vergeleken met de productieprijzen van warmte voor de verschillende opties; de gebieden worden vervolgens toegewezen op basis van de door de gebruiker bepaalde prioritaire volgorde (= aanbodscenario). Per restwarmtebron-ID administreert het rekensysteem de toegewezen warmtecapaciteit (MWth). Als de toe te wijzen capaciteit groter is dan de maximale capaciteit van de bron dan wijst het systeem de meest rendabele afzetgebieden toe aan die

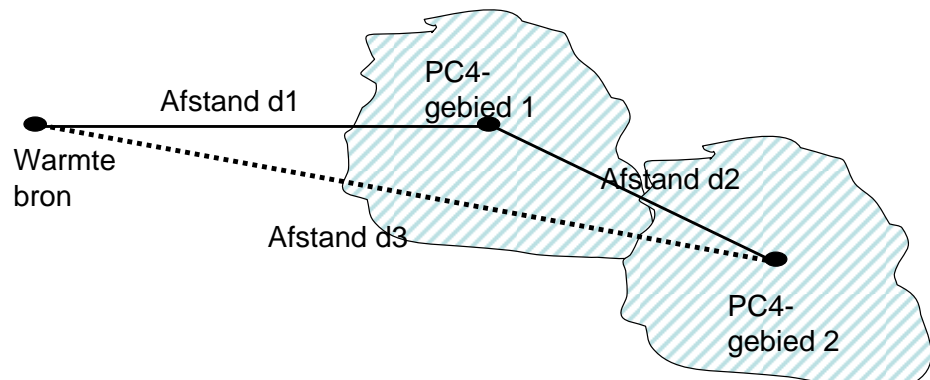
bron. Per gebied administreert het rekensysteem voor elk gebied wat de toegewezen warmtevoorziening is, en in geval van warmtelevering ook vanuit welke bron.

7.3 Aaneenrijgen van PC4-gebieden t.b.v. warmtelevering: iteratieslagen

Het is mogelijk dat een gebied 1 dat dicht bij een restwarmtebron op afstand d_1 ligt rendabel is voor warmtedistributie vanuit die bron, terwijl een verder weg gelegen gebied 2 op zich kansrijk is voor warmtedistributie, maar dat de investeringen in het warmtetransport over afstand d_3 vanuit de restwarmtebron te hoog worden om rendabele levering in dat tweede gebied mogelijk te maken. Het zou zo kunnen zijn dat via doortrekken van de warmtetransportpijp vanuit het eerste naar het tweede gebied, over afstand d_2 , het gebied 2 wel rendabel op warmte kan worden aangesloten. Onder de randconditie dat de warmtebron voldoende capaciteit heeft om beide gebieden van warmte te kunnen voorzien.

De enkelvoudige analyse (i.e. steeds 1 gebied, vanuit een warmtebron) levert dus een *ondergrens* van het potentieel voor rendabele warmtelevering. Vanuit o.a. het voormalige CE-warmterekenmodel weten we dat de enkelvoudige analyses op PC4-niveau leiden tot aanzienlijke potentiëlen voor rendabele restwarmtelevering vanuit bestaande restwarmtebronnen (300 tot 1.000 PC4-gebieden, afhankelijk van prijsscenario).

Figuur 5 Schematische weergave van het aaneenrijgen van warmteleveringsgebieden



Het model moet nu in een volgende iteratieslag vanuit gebied 1 bepalen wat de transportafstand naar gebied 2 is, en vervolgens of warmte vanuit de bron rendabel geleverd kan worden in gebied 2. Daartoe worden de productiekosten van de warmte bij de bron meegenomen, de transportpijp vanuit gebied 1 naar gebied 2, en de *meerkosten* van de grotere transportcapaciteit die nodig is voor het transport naar gebied 1. De investeringsgetallen voor warmtetransportpijpen worden gedifferentieerd naar capaciteit ingelesen in het model.

Keuze van puntbron

Voor ieder PC4-gebied wordt in de eerste iteratieslag de dichtstbijzijnde puntbron beschouwd. In de tweede (en volgende) iteratieslag wordt de dichtstbijzijnde puntbron en/of centrum van warmteleveringsgebied beschouwd.

Meerdere bronnen

In het geval zoals hierboven geschetst zou het aansluiten van PC4-gebied 1 en PC4-gebied 2 er toe kunnen leiden dat de warmtebron onvoldoende capaciteit bezit om beide gebieden te beleveren. Het is in dat geval mogelijk in theorie dat een andere warmtebron de aanvullende capaciteit levert. Deze optie wordt *niet* in het model ingebouwd.

7.4 Stap 1: Berekening van de opbrengsten van warmtelevering voor de leverancier

Het betreft de opbrengsten voor de warmteleverancier. De opbrengsten (stap 1) worden bepaald door de verkoopprijs van de warmte, de warmtevraag per warmteleveringsgebied, het vastrecht en overige vergoedingen. De warmtevraag wordt bepaald aan de hand van het aantal woningen, de omvang van de utiliteitsbouw in m² bvo, en de omvang van glastuinbouw in m² in het warmteleveringsgebied. De verkoopprijs van warmte per GJ, het vastrecht en overige vergoedingen zijn apart ingelezen voor de woningbouw, de utiliteitsbouw en tuinbouw. Bij de woningbouw zijn deze tarieven onafhankelijk van het woningtype en de bouwjaarcategorie. Voor de utiliteitsbouw en tuinbouw zijn de tarieven onafhankelijk van de sector.

De formule voor de opbrengstberekening is:

$$\text{Opbrengsten} = (\text{Vastrecht}) + (\text{Aansluitbijdrage}) + (\text{Verkoop warmte})$$

De kosten, opbrengsten en warmtevraag wordt netto contant gemaakt tegen een opgegeven discountvoet. Er wordt aangenomen dat de eenmalige aansluitbijdrage twee jaar¹⁷ na aanvang van de investeringen wordt geïnd. De jaarlijkse inkomsten uit vastrecht en warmteverkoop worden meegenomen en netto contant gemaakt, over de looptijd van het project (default: 30 jaar, minus aanlooptijd van twee jaar).

Voor de woningbouw, utiliteitsbouw en tuinbouw worden verschillende tariefstructuren gebruikt, gebaseerd op het NietMeerDanAndersprincipe (NMDA) t.o.v. aardgaslevering, zoals gangbaar is in de huidige praktijk.

De opbrengst uit warmtelevering bij woningbouw wordt bepaald door:

- het aantal woningen in een gebied;
- het deelnamepercentage (percentage woningen dat daadwerkelijk zal worden aangesloten);
- aansluitbijdrage (€);
- vastrecht (€/jaar);
- afzet aan GJ in woningbouw in het gebied (GJ/jaar);
- prijs van GJ-warmte (€/GJ).

De eenmalige inkomsten vanuit de aansluitbijdrage zijn voor woningbouw:

$$\text{Aantal woningen} * \text{deelname\%} * \text{aansluitbijdrage}$$

¹⁷ Betreft een default, die te overschrijven is.



waarbij het deelnamepercentage en de eenmalige aansluitbijdrage per type woning kan verschillen.

Voor utiliteit en ook tuinbouw gelden soortgelijke formules, maar zijn de tarieven voor aansluitbijdrage en vastrecht afhankelijk van de capaciteit van de aansluiting (in kW).

NB: Het model houdt er rekening mee dat er warmteverlies optreedt tussen bron en afzet met name in het secundaire net; een percentage (veelal 5 tot 10% op jaarbasis) van de warmte wordt wel geproduceerd maar niet verkocht.

In Blok 4 (Interactie) heeft de gebruiker een keuze gemaakt of er aan geothermie of restwarmte extra inkomsten uit warmtelevering moeten worden toegekend voor warmtelevering aan WKO-systemen in het betreffende PC4-gebied in de zomermaanden ten behoeve van het handhaven van de warmtebalans in de ondergrond. De default is 'nee'.

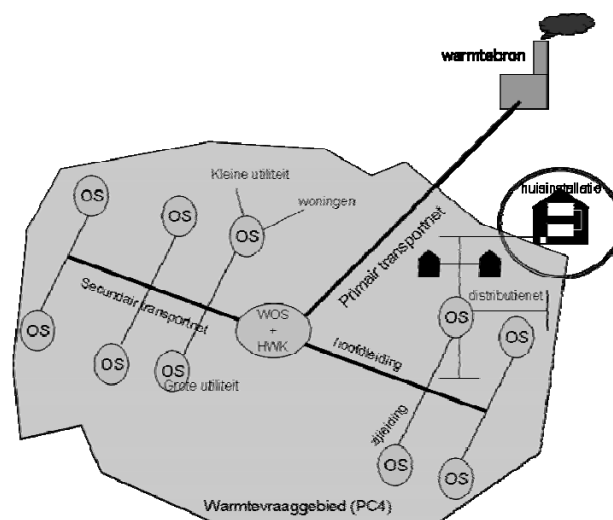
Dit is relevant als in de prioritaire volgorde van warmteopties eerst WKO wordt toegewezen en vervolgens restwarmte of geothermie.

7.5 Stap 2: Berekening van de kosten van warmtedistributie per gebied

De kosten (stap 2) worden berekend door de distributiekosten per warmteleveringsgebied te bepalen. Het model bevat gegevens van de kosten die moeten worden gemaakt om warmte vanuit het hart van het warmteleveringsgebied naar een gebouw te brengen. Dit zijn onder andere kosten voor de woninginstallatie, de kosten voor het onderstation en de kosten voor het leidingnet in het warmteleveringsgebied. De kosten worden per warmteleveringsgebied met behulp van kengetallen voor de voorzieningen voor de distributie van warmte berekend op basis van de specifieke bebouwingskarakteristieken en het oppervlak van het gebied. Deze kengetallen zijn in stap 2 benoemd.

Alle componenten zijn schematisch weergegeven in Figuur 6. Details zijn beschreven bij de formules in Bijlage C.

Figuur 6 Schematische weergave van de componenten in het warmtedistributiemodel



De kosten voor warmtedistributie in een gebied worden bepaald door:

1. Eenmalige investeringen in overdrachtstation, secundair net, distributienet, onderstations, hulpwarmteketels, aansluitleidingen en aansluitsets en warmtemeters in gebouwen.
2. Jaarlijkse kosten voor onderhoud, bediening, et cetera.
3. Kosten voor warmteproductie in piekwarmteketels (uitgangspunt: gasgestookt).

Daarnaast kan er sprake zijn van aanloopverliezen omdat de investeringen enkele jaren voor lopen op de afzet van de warmte (dit komt tot uitdrukking in de NCW-bepalingen), en van financiële compensaties voor overname van bestaande collectieve verwarmingsinstallaties (in flats).

Alle benodigde formules plus toelichting en relevante defaultgegevens zijn opgenomen in Bijlage C.

De distributiekosten worden netto contant gemaakt naar het peiljaar, tegen een opgegeven discontopercentage.

7.6 Stap 3: Bepaling maximaal toelaatbare warmte-inkoopprijs per gebied

De formule voor de berekening van de maximale warmte-inkoopprijs (euro/GJ) is hieronder weergegeven:

$$\text{Maximale warmte inkoopprijs} = F = \frac{\text{Opbrengsten} - \text{Kosten}}{\text{Warmtevraag}}$$

Waarbij opbrengsten, kosten en warmtevraag netto contant worden gemaakt over de opgegeven looptijd tegen de opgegeven discontovoet.

Deze wordt vervolgens vergeleken met de kostprijs van warmte per bron. De kostprijs wordt bepaald door de productiekosten en de investeringen in uitkoppeling van de warmte en de investering in de primaire transportpijp.

7.7 Stap 4: Vergelijken maximale warmte-inkoopprijs met kosten per warmtebron, toewijzing gebieden per bron

Elke warmtebron heeft als inputgegeven de productiekosten per GJ. De basis daarvan is bijvoorbeeld bij aftapwarmte van een elektriciteitscentrale dat het elektrisch rendement van de centrale daalt door de warmteaftap, hetgeen in de productieprijs van de warmte tot uitdrukking komt ('gederfde elektriciteitsopbrengsten'). Bij geothermie zijn het de kosten van het verpompen van het water die de kosten per GJ bepalen.

Daarnaast zijn er de investeringen in de uitkoppeling van de warmte bij een restwarmtebron of in de aanleg van een nieuwe bron. Tot slot zijn er de investeringen in de transportpijpen.

In het model wordt een jaarlijks percentage voor bediening en onderhoud op de investeringen opgenomen.



De kostprijs per warmtebron wordt bepaald onder de aanname dat een (op te geven per type bron, default) minimumpercentage van de capaciteit van de warmtebron wordt benut. De investeringen in bron en transportpijpen worden met een discontovoet verdeeld over de omvang van de levering gedurende de projectlevensduur.

Als de geprioriteerde warmtebron rendabel kan leveren aan het betreffende gebied, dan wordt dat gebied aan die warmtebron toegewezen. De toewijzing wordt uitgevoerd op basis van een prioritering op maximale financiële opbrengst per geleverde eenheid capaciteit vanuit de bron, omdat de capaciteit de limiterende factor is.

Als dit voor alle gebieden is gedaan voor de prioritaire warmtebron, dan wordt eenzelfde werkwijze losgelaten op de resterende gebieden voor de volgende prioriteit, enzovoorts.



8

Blok 7: Interactie en bepaling: nadere reductie energievraag

De functie van dit blok is om analyses te kunnen maken van situaties waarbij eerst is besloten tot warmtedistributie, terwijl later alsnog de warmtevraag wijzigt en/of zonneboilers worden toegepast (waardoor de warm tapwater-vraag daalt). De gebruiker kan de effecten op de rentabiliteit van de eerder gemaakte toewijzingskeuzes bepalen, en ook zoeken of er een optimum is in maatschappelijke kosten, CO₂-emissies, et cetera.

In Blok 7 krijgt de gebruiker de mogelijkheid om alsnog vraagzijdemaatregelen toe te passen of lokale productie met bijvoorbeeld zonneboilers. Dit heeft consequenties voor de rentabiliteit van warmtedistributieprojecten. Met die in dit blok gewijzigde energievraaggegevens wordt door het model alleen nog een herberekening van de rentabiliteit van de warmtelevering uitgevoerd, maar niet meer een herbepaling van de toewijzing van warmteopties per gebied.

NB: Zowel de eerst bepaalde rentabiliteit van warmtelevering als de herziene bepaling moet in dit geval in de outputfile worden weggeschreven, zodat de verschillen nader geanalyseerd kunnen worden.

NB 2: In de praktijk vindt deze keuze, net als alle andere keuzes, al in het begin van het draaien van het model plaats. Voor de overzichtelijkheid en begrijpelijkheid is in dit functioneel ontwerp net gedaan alsof het model op dit punt fysiek onderbroken wordt ten behoeve van deze interactie.





9 Blok 8: Bepaling kosten

9.1 Inleiding maatschappelijke- en eindgebruikerskosten

De kosten worden berekend op basis van de 'VROM Methodiek Milieukosten'. Hierbij worden twee benaderingen gehanteerd, de nationale (maatschappelijke) kosten en de eindgebruikerskosten.

In dit hoofdstuk wordt eerst de methodiek kort besproken, vervolgens wordt per onderdeel besproken hoe in de data-input en berekeningen in het model met kosten is omgegaan, en tot slot wordt voor drie voorbeelden uitgewerkt hoe daarvan de maatschappelijke kosten en eindgebruikerskosten moeten worden bepaald.

In Tabel 9 in de Formulebijlage staan de nadere details van de modeloutput nader uitgewerkt.

De partijen die onderscheiden worden ten behoeve van Vesta zijn:

1. Huishoudens.
2. Utiliteit.
3. Tuinbouw.
4. Exploitant centrale warmtevoorziening (er wordt geen onderscheid gemaakt naar netbeheerder en leverancier, om reden dat dat bij een warmteproject niet mogelijk is).

De (rest)warmteproducent wordt *niet* als aparte partij meegenomen, idem dito de producent van gas of elektriciteit. Producenten van installaties en dergelijke ook niet.

Voor eindgebruikerskosten wordt per partij bepaald wat de kosten zijn. Eenmalige investeringen worden met een discontovoet omgerekend naar kosten per jaar. De discontovoet is verschillend per type eindgebruiker, zie het lijstje aan het eind van deze notitie. Daarbij worden de jaarlijkse vaste kosten en de jaarlijkse variabele kosten opgeteld. In de eindgebruikerskosten worden kostenposten als energiebelasting meegenomen. BTW wordt alleen meegenomen voor huishoudens, niet voor utiliteit, tuinbouw en 'energie-bedrijven'. Er kan sprake zijn van baten, bijvoorbeeld voor de energieleverancier, of voor de eindgebruiker die teruglevert met zijn micro-WKK of zonnepaneel. Baten zijn negatieve kosten.

Voor maatschappelijke kosten wordt in de methodiek feitelijk hetzelfde gedaan, maar dan tegen een *maatschappelijke* discontovoet (4%), zonder het meerekenen van belastingen, BTW en eventueel subsidies, en voor de maatschappij als geheel. Overhevelingen tussen partijen (zoals inkomsten uit warmte-levering) worden dus weggelaten. Ook hier kan sprake zijn van baten.



9.2 Implementatie in het model

In het model gaat het er *niet* om de absolute waarde van de maatschappelijke kosten te bepalen, maar om inzicht in het verschil in kosten tussen een nulsituatie en een alternatief. Dat geeft de mogelijkheid om kosten die niet bekend zijn in het model, maar ook niet veranderen van de ene naar de andere situatie, simpelweg te negeren.

De kostenberekeningen worden pas aan het eind van een 'run' uitgevoerd. Om effecten van bijvoorbeeld de combinatie van besparingen en warmtelevering te kunnen bepalen uit een 'run' waarin beide worden toegepast, moet het model meerdere malen worden gedraaid met de afzonderlijke maatregelen. Op die manier kunnen effecten van resultaten worden 'afgepeld'. De kosten worden bepaald per energiedrager (gas, warmte, elektriciteit, koude). De kosten worden uitgedrukt in € per jaar.

Verder is van belang wat de geografische omvang is van de gewenste output. Bij restwarmtedistributie, geothermie en wijk-WKK is het niet mogelijk om alle investeringen toe te rekenen naar de aansluitingen of naar PC6-gebied. PC4-gebied is wel mogelijk. Om die reden wordt als kleinste geografische eenheid het PC4-niveau gehanteerd voor de output, plus het totaalniveau van Nederland. Dit geldt voor eindgebruikerskosten en voor maatschappelijke kosten.

De eindgebruikers worden onderscheiden naar de hierboven genoemde partijen, en nog gedifferentieerd naar de in Vesta gehanteerde bebouwingscomponenten.

In het model worden de volgende financiële berekeningen uitgevoerd, zoals beschreven in voorgaande hoofdstukken en in de bijlagen:

1. Van energiegebruik, via omvang van het gebruik maal prijzen (volgens scenario van reële prijzen), en gedifferentieerd naar type gebruiker (i.e. huishoudens, utiliteit, glastuinbouw). Van de prijzen is de opbouw ingevoerd in het model, zodat berekeningen met en zonder belastingen/subsidies kunnen worden uitgevoerd, oftewel t.b.v. eindgebruikerskosten en maatschappelijke kosten. Specifiek voor levering van warmte en koude geldt dat de leverancier daarover geen energiebelasting hoeft af te dragen aan de staat¹⁸.
2. Investeringen in energetische verbetering van gebouwschil of installatie. Hiervan zijn de investeringen gegeven en de effecten op energetische efficiëntie van gebouw of installatie, die zich vertaalt in een lagere energievraag per gebied 'aan de meter'. Het model optimaliseert niet.
3. Investeringen in decentrale opwekking (PV, zonneboilers, micro-WKK, elektrische warmtepomp (eWP)). Hiervan zijn de *investeringen* gegeven en de opbrengst van energie (kWh, GJ) per gebied. In het model wordt geen afweging of optimalisatie van kosten en baten gemaakt.
4. Investeringen in nieuwe warmtebronnen als geothermie, wijk-WKK (gasmotor) en WKO en bijbehorend distributienet. Van de bron worden de investeringen per kWh gegeven, de jaarlijkse vaste kosten en de variabele warmteproductiekosten (in €/GJth), plus alle investeringen in het netwerk. Het model bepaalt op basis van rentabiliteitsberekeningen¹⁹ vanuit het

¹⁸ NB: Via het NietMeerDanAnders-principe voor warmte leidt de energiebelasting op gas wel tot een hogere warmteverkoopprijs, maar de leverancier van de warmte hoeft die component niet aan de overheid af te dragen.

¹⁹ Daarbij wordt de investering op $t = 0$ vergeleken met de netto contant gemaakte jaarlijkse kosten en de netto contant gemaakte jaarlijkse opbrengsten.



- gezichtspunt van de investeerder in het net of de optie voldoet aan het opgegeven rentabiliteitscriterium (default: 6%). Zo ja, dan wordt het betreffende gebied aan de optie toegewezen, in volgorde van opgegeven voorkeur voor de bronnen. De energiekosten voor de afnemers in het gebied worden berekend (en gebruikt in de rentabiliteits-berekening).
5. Investering in uitkoppeling en benutting van restwarmtebronnen. Hierbij wordt dezelfde aanpak gehanteerd als bij het vorige punt, met dit verschil dat alleen de investering in de warmte-uitkoppeling van de warmtebron-installatie worden meegenomen en niet de investering in de gehele broninstallatie.

9.3 Welke energieprijzen te hanteren?

De energieprijzen zijn voor elk jaar opgegeven in het model. Er is echter voor het functioneel ontwerp afgesproken dat bij een berekening voor een bepaald peiljaar alle gegevens in de berekening genomen worden uit dat specifieke peiljaar. De prijzen zijn dus in die berekening constant. Zo worden ze ook gehanteerd in de kostenberekeningen zoals beschreven in dit hoofdstuk.

9.4 Uitgewerkte voorbeelden

9.4.1 Voorbeeld 1: Investering in energiebesparende maatregelen

In het model wordt een investering in energiebesparing in de gebouwen ingevoerd, met omvang van X € (eenmalig, excl. BTW en eventueel subsidies), die leidt tot een verlaging van het energiegebruik met Y per jaar. De nulsituatie is in dit geval de situatie zonder die investering, met een hoger energiegebruik.

Voor de bepaling van de maatschappelijke kosten wordt:

1. De investering omgerekend naar een annuïteit met een maatschappelijke discontovoet van 4%, gerekend over de levensduur van de investering. Die is 30 jaar voor gebouwmaatregelen en 15 jaar voor een investering in apparatuur, bijvoorbeeld een HR-ketel.
2. Het verschil in jaarlijkse energiekosten bepaald voor deze eindgebruiker, excl. BTW en belastingen.

De som van beide geeft de jaarlijkse maatschappelijke kosten c.q. baten van de maatregelen.



Tabel 5 Berekening van maatschappelijke- en eindgebruikerskosten bij voorbeeld 1

	Nulsituatie	Alternatief
Eindgebruikers	Geen investering Kosten van gebruik m ³ , GJ, kWh (= baten voor energiebedrijf Geen vastrecht, e.d.	Investering (incl. BTW voor huishoudens), annuïtair maken met discontovoet per partij, levensduur ketel is 15 jaar, levensduur gebouwverbetering is 30 jaar. NB: de prijzen in de tabellen zijn excl. BTW. Kosten van gewijzigd gebruik m ³ , GJ, kWh (= baten voor energiebedrijf). Geen vastrecht, e.d.
Maatschappelijk	Geen investering Kosten van gebruik m ³ , GJ, kWh (excl. belasting en BTW). Geen vastrecht, e.d.	Investering (excl. BTW), annuïtair maken met discontovoet 4%. Kosten van gewijzigd gebruik m ³ , GJ, kWh (= baten voor energiebedrijf), excl. belasting en BTW. Geen vastrecht, e.d.

9.4.2 Voorbeeld 2: Investering in lokale opwekking (zon-PV, zonneboiler, elektrische warmtepomp en micro-WKK)

Dit gaat analoog aan het vorige voorbeeld, met dat verschil dat er sprake kan zijn van netto opwekking van energie op jaarbasis, bij zon-PV en micro-WKK. De aanname is dat dit wordt teruggeleverd aan 'het net', tegen dezelfde prijs per eenheid als bij de afname van energie ('terugdraaiende meter').

Tabel 6 Berekening van maatschappelijke- en eindgebruikerskosten bij voorbeeld 2

	Nulsituatie	Alternatief
Eindgebruikers	Geen investering. Kosten van gebruik m ³ , GJ, kWh (= baten voor energiebedrijf. Geen vastrecht, e.d.	Investering (incl. BTW voor huishoudens), annuïtair maken met discontovoet per partij, levensduur op 15 jaar stellen (want: apparaten ²⁰). NB: De prijzen in de tabellen zijn excl. BTW. Kosten van gewijzigd gebruik m ³ , GJ, kWh (= baten voor energiebedrijf), negatief gebruik is bate voor de afnemer, tegen dezelfde prijzen. Geen vastrecht, e.d., geen extra onderhoud op de investering.
Maatschappelijk	Geen investering. Kosten van gebruik m ³ , GJ, kWh (excl. belasting en BTW). Geen vastrecht, e.d.	Investering (excl. BTW), annuïtair maken met discontovoet 4%, levensduur op 15 jaar stellen. Kosten van gewijzigd gebruik m ³ , GJ, kWh (= baten voor energiebedrijf), excl. belasting en BTW), negatief gebruik is bate voor de afnemer, tegen dezelfde prijzen. Geen vastrecht, e.d., geen extra onderhoud op de investering.

²⁰ Is vermoedelijk voor zonnecellen te kort gesteld.

9.4.3 Voorbeeld 3: Restwarmteproject

De nulsituatie is in dit geval gaslevering. We gaan er van uit dat bij overgang van *bestaande bouw* op warmtelevering er geen kapitaalvernietiging wordt toegepast in de vorm van versnelde CV-ketelvervangning, maar dat aansluiting op het warmtenet op een natuurlijk moment gebeurt waarbij de ketel aan vervangning toe was, hetgeen in de nulsituatie dus een investering oplevert; die investering stellen we gelijk aan de aansluitbijdrage die in het alternatief wordt betaald²¹.

Eenzelfde aanpak wordt gevolgd voor de vaste kosten in de nulsituatie. Die bestaan uit vastrecht gas en onderhoudskosten op de CV-ketel, die zijn niet bekend in het model. Maar: dat zijn precies de kosten die als vastrecht in rekening worden gebracht in het alternatief. Op die manier worden ze dan ook in het model bepaald. De vaste kosten (vastrecht) bij elektriciteit wijzigen niet en worden om die reden niet bepaald.

Een probleem voor de maatschappelijke kostenbepaling in de nulsituatie is dat er in het model geen investeringskosten bekend zijn in de gasnetten. Dat lossen we op door aan te nemen dat de eenmalige aansluitbijdrage, vaste jaarlijkse kosten en variabele energieprijzen die investeringskosten (en het onderhoud daarop, etc.) dekken.

Een ander punt is dat er een tijdsverschil zit tussen start investering in het warmtenet en start levering. In de tussentijd wordt bij bestaande bouw met gas verwarmd, en wordt bij het warmtealternatief nog geen warmte ingekocht en gas voor de piekvoorziening ingekocht. Hiervoor wordt een correctiefactor toegepast, zie daarvoor de opmerking onder Tabel 7.

Tabel 7 Berekening van maatschappelijke- en eindgebruikerskosten bij voorbeeld 3

	Nulsituatie	Alternatief
Eindgebruikers	Investering: gelijkgesteld aan aansluitbijdrage in het alternatief (incl. BTW voor huishoudens) annuïtair maken met discontovoet per partij, levensduur kan op 15 of 30 jaar worden gesteld ²² . Kosten van gebruik m ³ , GJ, kWh (= baten voor energiebedrijf). Vaste jaarlijkse kosten: Gelijk gesteld aan vaste kosten voor de gebruiker in het alternatief. Vaste kosten elektra buiten beschouwing laten.	Afnemers: Aansluitbijdrage (incl. BTW voor huishoudens) annuïtair maken met discontovoet per partij, levensduur vanaf startjaar levering tot einde warmteproject (default: 30 jaar) stellen. Kosten van gebruik m ³ , GJ, kWh (incl. BTW voor huishoudens, en incl. belasting) Vaste jaarlijkse kosten: vastrecht. Vaste kosten elektra buiten beschouwing laten. Energiebedrijf Investeringen in (uitkoppeling van de) bron en alle netten plus toebehoren, minus de ontvangen aansluitbijdragen. Annuïtair maken met discontovoet 6%, levensduur vanaf startjaar levering tot einde warmteproject (default: 30 jaar) stellen voor alle

²¹ Merk op dat hiermee wel feitelijk een vorm van cirkelredenering in het model wordt gebracht. De NMDA-kostencomponenten zijn echter uitgebreid onderbouwd, zie de tariefadviezen van EnergieNed.

²² NB: Betreft uitgespaarde ketel plus bij nieuwbouw een uitgespaarde gasaansluiting. Op het eerste gezicht zou het logischer zijn om dat keteldeel op 15 jaar te zetten. Dat maakt de zaak wel complex, dit is eventueel voor een vervolgfase. NB 2: In het bedrag van het vastrecht warmte voor huishoudens in het alternatief zit een kleine component 'levensduurverschillen' opgenomen.



	Nulsituatie	Alternatief
		investeringen in de netten en bronnen (zie opm.). Vaste jaarlijkse kosten: onderhoud op de investeringen, minus het ontvangen vastrecht. Kosten van warmte-inkoop en van inkoop hulpenergie (incl. belastingen), minus de opbrengst uit warmteverkoop.
Maatschappelijk	Investering: gelijkgesteld aan aansluitbijdrage in het alternatief (excl. BTW), annuïtair maken met 4%, levensduur kan op 15 of 30 jaar worden gesteld. Kosten van gebruik m ³ , GJ, kWh excl. BTW en belastingen. Vaste kosten: gelijkgesteld aan vaste kosten voor de gebruiker in het alternatief (excl. BTW); vaste kosten elektra buiten beschouwing.	Investeringen in (uitkoppeling van de) bron en alle netten plus toebehoren. Annuïtair maken met discontovoet 4%, levensduur vanaf startjaar levering tot einde warmteproject (30 jaar) stellen voor alle investeringen in de netten en bronnen (zie opmerking). Vaste jaarlijkse kosten: onderhoud op de investeringen. Kosten van warmte-inkoop en van inkoop hulpenergie (excl. belastingen).

Opmerking: Omdat er in het model een tijdvertraging tot het startjaar (default is 2 jaar) zit tussen netinvestering en eerste warmtelevering aan bestaande bouw wordt de annuïteit hiervoor gecorrigeerd. Hierbij wordt dezelfde methode gebruikt als bij het contant maken: NCW van de kosten delen door de factor die gebruikt is om de 28 jaar opbrengsten te verdisconteren. Deze factor is de inverse van de $NcwDuration: (p^S - p^E)/r$ met $p = (1+r)^{-1}$; met $S =$ aantal jaren voor start en $E =$ aantal jaar voor einde. Aangezien r in $[jaar^{-1}]$ is, is de eenheid van $NcwDuration$ [jaar].

9.5 Te hanteren default-discontovoeten in de kostenbepaling

Voor de berekeningen van maatschappelijke- en eindgebruikerskosten moeten de volgende discontovoeten worden gehanteerd, conform de VROM-methodiek:

Maatschappelijk: 4%.

Voor bepaling van eindgebruikerskosten:

Woningen: 5,5%.

Utiliteit: 8%.

Glastuinbouw: 8%.

Energiebedrijf: 6%²³ (NB: In runs ook te variëren naar 8%).

Merk overigens op dat de afweging bij warmtedistributie en WKO op een default-discontovoet van 6% is gebaseerd. Dat is gebaseerd op discussies rond het 'redelijk rendement' op dit soort laagrisicoinvesteringen in netwerkprojecten voor gebonden klanten. Als default in de VROM-methodiek wordt voor zakelijke investeringen een discontovoet van 8% aangehouden, daarvan wordt hier bewust afgeweken; in runs kan deze default overigens wel worden gewijzigd door de gebruiker van het model.

²³ Als default gelijk aan de default-discontovoet voor de rentabiliteitsberekeningen.



10 Beschrijving blokken 9 t/m 12

10.1 Blok 9: Bepaling draagvlak en kansrijkheid

Deze worden bepaald op basis van een nog nader te bepalen model en weggeschreven als separate geografische laag, voor latere GIS-analyses. Dit wordt nader uitgewerkt in volgende fases van het model.

10.2 Blok 10: Wegschrijven output

De functie van dit blok is om alle gegevens weg te schrijven ten behoeve van latere analyses, ook buiten het model.

Het model exporteert alle door de gebruiker gemaakte keuzes, en in principe per kleinste geografische eenheid, tenminste op PC4-gebied²⁴. Waar over kosten wordt gesproken worden de maatschappelijke en eindgebruikerskosten bedoeld zoals beschreven in Hoofdstuk 9.

- de warmtevraag, elektriciteitsvraag en gasvraag per gebied;
- de toegewezen optie voor de warmtevoorziening en de toegewezen bron (ID);
- de kosten van warmtelevering per gebied;
- de rentabiliteit van warmtelevering per gebied, zowel voor als na de optionele extra vraagzijdereductie;
- de kosten van gebouwverbetering;
- de lokale productie van energie, per type;
- de CO₂-emissie, per type gebouw, per energiedrager.

Daarnaast worden de totalen voor Nederland als geheel bepaald en getoond.

Rekenresultaten moeten als bestand kunnen worden opgeslagen onder een unieke naam. Aan het uitvoerbestand moet de gebruikers ook enkele commentaarregels kunnen toevoegen, bijvoorbeeld omdat er gebruik is gemaakt van de 'fluïde methodiek' om bepaalde selecties op de data te hanteren.

De output moet ook 'afpelplaatjes' bevatten; waarmee inzichtelijk wordt welke omvang van CO₂-emissiereductie het gevolg is van energievraagvermindering, welke door sloop van gebouwen, welke door aanbodzijde-maatregelen (i.e. warmteleveringsscenario), etc.

10.3 Blok 11: Analyse

De gebruiker heeft hier de mogelijkheid om outputgegevens te bekijken en te analyseren.

²⁴ Omdat kosten van warmtedistributie niet op PC6-niveau bekend zijn.



10.4 Blok 12: Analyses buiten het model

Buiten het model kunnen GIS- en andere analyses worden gemaakt. Bijvoorbeeld door resultaten van verschillende runs met elkaar te vergelijken. Zo kunnen ook effecten van beleidskeuzes geanalyseerd worden door de outputfiles van een run met 'defaultwaardes' te vergelijken met die van een run waarin beleidskeuzes zijn ingevoerd.



Literatuurlijst

Literatuurverwijzingen in dit functioneel ontwerp zijn, waar van toepassing, opgenomen als voetnoten.

Het rekenmodel is, met de nodige aanpassingen, ontleend aan het voormalige CE-rekenmodel voor grootschalige restwarmtelevering. Dit model is beschreven in:

CE, 1993

F.J. Rooijers, G.C. Bergsma, L.B.M.M. Boels, J. Verlinden
Grootschalige warmtelevering in de bestaande bouw
Delft : CE Delft, 1993

CE, 1994

F.J. Rooijers, G.C. Bergsma, J. Verlinden
Grootschalige warmtelevering in de nieuwbouw en de glastuinbouw
Delft : CE Delft, 1994

Veel aanvullende gegevens, inclusief bronvermeldingen, zijn opgenomen in:

PBL, 2011

Rob Folkert, Ruud van den Wijngaart, Bas van Bommel, Bart Rijken,
Cor Leguijt, Maarten Hilferink, J.J.G.M van der Beek
VESTA Ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving : Data en
methoden
Bilthoven/Den Haag : Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2011





Bijlage A Bebouwing

In deze bijlage wordt een korte typering van de bebouwing gegeven. De bebouwingsgegevens worden ingelezen op PC6-niveau en buiten het model samengesteld en aangeleverd. Hieronder is de bebouwing verdeeld in de sectoren woningen, utiliteit en glastuinbouw. Een uitgebreide beschrijving geeft Folkert (2011).

A.1 Woningen

De huidige omvang van woningbouw komt uit het GeoMarkt-bestand (met type-indeling 2006), waarin dominant type en bijbehorend bouwjaarvak op PC6-niveau wordt gegeven.

De gehanteerde type-indeling is:

1. Herenhuis grachtenpand.
2. Boerderij/tuinderij.
3. Vrijstaand/bungalows.
4. Twee onder een kap.
5. Rijtjeshuizen/eengezins.
6. Flats, vier of minder verdiepingen.
7. Flats, meer dan vier verdiepingen.
8. Zelfstandige bejaardenwoning.
9. Etagewoning/maisonnette.
10. Etage/flats grachtenpand.
11. Studentenwoning/flat.
12. Divers.
13. Onbekend.
14. Woonboten.
15. Woonwagens.

De types woonboten en woonwagens worden niet gebruikt in het model.

De gehanteerde en hier gebruikte tijdvakken in het GeoMarktbestand zijn:

- voor 1800;
- tussen 1800 en 1899;
- tussen 1900 en 1919;
- tussen 1920 en 1939;
- tussen 1940 en 1959;
- tussen 1960 en 1969;
- tussen 1970 en 1979;
- tussen 1980 en 1989;
- tussen 1990 en 1994;
- tussen 1995 en 1999;
- tussen 2000 en 2010;
- onbekend.

Daaraan worden als tijdvak nog toegevoegd:

- 2010-2020;
- 2020-2030;
- 2030-2040;
- 2040-2050.



A.2 Utiliteitsbouw

De huidige omvang van utiliteitbouw komt uit LISA. Industrie wordt daar uit weggelaten en bedrijven met één werknemers idem dito omdat dit in LISA veelal ZZP'ers zijn die vanuit een woning werken; dit zou anders een dubbelrekening geven.

De bebouwingsgegevens utiliteit worden in de invoerbestanden weggelaten als oppervlaktes per type, in m² bvo (bruto vloeroppervlak).

In LISA is het aantal werknemers per (fysieke) bedrijfslocatie opgenomen, en het type bedrijf. Vanuit de randtotalen van jaarenergiegebruik per type utiliteit voor geheel Nederland, de kentallen voor energiegebruik per m² bvo voor elk type utiliteit, en het totaal aantal werknemers bij dit type utiliteit is per utiliteitstype een kental bepaald voor het aantal m² bvo per werknemer²⁵. Door deze werkwijze is het totale energiegebruik van de utiliteit in Nederland toebedeeld aan het totaal aan LISA-records.

De onderscheiden utiliteitstypes in het model zijn:

1. Kantoren.
2. Winkels.
3. Groothandel.
4. Autohandel en reparatie.
5. Verpleging en verzorging.
6. Ziekenhuizen.
7. Onderwijs.
8. Horeca.
9. Overige dienstverlening.

In de functionaliteit van het model wordt de utiliteit volgens dezelfde bouwjaarclassen verdeeld als de woningbouw. Omdat de energievraaggegevens utiliteit die differentiatie echter momenteel nog niet kennen, wordt alle bestaande utiliteit aan de categorie 'bouwjaar onbekend' toegedeeld.

A.3 Glastuinbouw

De huidige omvang van glastuinbouw is onderscheiden in de types bloemen, groente en overig (i.e. 'blijvende teelt'). De input is gegeven in m² kas-oppervlak, en verdeeld naar de categorieën:

1. Glastuinbouw, bloemen, verwarmd.
2. Glastuinbouw, groente, verwarmd.
3. Glastuinbouw, overig, verwarmd.
4. Glastuinbouw, bloemen, onverwarmd.
5. Glastuinbouw, groente, onverwarmd.
6. Glastuinbouw, overig, onverwarmd.
7. *Glastuinbouw, bloemen, belicht.*
8. *Glastuinbouw, groente, belicht.*
9. *Glastuinbouw, overig, belicht.*
10. *Glastuinbouw, bloemen, onbelicht.*
11. *Glastuinbouw, groente, onbelicht.*
12. *Glastuinbouw, overig, onbelicht.*

²⁵ Detail: dit kental verschilt wanneer vanuit gasgebruik en elektriciteitsgebruik wordt gerekend. Om dit op te lossen is het kental voor m² bvo per werknemer bepaald vanuit het gasgebruik omdat dit het belangrijkste onderdeel van het model is. Om de zo ontstane mismatch met het elektriciteitsgebruik op te lossen is hiertoe een correctiefactor op de kentallen voor het functioneel gebruik elektriciteit elektra per m² bvo toegepast.



De indeling is niet disjunct omdat de eerste zes categorieën volledig de laatste zes categorieën overlappen. De reden is dat geen nauwkeurige statistiek kon worden gevonden over combinaties van (on)verwarmd en (on)belicht. In het model wordt hier pragmatisch mee om gegaan door aan de categorieën (on)verwarmd wel een warmtevraag toe te kennen en geen elektriciteitsvraag en aan de categorieën (on)belicht geen warmtevraag toe te kennen en wel een elektriciteitsvraag. Een uitgebreidere beschrijving is gegeven in Folkert (2011).

NB: In het model worden alleen de eerste drie categorieën, met verwarmde kassen, potentieel aangesloten op warmtedistributie.

In de functionaliteit van het model wordt de glastuinbouw volgens dezelfde bouwjaarklassen verdeeld als de woningbouw. Omdat de energievraaggegevens van glastuinbouw die differentiatie echter momenteel nog niet kennen, wordt alle bestaande glastuinbouw aan de categorie 'bouwjaar onbekend' toegedeeld.

A.4 Toekomstige situatie bebouwing (peiljaren: 2020, 2030, 2040, 2050)

Toevoegingen en sloop worden buiten het Vesta-model bepaald en als invoerbestanden aangeleverd.

De gegevens over gebouwtoevoegingen en sloop zijn scenarioafhankelijk, het systeem moet dus verschillende inputsets voor de bebouwing aankunnen. De gebruiker selecteert welke variant wordt genomen, waarbij altijd een default wordt aangegeven door het systeem.





Bijlage B Overzicht investeringscomponenten

Het doel van Figuur 7 is om inzichtelijk te maken dat er sprake is van een investeringsfase en een exploitatiefase bij een warmtedistributieproject, en daarbij aan te geven welke inkomsten en uitgaven bij welke fase horen.

Figuur 7 Schematische weergave van inkomsten en uitgaven in de tijd in het model m.b.t. de centrale warmtenetten (en WKO)

Defaultlooptijd is 30 jaar, vanaf aanvang investering; dit is een modelvariabele, door gebruiker te overschrijven								
Defaultlooptijd investeringsperiode is 2 jaar; dit is een modelvariabele, door gebruiker te overschrijven								
Jaar	Investeringsfase				Exploitatiefase			Opmerkingen
	1	2	3	4	...	29	30	
Onderdeel: distributie								
Investering aanleg distributienet	X	X						Incl. aansluitingen, meters, WOS, piekketels
Uitgaven gas piekketels			X	X	X	X	X	N.v.t. bij WKO
Uitgaven bediening en onderhoud, etc.			X	X	X	X	X	Alles wat nodig is om distributienet up and running te houden
Inkomsten verkoop warmte en evt. koude			X	X	X	X	X	
Inkomsten vastrecht			X	X	X	X	X	
Inkomsten aansluitbijdrage			X					
Onderdeel: transport								
Investering uitkoppeling warmte of in warmtebron	X	X						I.g.v. 'uitkoppeling': dit betreft bestaande installaties
Investering transportpijpen	X	X						Indien bron buiten het distributiegebied ligt
Uitgaven bediening en onderhoud, etc.			X	X	X	X	X	Alles wat nodig is om transportnet up and running te houden
Uitgaven productiekosten warmte en evt. koude			X	X	X	X	X	O.a. derving elektriciteitsproductie bij aftapwarmte elektriciteitscentrale

Toelichting en afwijkingen

Geothermie

Onderdeel transport:

- investering uitkoppeling warmte wordt vervangen door investering in doublet van geothermie;
- investering transportpijpen is alleen van toepassing als brondoublet buiten het distributiegebied ligt;
- uitgaven productiekosten warmte betreft de benodigde pompenergie van de bron.



Wijk-WKK

Onderdeel transport:

- investering uitkoppeling warmte wordt vervangen door investering in productie-eenheid wijk-WKK;
- investering transportpijpen is niet van toepassing;
- in de uitgaven voor productiekosten warmte betreffen de uitgaven voor aardgasinkoop van de wijk-WKK, in de berekening van deze uitgaven worden de inkomsten van de door de WKK geproduceerde elektriciteit verdisconteerd.

WKO

Onderdeel distributie:

- Bij woningen en bij utiliteit wordt WKO op PC6-gebied gerealiseerd en is sprake van een distributienet; separaat voor woningen en utiliteit. WKO-installaties voor één (utiliteit)gebouw zijn (nog) niet in het model opgenomen. Gemodelleerd is een WKO-systeem met een centrale warmtepomp.
- Uitgaven gas piekketels is niet van toepassing, de warmtepomp incl. eventuele elektrische bijverwarming levert alle benodigde warmte.
- Inkomsten verkoop warmte betreffen tevens koude.

Onderdeel transport:

- investering uitkoppeling warmte wordt vervangen door investering in het doublet van de WKO;
- investering transportpijpen is niet van toepassing;
- uitgaven productiekosten warmte betreft ook productie van koude en bestaat uit uitgaven elektriciteit ten behoeve van de centrale elektrische warmtepomp van de WKO.



Bijlage C Formules rentabiliteit

In deze bijlage zijn de formules verzameld die nodig zijn voor het model, zowel voor kosten en opbrengsten als voor techniek, en voorzien van toelichting over de aannames die er aan ten grondslag liggen.

In het model wordt per distributiegebied, dus PC4 en bij WKO is dat PC6, de opbrengsten uit de verkoop van warmte (en evt. koude) bepaald, en de kosten om de warmte in het gebied te distribueren. Als het verschil tussen de opbrengsten en de kosten gedeeld wordt door de warmtevraag in het distributiegebied dan levert dit de maximale warmte-inkoopprijs per GJ op waarbij het warmteproject nog rendabel is.

De verschillende onderdelen worden nu eerst schematisch beschreven en vervolgens in detail uitgewerkt.

NB: In het model is het mogelijk om per peiljaar (2010, 2020, etc.) de berekeningen te doen. Daarbij wordt de bebouwing in dat peiljaar en de kosten en prijzen in dat peiljaar genomen. Gedurende de looptijd van de rentabiliteitsberekeningen worden deze gegevens geacht vervolgens constant te zijn.

De kasstromen worden in het model geacht constant te zijn met een waarde gelijk aan die in het peiljaar. Bij NettoContanteWaarde (NCW)-berekeningen kan daarom gebruik gemaakt worden van een NCW-factor. Deze factor is: $NcwDuration = (p^S - p^E)/r$ met $p = (1+r)^{-1}$; met S = aantal jaren voor start en E = aantal jaar voor einde, en r de discontovoet. Aangezien r in $[jaar^{-1}]$ is, is de eenheid van $NcwDuration$ $[jaar]$.

C.1 Hoofdformules (schematisch)

Deze formules gelden voor de centrale warmtevoorzieningsopties:

- restwarmte;
- geothermie;
- wijk-WKK.

Bij wijk-WKK, en bij geothermie met een bron in het betreffende gebied, is er wel een WOS maar geen transportpijp tussen bron en WOS (zie Figuur 4). Voor WKO geldt een zelfde structuur maar iets afwijkende formules, zie vermeldingen daarvoor verderop bij WKO.

1. Formule maximale warmte-inkoopprijs

$$\text{Maximale warmte inkoopprijs} = F = \frac{\text{Opbrengsten} - \text{Kosten}}{\text{Warmtevraag}}$$

Deze maximale warmte-inkoopprijs geldt per PC4-gebied. De opbrengsten en kosten worden als netto contante waarde (NCW) bepaald over de projectlooptijd. De warmtevraag wordt netto contant gemaakt over de gebruiksperiode met dezelfde voor de exploitant van het warmtenet geldende discontovoet ten behoeve van een nette vergelijking met de kosten en opbrengsten.



De eenheid is €/GJ.

2. Formule kosten warmtelevering

Kosten = (Distributiekosten) + (Kosten bijstook)

Deze formule drukt de totale kosten van de warmtelevering in een PC4-gebied uit, bestaande uit twee hoofdcomponenten: distributiekosten zijn alle kosten (dus inclusief eenmalige investeringen) die nodig zijn om de warmte in het gebied te distribueren. De kosten van bijstook zijn de kosten die gemoeid zijn met de piekvoorziening (eenmalige investeringen in piekketels en variabele kosten voor inkoop van gas voor de piekvoorziening).

De kosten worden netto contact gemaakt over de looptijd van het project. De eenheid is €.

3. Distributiekosten

Distributiekosten: $f(Lw_1, Lw_2, Lu, Ld, Lt, Lq_1, Lq_2, \sum (Lq_3), Lq_4, Lq_5, Lq_6)$

Met daarin:

Symbool	Betekenis	Herkomst
Lw ₁	Aantal woningen	Blok 1
Lw ₂	Oppervlakte gebied (km ²)	Blok 1
Lu	Omvang utiliteitsbouw (m ² bvo); te sommeren over de types	Blok 1
Ld	Distributiekosten per woning en per m ² bvo utiliteitsbouw	Blok 2
Lt	Omvang glastuinbouw (m ²)	Blok 1
Lq ₁	Aansluitwaarde woningen (kW)	Blok 5
Lq ₂	Warmtevraag woningen (GJ/jaar)	Blok 5
Lq ₃	Aansluitwaarde utiliteit (kW/m ² bvo)	Blok 2
Lq ₄	Warmtevraag utiliteitsbouw (GJ/m ² bvo /jaar)	Blok 5
Lq ₅	Aansluitwaarde per m ² glastuinbouw (kW/m ²)	Blok 2
Lq ₆	Warmtevraag tuinbouw (GJ/m ² jaar)	Blok 5

De NCW over de looptijd wordt bepaald. Bij de eenmalige kosten worden ook de jaarlijkse onderhoudskosten gegeven als percentage van de eenmalige investering.

Er wordt in het model van uitgegaan dat de levensduur van alle investeringen even lang is als de looptijd van het project²⁶.

De eenheid is €.

De formule voor de kosten van bijstook wordt verderop gegeven.

²⁶ In een vervolgfase kan desgewenst een nadere verfijning worden aangebracht door aan sommige componenten een kortere levensduur toe te kennen, waardoor sprake kan zijn van herinvesteringen gedurende de looptijd van het project. Dit kan dan door een factor in de NCW-bepalingen worden opgenomen.



4. Opmerking over 'collectieve verwarming'

Bij bestaande woningen met 'collectieve verwarming' (flats met centrale CV-ketel en een reeds bestaand in pandig warmtedistributienet) is het in de praktijk relatief gemakkelijk om aan te sluiten op een warmtedistributienet. Een voorbeeld: de flats in de Bijlmermeer in Amsterdam Zuid-Oost. Collectieve verwarming kwam vooral voor bij hoogbouwflats (flat > 4 verdiepingen) en bij laagbouwflats (flat ≤ 4 verdiepingen) met bouwjaar na 1960. Inmiddels zijn veel van die collectieve verwarmingsinstallaties echter 'verketeld', waarmee wordt bedoeld dat ze inmiddels voorzien zijn van een individuele verwarmingsinstallatie. Er zijn geen recente bruikbare gegevens voor deze parameter voorhanden, de functionaliteit om hier mee te werken is echter wel in het model ingebouwd ten behoeve van latere analyses. Als default wordt in het model nu verondersteld dat alle bestaande woningbouw voorzien is van individuele verwarming. Het 'percentage collectieve verwarming' is in de invoerspreadsheets opgenomen (Blok 2) en default op nul gesteld. Deze opmerking geldt voor alle volgende formules waarin sprake is van collectieve verwarming.

5. Formule opbrengsten warmtelevering

$$\text{Opbrengsten} = (\text{Vastrecht}) + (\text{Aansluitbijdrage}) + (\text{Verkoop warmte})$$

De aansluitbijdrage is een eenmalig bedrag (€), het vastrecht is een bedrag in € per jaar, de verkoop warmte levert een bedrag in € per jaar op. Het betreft hier de totale opbrengsten per gebied.

De NCW over de looptijd moet vervolgens worden bepaald. De eenheid is €.

C.2 Opbrengsten uit het warmtenet

NB: Zie het hoofddocument van het functioneel ontwerp. Houd er bij de NCW-bepaling van kasstromen rekening mee dat de opbrengsten uit de warmtelevering 2 jaar starten na $t = 0$, het tijdstip waarop de investeringen in de aanleg van het warmtenet vallen. Hetzelfde geldt overigens voor de kosten van inkoop van de grootschalige warmte en voor het gas voor de piekgasketels.

Voor het prijspeil wordt uitgegaan van het peiljaar waarin het model gezien wordt. Er wordt van uitgegaan dat de prijzen van het peiljaar gedurende de looptijd van het warmteproject niet wijzigen.

De deelnamepercentages N_4 , $N_{4,util}$ en $N_{4,gtb}$ van respectievelijk woningbouw, utiliteitbouw en glastuinbouw zijn in het model verondersteld gelijk te zijn. Het deelnamepercentage is in het model afzonderlijk te variëren per centrale aanbodtechnologie en apart instelbaar voor bestaande- en nieuwbouw. Alle defaults voor het deelnamepercentage zijn 100% (t.b.v. bepaling van technisch potentieel).

De vergoeding N_7 voor bestaande gasinstallaties geldt alleen voor bestaande *woningbouw* (met default=0 €/woning).



C.2.1 Opbrengsten woningbouw

6. Opbrengsten vastrecht woningbouw

$$\text{Vastrecht} : N_4 \times Lw_1 \times N_6$$

De uitkomst uit deze formule is een bedrag in €/jaar.

De NCW over de looptijd moet vervolgens worden bepaald.

De eenheid is dan €.

Met daarin:

Symbol	Betekenis	Herkomst	Defaultwaarde
Lw1	Aantal woningen	Blok 1	N.v.t.
N ₄	Deelnamepercentage woningbouw	Blok 2	100%
N ₆	Vastrecht (€/jaar)	Blok 2	€ 270

7. Opbrengsten aansluitbijdrage woningbouw

$$\text{Aansluitbijdrage} : N_4 \times Lw_1 \times (N_7 - N'_7)$$

Met daarin:

Symbol	Betekenis	Herkomst	Defaultwaarde
Lw ₁	Aantal woningen	Blok 1	N.v.t.
N ₄	Deelnamepercentage woningbouw	Blok 2	100%
N ₇	Aansluitbijdrage (€/woning)	Blok 2	Nieuwbouw € 3.237 (zie opm.) Bestaande bouw € 2.070
N' ₇	Vergoeding bestaande gasinstallatie (€/woning)	Blok 2	€ 0

Opmerking: Dit bedrag²⁷ is gebaseerd op uitgespaarde eenmalige kosten t.o.v. de gassituatie en is incl. uitgespaarde eenmalige aansluitbijdrage gas (€ 663) en excl. BTW. Dit bedrag geldt voor nieuwbouwwoningen, waar geen gasaansluiting en CV-ketel inclusief toebehoren (o.a. rookgasafvoer) wordt aangelegd. In het model is dit bedrag instelbaar per type woning en per bouwjaarklasse.

Voor bestaande bouw met individuele ketel is het in de analyses logischer dit op € 2.070 te zetten, i.e. alleen de kosten van een ketelvervanging. Er is er daarbij van uitgegaan dat de warmteaansluiting wordt gerealiseerd op het moment dat de bestaande CV-ketel aan vervanging toe is.

²⁷ Bron: Tariefadvies warmte 2010 (EnergieNed).



In het model is het mogelijk om bij bestaande woningbouw een eenmalige vergoeding (N'_7) voor een nog niet afgeschreven installatie op te voeren, de default daarvan staat op nul.

De eenheid is € (de aansluitbijdrage is eenmalig).

8. Opbrengsten verkoop warmte woningbouw

$$\text{Verkoop warmte} : N_4 \times Lq_2 \times N_5w$$

Met daarin:

Symbool	Betekenis	Herkomst	Defaultwaarde
Lq_2	Warmtevraag woningbouw (GJ/jaar)	Blok 5	N.v.t.
N_4	Deelnamepercentage woningbouw	Blok 2	100%
N_5w	Warmteverkooptarief woningbouw (€/GJ)	Zie warmteprijs-formule woningen	Afh. Prijzen gas en elektra; Prijsscenario

De uitkomst uit deze formule is een bedrag in €/jaar.

De NCW over de looptijd moet vervolgens worden bepaald.

De eenheid is dan €.

9. Formule warmteprijs (warmteverkooptarief) o.b.v. NMDA (woningen)

$$\text{Warmteprijs} = \frac{1372 \times \text{gasprijs} - 48 \times \text{elektriciteitsprijs}}{34,99} = \text{€ per GJ}$$

De gasprijs in deze formule is in €/m³, de elektriciteitsprijs in €/kWh. De formule is ontleend aan het tariefadvies voor warmtelevering aan klein-gebruikers van brancheorganisatie EnergieNed²⁸, en gebaseerd op een steekproef onder woningen met gasverwarming en woningen aangesloten op een warmtenet, waarbij de steekproef zo is samengesteld dat beide groepen vergelijkbaar zijn. Het tariefadvies wordt jaarlijks herzien. De totale energiekosten van beide groepen worden aan elkaar gelijk gesteld (NMDA). Aangezien de energiegebruiken (m³, kWh, GJ) en de prijzen van gas en elektriciteit bekend zijn, kan uit deze gelijkstelling de prijs per GJ worden berekend.

NB: De factor voor de gasprijs in de formule is in m³/jr, de factor voor de elektriciteitsprijs in kWh/jr, en de noemer is het warmtegebruik in GJ/jr.

²⁸ http://www.energiened.nl/_upload/bestellingen/publicaties/363_313149i%20-%20Tariefadvies%20warmte%20KV%202011.pdf.



10. Formule kosten ruimteverwarming en tapwaterverwarming woningbouw

$$\text{Kosten ruimteverwarming} : N_{11} = \frac{Q_{rv}}{\eta_{rv} * \eta_{gebouw}} \times \frac{N_{13}}{31,65/1000}$$

$$\text{Kosten tapwaterverwarming} : N_{12} = \frac{Q_{tw}}{\eta_{tw}} \times \frac{N_{13}}{31,65/1000}$$

Met daarin:

Symbol	Betekenis	Herkomst
N_{13}	Gasprijs (€/m ³)	Blok 2
Q_{rv}	Warmtevraag ruimteverwarming (GJ/jaar)	Blok 2
Q_{tw}	Warmtevraag tapwaterverwarming (GJ/jaar)	Blok 2
η_{rv}	Redement ruimteverwarming op o.w. (t.b.v. NMDA)	Blok 2
η_{gebouw}	Gebouwefficiëncy voor ruimteverwarming	Blok 2
η_{tw}	Rendement tapwaterverwarming op o.w. (t.b.v. NMDA)	Blok 2

Deze formule is opgenomen ten behoeve van het bepalen van de kosten in geval van de *nulsituatie* van gasstook in de woningen. De kentallen zijn per type woningbouw opgegeven in de invoerspreadsheets.

De formule geldt voor één woning, er moet worden getotaliseerd over alle woningen in het gebied.

De factor 31,65/1.000 is de energie-inhoud van 1 m³ aardgas in GJ, op onderwaarde.

De uitkomst uit de formule is een bedrag in € per jaar.

De NCW over de looptijd moet vervolgens worden bepaald.

De eenheid is dan €.

Voor utiliteitbouw en glastuinbouw geldt een soortgelijke formule, met de gasprijzen voor utiliteit en glastuinbouw en de bijbehorende kentallen.

C.2.2 Opbrengsten utiliteitbouw

11. Opbrengsten vastrecht utiliteitsbouw

$$\text{Vastrecht} : \sum \frac{96,84}{Lq_3^{0,22}} \times N_{4,util}$$

Met daarin:

Symbol	Betekenis	Herkomst	Defaultwaarde
Lq_3	Aansluitwaarde utiliteit (kWth)	Blok 2	Vanuit inputbestand
$N_{4,util}$	Deelnamepercentage utiliteit	Blok 2	100%

De uitkomst van de breuk is een bedrag in € per kW.



De sommatie is over de aansluitvermogens van alle utiliteitbouw (i.e. LISA-records) in het gehele PC4-gebied, rekening houdend met het deelnamepercentage $N_{4,util}$ op het geheel.

De formule levert de jaarlijkse vastrechtinkomsten in € in een gebied. De NCW over de looptijd moet vervolgens worden bepaald. De eenheid is dan €.

12. Opbrengsten aansluitbijdrage utiliteitsbouw

De eenmalige aansluitbijdrage utiliteit is € 100 per kW (warmteaansluiting).

Met daarin:

Symbol	Betekenis	Herkomst/default
Lq_3	Aansluitwaarde utiliteit (kWth)	Blok 2
$N_{4,util}$	Deelnamepercentage utiliteit	Default: 100%
$N_{7,u}$	Eenmalige aansluitbijdrage utiliteit	100 euro per kW

De aansluitbijdrage is eenmalig.

De eenheid is €.

Zie hierboven voor de bepaling van de aansluitwaarde utiliteit.

13. Opbrengsten verkoop warmte utiliteitsbouw

Verkoop warmte : $Lq_4 \times N_{5u}$

Met daarin:

Symbol	Betekenis	Herkomst
Lq_4	Warmtevraag utiliteitsbouw (GJ/jaar)	Blok 5, rekening houden met deelnamepercentage utiliteit
N_{5u}	Warmteverkooptarief utiliteitsbouw (€/GJ)	Zie prijsformule warmte utiliteit

De uitkomst van de formule is een bedrag in €/jaar.

De NCW over de looptijd moet vervolgens worden bepaald.

De eenheid is dan €.

De warmtevraag utiliteitbouw wordt berekend door de warmtevraag 'bij de meter' (ruimteverwarming + tapwaterverwarming; in GJ per jaar per m² bvo) per type utiliteitbouw te vermenigvuldigen met de omvang van dat type utiliteitbouw in m² bvo in het gebied en met het deelnamepercentage utiliteitbouw van dat type. Vervolgens wordt gesommeerd over alle typen utiliteitbouw.



14. Formule warmteverkooptarief utiliteitsbouw

Tarief warmte : $N_s u = 36,68 \times N_{13}$ per GJ

Met daarin:

Symbol	Betekenis	Herkomst
N_{13}	Gasprijs (utiliteit) (€/m ³)	Blok 2

In de factor zit de gemiddelde efficiency van de CV-ketel verdisconteerd waarmee het gebouw anders zou worden verwarmd. Er is uitgegaan van NMDA-prijsstelling.

De eenheid is € per GJ.

C.2.3 Opbrengsten glastuinbouw

NB: De opbrengsten (en kosten) worden alleen gerealiseerd uit de tuinbouwkassen die verwarmd zijn. De andere kastypen krijgen géén warmte-aansluiting in het model, en realiseren dus ook geen opbrengsten voor warmte. De opbouw is analoog aan die bij utiliteitsbouw.

15. Opbrengsten vastrecht glastuinbouw

Vastrecht: Σ (vastrechtGTB)

De sommatie is over de vermogensvraag (in kW) van alle typen verwarmde glastuinbouw in een gebied, vermenigvuldigd met het deelnamepercentage (waarbij default = 100%). De vermogensvraag in kW wordt bepaald via vermenigvuldiging van het kental van de vermogensvraag per m₂ tuinbouw (in kW/m₂) met de omvang van het betreffende type tuinbouw in het gebied (in m₂).

De uitkomst uit de formule is in € per jaar.

De NCW over de looptijd moet vervolgens worden bepaald.

De eenheid is dan €.

16. Formule vastrecht glastuinbouw

Vastrecht is 0 €/jr

Vanwege het Niet-Meer-Dan-Anders-principe en omdat de huidige verwarmingsinstallatie (incl. gasaansluiting) blijft bestaan voor back-up, worden er geen vastrechtkosten in rekening gebracht. Voor nieuwbouw is dat in de praktijk ook zo.

Als er in analyseruns voor gekozen wordt om voor het vastrecht een bedrag in te voeren dan is de aanpak analoog aan die bij utiliteitsbouw: een vastrechtbedrag per kW per record; en rekening houdend met het deelnamepercentage glastuinbouw.



17. Opbrengsten aansluitbijdrage glastuinbouw

Aansluitbijdrage: Σ (aansluitbijdrageGTB)

De aansluitbijdrage is eenmalig.

De eenheid is €.

De berekening is analoog aan die bij utiliteitbouw.

18. Formule aansluitbijdrage glastuinbouw

Bij bestaande glastuinbouw wordt niets uitgespaard als op warmte wordt aangesloten omdat de bestaande warmteinstallatie i.h.a. blijft staan, de aansluitbijdrage is daarom gelijk aan nul gesteld. Voor nieuwbouw is ze gelijk gesteld aan die bij utiliteitbouw. De praktijk is overigens dat de aansluitbijdrage warmte in het geval van tuinbouw uitonderhandeld wordt voordat een project van start gaat.

Nieuwbouw: aansluitbijdrageGTB: $100 \times Lq_5$ [€]

Bestaand: aansluitbijdrageGTB: $0 \times Lq_5$ [€]

Met daarin:

Symbol	Betekenis	Herkomst
Lq_5	Aansluitwaarde glastuinbouw (kW)	Blok 2

19. Opbrengsten verkoop warmte glastuinbouw

Verkoop warmte : $Lq_6 \times N_{5g}$

Met daarin:

Symbol	Betekenis	Herkomst
Lq_6	Warmtevraag glastuinbouw (GJ/jaar)	Blok 5, rekening houdend met deelnamepercentage
N_{5g}	Warmteverkooptarief glastuinbouw (€/GJ)	Zie prijsformule warmte glastuinbouw

De uitkomst uit de formule is een bedrag in € per jaar.

De NCW over de looptijd moet vervolgens worden bepaald.

De eenheid is dan €.

20. Formule warmteverkooptarief glastuinbouw

Tarief warmte : $N_{5g} = 35,11 \times N_{gtb}$ per GJ

In de factor zit de gemiddelde efficiency van de CV-ketel verdisconteerd waarmee de kas anders zou worden verwarmd. Er is uitgegaan van NMDA-prijsstelling.

N_{gtb} is de gasprijs voor glastuinbouw, in €/m³.

De eenheid is € per GJ.



C.3 Kosten bij grootschalige warmtelevering

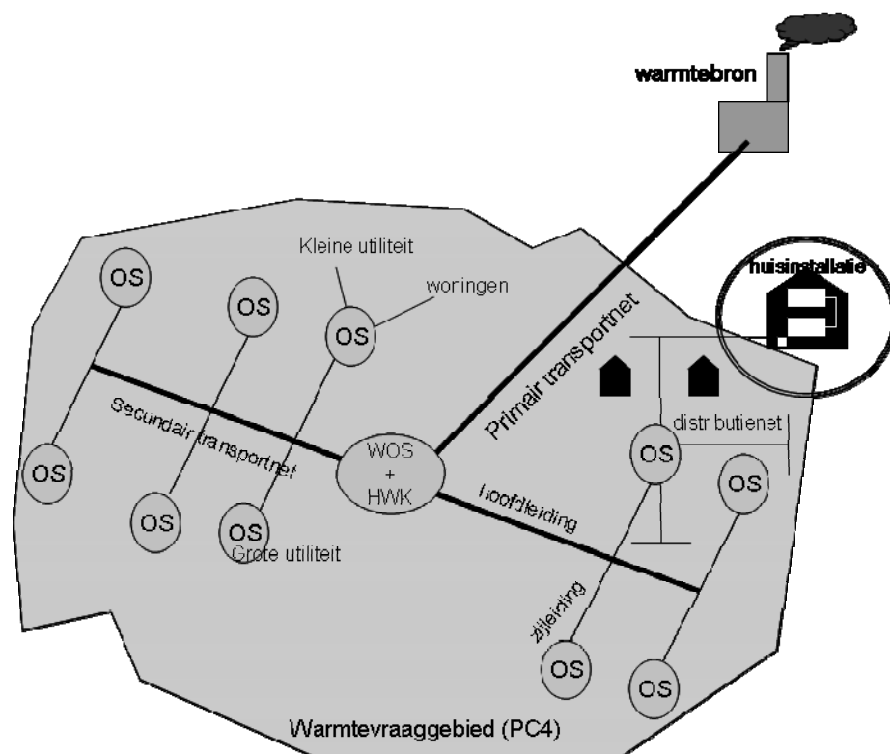
Om de verschillende kostenonderdelen goed inzichtelijk te maken is Figuur 8 opgenomen, waarin de onderdelen schematisch zijn weergegeven.

De kosten worden eerst besproken voor de woningen. Deze zijn gesplitst in enerzijds woninginstallatie en onderstation (Paragraaf C.3.2) en anderzijds secundair en primair warmtenet (Paragraaf C.3.3). Deze laatste bestaan uit:

- hoofd- en zijleiding van secundair net;
- warmte-overdrachtstation (WOS) en hulpwarmteketel (HWK);
- bijstook van de piekgasketel;
- grootschalige warmte-inkoop;
- primair transportnet.

De kosten van utiliteit en glastuinbouw lopen hetzelfde maar kennen enkele afwijkingen (Paragraaf C.3.4 respectievelijk Paragraaf C.3.5). De onderhoudskosten van het warmtenet worden bepaald als percentage van de investeringen. Hiermee wordt hieronder begonnen (Paragraaf C.3.1).

Figuur 8 Schematische weergave van het model met alle investeringsonderdelen



- WOS = Warmte-overdrachtstation (ontkoppelpunt tussen primaire- en secundaire warmtenet).
- HWK = Hulpwarmteketel (voor de pieklevering; de piek is goed voor ca. 50% van het maximaal gevraagde thermische vermogen, waarin maar ca. 10% van de warmte wordt geleverd).
- OS = Onderstation.

C.3.1 Percentage onderhoudskosten op de investeringen

Bij de eenmalige investeringen hoort een percentage voor de jaarlijkse onderhouds- en bedieningskosten. Deze moet worden meegenomen in de NCW-bepalingen van de kosten. De onderhouds- en bedieningskosten starten direct in het jaar van investering.

- uitkoppeling warmtebron: 5%;
- nieuwe bron: 5% (wijk-WKK (gasmotor), WKO, en geothermie);
- WOS + HWK: 3%;
- OS: 3%;
- primair net: 1%;
- secundair net: 1%;
- distributienet: 2,5%.

De opgegeven defaultkosten van de investeringen zijn prijspeil 2010 en excl. BTW. In het model is het functioneel mogelijk om per peiljaar de investeringscijfers te wijzigen.

C.3.2 Kosten woninginstallatie en onderstation bij woningbouw

Er wordt in de functionaliteit onderscheid gemaakt tussen niet-collectief verwarmde woningen en collectief verwarmde woningen, zie de toelichting over collectief verwarmde woningen verderop. De default is: niet-collectief verwarmde woningen.

Voor utiliteit en glastuinbouw volgt eenzelfde opbouw van de netkosten (i.e. aansluiting en distributienet, OS, secundair transportnet, WOS + HWK, primair transportnet. Er wordt aangegeven waar kosten, en opbouw daarvan, gemeenschappelijk zijn voor woningbouw, utiliteitbouw en tuinbouw. Woningbouw is om die reden het meest gedetailleerd uitgewerkt.

C.3.2.1 Niet-collectief verwarmde woningen

Voor de eenmalige aansluitingsbijdrage van de woninginstallatie in het distributienet voor niet-collectief verwarmde woningen wordt een vast bedrag per woning gehanteerd, dat verschilt per type woning.

Als defaultwaardes worden gehanteerd:

meergezinswoning: 1.500 €/woning
eengezinswoning: 4.500 €/woning

Een meergezinswoning betreft alle gestapelde bouw.

21. Formule thermisch vermogen onderstation

Bij niet-collectief verwarmde woningen. Hier wordt het thermisch vermogen van een standaard onderstation (OS) bepaald. Dit wordt gebruikt in verdere berekeningen.

$$P_{\text{const}} = a_{\text{opt}} \cdot ASW_{\text{gem}} \cdot y = 825 \text{ kW}$$

Met daarin:

a_{opt} = optimaal aantal woningen = 150

ASW_{gem} = gemiddelde aansluitwaarde voor een rijwoning = 11 kW

y = gelijktijdigheidsfactor woningen = 0,5



De gelijktijdigheidsfactor drukt uit dat niet alle woningen tegelijkertijd hun individuele aansluitcapaciteit vragen. De capaciteitsvraag op het niveau van het OS is aldus kleiner dan de som van de capaciteitsvraag van de aangesloten woningen.

22. Formule kosten 1 onderstation niet-collectief (OS)

Bij niet-collectief verwarmde woningen, voor 1 standaard onderstation

$$K_{OS, \text{niet-coll}} = P_{\text{const}} \cdot K_{OS/kW} = \text{€ } 82.500$$

met daarin:

$$P_{\text{const}} = 825 \text{ kW}$$

$$K_{OS/kW} = \text{kosten OS per kilowatt (inclusief behuizing)} = \text{€ } 100$$

Deze kosten zijn eenmalig, in €.

23. Formule aantal onderstations

Voor niet-collectief verwarmde woningen. Er worden maar een beperkt aantal woningen op een onderstation aangesloten. Met deze formule wordt het aantal benodigde onderstations berekend.

$$n_1 = P_{\text{max,OS}} / P_{\text{const}} = P_{\text{max,OS}} / 825 \text{ (naar boven afronden)}$$

met:

$$P_{\text{max,OS}} = \text{maximaal op OS-niveau benodigd vermogen voor niet-collectief verwarmde woningen.}$$

24. Formule kosten onderstations

Ten behoeve van niet-collectief verwarmde woningen.

$$K_{OS, \text{tot1}} = n_1 \cdot K_{OS, \text{niet coll.}}$$

Deze kosten zijn eenmalig, in €.

25. Formule maximaal benodigd vermogen op onderstationniveau

$$P_{\text{max,OS}} = 1/(1 - \beta) \cdot y \cdot \sum (ASW \cdot N_4 \cdot a_{\text{niet-coll.}}) [kW]$$

met:

$$\beta = \text{piekverliesfactor} = 0,05$$

$$y = \text{gelijktijdigheidsfactor} = 0,5$$

$$ASW = \text{aansluitwaarde van een bepaald woningtype (kW)}$$

$$N_4 = \text{deelnamerpercentage woningbouw}$$

$$a_{\text{niet-coll.}} = \text{aantal woningen van een bepaald woningtype, uitgezonderd de collectief verwarmde woningen}$$

NB: De gelijktijdigheidsfactor geldt feitelijk bij 40 woningen of meer, bij minder woningen is de gelijktijdigheid groter, oplopend tot 1,0 wanneer slechts enkele woningen worden beschouwd. In het model is er van uitgegaan dat altijd grote aantallen woningen op een OS worden aangesloten en is een gelijktijdigheid van 0,5 verondersteld.



De piekverliesfactor is het vermogensverlies tussen het onderstation en de woningaansluiting, als percentage van het beschikbare vermogen. Feitelijk zou ook met een iets grotere gelijktijdigheidsfactor kunnen worden gerekend, echter de piekverliesfactor sluit beter aan bij de fysieke werkelijkheid.

C.3.2.2 Collectief verwarmde bestaande woningen

Zoals eerder beschreven bevat het model voor woningbouw een differentiatie naar collectief verwarmde woningen en individueel verwarmde woningen. Als default is voor alle woningen het percentage 'collectief verwarmd' op nul gezet, bij gebrek aan actuele gegevens (zie ook eerdere beschrijving). Bij collectief verwarmde woningen (i.e. flats) is al een centrale CV-ketel aanwezig en een in pandig warmtedistributienet. Bij overgang op warmtelevering blijft die situatie bestaan, wordt het in pandige net overgenomen (aannee: tegen 1/3 deel van de vervangingswaarde) en wordt het onderstation in de bestaande ketelruimte geplaatst. Er is functionaliteit in het model om met een vergoeding voor overname van de bestaande CV-ketels te rekenen. Er is voorts van uitgegaan dat na 10 jaar het bestaande in pandige distributienet vervangen moet worden.

26. Formule kosten aansluitingsbijdrage woninginstallatie bij collectief verwarmde woningen

Bij collectief verwarmde woningen is 'de woninginstallatie' al aanwezig. Het betreft hier niet radiatoren e.d., maar die onderdelen van het warmtedistributienet die zich in de woning bevinden (mengsysteem, meter, etc.). De installatie heeft een beperkte restlevensduur, die op 10 jaar is gesteld. Na 10 jaar zal een deel van de investering alsnog moeten plaatsvinden. Gemodelleerd wordt dat de woninginstallatie voor 1/3 deel van de vervangingswaarde wordt overgenomen van de eigenaar.

$$\text{Kosten}_{\text{woning, coll}} = 0,33 \cdot y + (1 - 0,33) \cdot y / (1 + r)^{t - 1}$$

met:

- t = resterende levensduur van woninginstallatie (10 jaar)
- r = reële rentevoet (geldig voor de sector woningen)
- y = aanlegkosten distributienet meergezinswoningen (default: 1.500 €/woning)

Deze kosten zijn eenmalig, in €.

27. Formule aantal onderstations bij collectief verwarmde woningen

$$n_2 = P_{\text{max, coll}} / P_{\text{const}} = P_{\text{max, coll}} / 825 \text{ (naar boven afronden)}$$

met:

- $P_{\text{max, coll}}$ = maximaal op OS-niveau benodigd vermogen voor collectief verwarmde woningen



29. Formule maximaal benodigd vermogen voor collectief verwarmde woningen

$$P_{\max, coll} = 1/(1 - \beta) \cdot y \cdot \sum (ASW \cdot N_4 \cdot a_{coll.}) [kW]$$

met daarin:

- β = piekverliesfactor = 0,05
- y = gelijktijdigheidsfactor = 0,5
- ASW = aansluitwaarde van een bepaald woningtype (kW)
- N_4 = deelnamepercentage woningbouw
- $a_{coll.}$ = aantal woningen van een bepaald woningtype, uitgezonderd de niet-collectief verwarmde woningen

De uitkomst in de formule is in kW.

30. Formule vergoeding voor overname van overbodig geworden collectieve CV-ketels

$$K_{ketelvergoeding} = P_{\max, coll} \cdot 0,33 \cdot K_{ketel}$$

De uitkomst in de formule is een eenmalig bedrag in €.

NB: Deze functionaliteit is 'uitgezet' in het model; in een vervolgfase van het model kan op basis van praktijkonderzoek worden gezien of dit terecht is. Het ketelvermogen (kW) is in bovenstaande formule geval gelijk aan dat van het OS dat ervoor in de plaats komt. In totaal in een gebied dus gelijk aan $P_{\max, coll}$. De ketels worden overigens in de praktijk veelal niet meer gebruikt na overname, en hoeven dus ook niet te worden vervangen na verloop van tijd. Het betreft een bedrag dat in praktijksituaties nodig is in onderhandelingen om tot overeenstemming met de eigenaar van het huidige collectieve verwarmingssysteem te komen. De factor 0,33 komt uit de aanname dat het gehele bestaande distributiesysteem in de flats wordt overgenomen voor 1/3 van de vervangingswaarde. De praktijkwaarde is uiteraard afhankelijk van de werkelijke ouderdom van de ketels, die de werkelijke restwaarde bepaalt.

C.3.3 Kosten secundair en primair warmtenet

31. Formule per meter warmtetracé

Er is een formule opgesteld om de kosten per meter warmtetracé²⁹ te bepalen, afhankelijk van het te transporteren warmtevermogen.

In bestaand gebied inclusief herbestrating; geldig tot een vermogen van 115 MW.

$$K_{buis} = 3.309 - 0,1917 \cdot (P \text{ (in MW, en als } P < 115 \text{ MW)} - 120)^2 \text{ [€/m]} \\ [P \text{ in MW}]$$

met:

- P = $(n_1 + n_2) \cdot P_{const}/1.000 = (n_1 + n_2) \cdot 0,825$ (MW)
- n_1 = aantal OS voor niet-collectief verwarmde woningen
- n_2 = aantal OS voor collectief verwarmde woningen
- P_{const} = het vermogen van een standaard OS = 825 kW

²⁹ Een warmtedistributienet heeft altijd een aanvoer- en retourleiding.



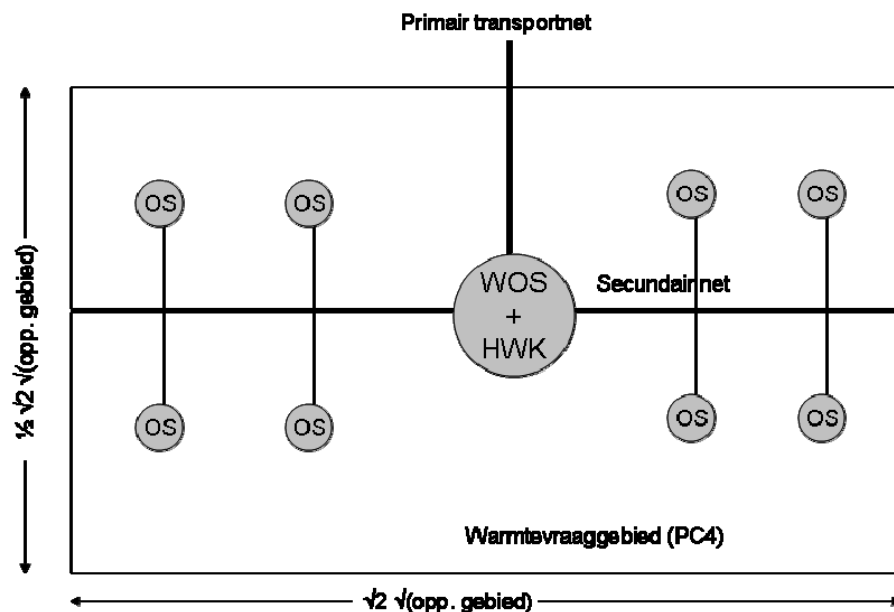
Deze kosten zijn eenmalig, in € per meter tracé. Let op: P is in MW, niet in kW.

Boven een te transporteren warmtevermogen van 115 MW is de formule niet meer geldig (het is een parabool). Per PC4-gebied zal de warmtevraag naar verwachting niet groter zijn dan circa 60 MW.

Als in het rekenmodel situaties voorkomen waarbij het te transporteren vermogen in het secundaire net groter is dan 115 MW, dan worden de kosten per meter tracé gelijk gesteld aan het maximum bij 115 MW. Deze situaties moeten in de output zichtbaar gemaakt worden en achteraf analyseerbaar zijn.

32. Formule kosten van de hoofdleiding (secundair net)

Figuur 9 Schematische weergave van het gebied



Om de kosten van de hoofdleiding van het secundaire net (zie Figuur 9) te kunnen bepalen wordt gerekend met de oppervlakte van het warmteleveringsgebied (i.e. PC4-gebied), zie ook Figuur 8 voor een schematische weergave van het net. De hoofdleiding van het secundaire net moet het volledig vermogen van de som van de er op aangesloten onderstations kunnen leveren vanuit het Warmteoverdrachtstation. Daarbij moet rekening gehouden worden met de gelijktijdigheden.

$$K_{\text{hoofdleiding}} = \alpha \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\text{oppgebied}} \cdot K_{\text{buis}}$$

α = omwegfactor = 1,25

oppgebied = oppervlakte van het PC4gebied (in m²)

De omwegfactor is geïntroduceerd als kostenverhogende factor in het model omdat het warmtenet niet altijd volgens rechte lijnen kan worden aangelegd in het gebied.

Deze kosten zijn eenmalig, in €.

33. Formule voor kosten van zijleidingen secundair net

Zie Figuur 9 voor een schematische weergave van het net. Elke zijleiding voedt het OS aan het eind ervan. Het vermogen van dat OS is het vermogen dat in de formule voor K_{buis} moet worden gehanteerd voor die zijleiding.

$$K_{\text{zijleiding}} = \alpha \cdot n \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{2} \cdot \sqrt{\text{oppgebied}} \cdot K_{\text{buis}}$$

met:

α = omwegfactor = 1,25

n = totaal aantal OS = $n_1 + n_2$

K_{buis} = zie eerdere formule [€/m]

oppgebied = oppervlakte van het PC4gebied (in m²)

Deze kosten zijn eenmalig, in €.

34. Formule kosten Warmteoverdrachtstation met hulpwarmteketel (WOS + HWK)

In het warmteoverdrachtstation (WOS) bevindt zich het ontkoppelpunt (warmtewisselaar) tussen het primaire transportnet en het secundaire distributienet in het warmtevraaggebied. In het WOS bevinden zich ook (grote) hulpwarmteketels voor de piekvraag. Dit zijn gasgestookte CV-ketels, waarmee in 50% van de capaciteitsvraag op het niveau van het WOS wordt voorzien (de piekvraag) en in circa 10% van de warmtevraag op jaarbasis. De HWK doet ook dienst als noodwarmtevoorziening in het geval de warmtebron of het primaire net uitvalt.

$$K_{\text{WOS}} = 0,5 \cdot P_{\text{sec}} \cdot \text{€ } 65.000$$

met:

P_{sec} = $(n_1 + n_2) \cdot 0,825$ MW

n_1 = aantal onderstations voor individueel aangesloten woningen

n_2 = aantal onderstations voor collectief aangesloten woningen

NB: P_{sec} is in MW.

Deze kosten zijn eenmalig, in €.

Deze kosten zijn voor het totaal van WOS plus hulpwarmteketels, waarbij de hulpwarmteketels de belangrijkste kostencomponent vormen.



35. Kosten bijstook (piekgasketel)

$$\text{Kosten bijstook} : (Lq_2 \times N_4 + Lq_4 \times N_4 + Lq_6 \times N_4) \times \frac{1}{(1 - N_3)} \times (1 - N_1) \times N_2 / \eta_{ketel}$$

Met daarin:

Symbol	Betekenis	Herkomst	Defaultwaarde
Lq ₂	Warmtevraag woningbouw (GJ/jaar)	Blok 5	N.v.t.
Lq ₄	Warmtevraag utiliteitsbouw (GJ/jaar)	Blok 5	N.v.t.
Lq ₆	Warmtevraag glastuinbouw (GJ/jaar)	Blok 5	N.v.t.
N ₁	Percentage grootschalige warmte	Blok 2	90%
N ₂	Brandstofprijs aardgas; voor de prijs voor bijstookgas wordt het prijspeil van gas voor de utiliteit genomen	Blok 2	Prijsscenario
N ₃	Warmteverliespercentage	Blok 2	10%
N ₄	Deelnamepercentage per type bebouwing	Blok 2	100%
<i>η_{ketel}</i>	Efficiency van de piekketel (op o.w.)		95%

Het percentage grootschalige warmte staat voor de hoeveelheid warmte-energie die geleverd wordt in het gebied vanuit de primaire transportpijp. Dit betreft 90% van de warmte-energie³⁰ in GJ en 50% van de benodigde capaciteit in kW. De rest van de warmte (en piekcapaciteit) komt uit de in het Warmte-overdrachtstation opgestelde gasgestookte piekwarmteketels, de zogenaamde ‘bijstook’ of ‘hulpwarmteketels’.

Het warmteverliespercentage is het warmteverlies in het net, op jaarbasis (GJ/jr, en uitgedrukt als percentage); warmte die dus wel wordt ingekocht maar niet verkocht kan worden.

Met ‘deelnamepercentage’ kan worden gesimuleerd dat niet alle bebouwing in een gebied aangesloten wordt op de warmtelevering. Voor een potentieel-bepaling staat de default op 100%. Voor warmtelevering aan nieuwbouw is dat ook de praktijk. Bij levering aan bestaande bouw is de praktijk dat niet alle gebouwen worden aangesloten, om uiteenlopende redenen.

De uitkomst van de formule is een bedrag in € per jaar. Dit moet netto contant worden gemaakt over de looptijd van het project.

³⁰ NB: Deze defaults kunnen in het model handmatig worden aangepast (‘fluide methode’), maar de gebruiker moet daarvoor wel goed kennis hebben van de zgn. jaarbelastingduurkromme van warmteprojecten.



36. Kosten grootschalige warmte-inkoop

Complementair aan de kosten van gasinkoop voor de piekgasketel(s) moet warmte worden ingekocht van de (rest)warmtebron.

$$\text{Kosten warmte - inkoop} : (Lq_2 \times N_4 + Lq_4 \times N_4 + Lq_6 \times N_4) \times \frac{1}{(1 - N_3)} \times (N_1) \times Nw$$

In de formule is:

Nw: de inkoopprijs in €/GJ van de betreffende warmtebron³¹.

Daarnaast is nog sprake van de eenmalige investeringskosten in de uitkoppelingsinstallatie van de restwarmte. Deze zijn per type warmtebron gegeven.

37. Formule kosten primair transportnet

Het primaire transportnet verbindt de warmtebron met het WOS, of WOS'sen in verschillende warmtevraaggebieden. Het vermogen van de buis is P_{prim} .

$$K_{\text{primaire transportleiding}} = \ell \cdot \alpha \cdot K_{\text{primair, buis}}$$

met:

$$\ell = \text{lengte net} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

$$\alpha = \text{omwegfactor} = 1,25$$

x_1, y_1 en x_2, y_2 zijn de coördinaten van de te koppelen punten

$$K_{\text{primair, buis}} = \text{in [€/m]}$$

$$P_{\text{prim}} = 0,5 \cdot (n_1 + n_2) \cdot 0,825 \text{ [MW]}$$

De factor 0,5 in de formule voor P_{prim} duidt aan dat 50% van het totale thermische vermogen wordt geleverd vanuit het primaire net, en de andere 50% vanuit de gasgestookte hulpwarmteketels die in het WOS staan opgesteld.

In het voormalige CE-rekenmodel kwamen situaties waarin thermische vermogen van > 115 MW werden getransporteerd niet voor. In Vesta komt dit echter wel voor. Voor de investeringskosten van de primaire buis wordt daartoe de volgende lineaire formule gehanteerd³²:

$$K_{\text{primair, buis}} = 548 + 23,96 \cdot P_{\text{buis}}$$

Met K in € per meter tracé en P in MW.

Deze kosten zijn eenmalig, in €.

³¹ In de implementatie is Nw bepaald in de inputspreadsheet KostenkentalenProductie, per peiljaar. Nw is in de spreadsheet afhankelijk van de brandstofprijs van de betreffende warmtebron, waarin ook reeds eventuele CO₂-kosten zitten opgenomen.

³² De defaultgegevens voor deze kosten moeten in een latere fase nog worden getoetst in de markt.



C.3.4 Kosten grootschalige warmtedistributie bij utiliteitbouw (Formules zijn gegeven alleen daar waar afwijkend van die bij woningbouw).

Net als bij de woningbouw worden eerst de in pandige kosten gegeven, vervolgens de kosten van het distributienet, OS, secundaire net, WOS + HWK en primaire net. Voor die laatste componenten worden alleen de wijzigingen t.o.v. woningbouw gegeven.

Van belang voor goed begrip van dit gedeelte van het model is dat er onderscheid wordt gemaakt tussen 'kleine' utiliteitgebouwen en 'grote' utiliteitgebouwen. Klein betekent een thermische vermogensvraag per gebouw van kleiner of gelijk dan 100 kW.

In het model zijn niet afzonderlijke gebouwen bekend maar afzonderlijke LISA-records. *Er wordt in het model aangenomen dat elk LISA-record een afzonderlijk utiliteitgebouw representeert.*

Kleine utiliteitgebouwen worden via een distributienet aangesloten op een standaard onderstation (OS) van 825 kW. Dat kan op eenzelfde OS zijn als waar woningbouw op wordt aangesloten. De kosten van het OS voor kleine utiliteitgebouwen zijn dus hetzelfde als voor woningbouw (€ 100 per kW, zie formule 22). Grote utiliteitgebouwen krijgen een eigen (in pandig) OS (zie formule 42). Merk op dat gelijktijdigheid van de warmtevraag, net als bij woningen, wel wordt verondersteld bij de kleine utiliteit maar niet bij de grote utiliteit. Bij de grote utiliteit wordt immers uitgegaan van aansluiting van één gebouw.

38. Formule kosten warmtemeters

Deze geldt voor zowel grote als kleine utiliteit.

$$\text{Kosten warmtemeters} = 810 + (1,2 \cdot P) \text{ [€]}$$

P: Vermogen in kW van de in het gebied aangesloten utiliteitbouw (zonder gelijktijdigheidfactor).

Deze kosten zijn eenmalig, in €.

39. Formule kosten warmtemenginstallaties

Deze kosten gelden alleen voor kleine utiliteit (< 100 kW/aansluiting). Grote utiliteit heeft een eigen OS en de menginstallatie is reeds onderdeel van die investering.

$$\text{Kosten menginstallaties} = 955 + (10 \cdot P) \text{ [€]}$$

P: Vermogen in kW van de in het gebied aangesloten utiliteitbouw (zonder gelijktijdigheidfactor).

Deze kosten zijn eenmalig, in €.



40. Formule distributiekosten kleine utiliteitbouw

$$\text{Distributiekosten kleine utiliteitbouw} = 136 [\text{€} / \text{kW}]$$

P: Vermogen in kW van de in het gebied aangesloten kleine utiliteitbouw (zonder gelijktijdigheidfactor).

Deze kosten zijn eenmalig, in €. De defaultwaarde is ontleend aan de investeringen in het distributienet bij 'meergezinswoningen' en een gemiddelde woningcapaciteit van 11 kW.

NB: Deze kleine utiliteitbouw wordt aangesloten op standaard OS. Het aantal van deze OS is $n_{\text{util, klein}}$, en volgt uit:

41. Formule aantal onderstations voor kleine utiliteit

$$n_{\text{util, klein}} = P / P_{\text{const}} = P / 825$$

met:

P = maximaal op OS-niveau benodigd vermogen voor kleine utiliteit, in kW

P wordt bepaald door de som te nemen van het thermisch aansluitvermogen voor kleine utiliteit in het gebied, maal een gelijktijdigheidsfactor. De gelijktijdigheidsfactor voor utiliteit is 0,7.

Het aantal $n_{\text{util, klein}}$ moet worden opgeteld bij de aantallen n_1 en n_2 voor kostenbepalingen voor OS bij de niet-collectieve woningbouw (die ook wordt beleverd vanuit standaard OS in het model, waarbij het OS uitpandig staat).

42. Formule kosten onderstation grote utiliteitsbouw

Kosten OS

$$\begin{aligned} \text{Tot } 3.000 \text{ kW} &= 20 + (65 - 11 \cdot (P - 0,1)) \cdot (P - 0,1) [\text{€} \cdot 1.000] \\ > 3.000 \text{ kW} &= \text{€}40 / \text{kW} \end{aligned}$$

Bovenstaande formule is in de implementatie vervangen door:

$$\text{Kosten OS} = C \cdot P$$

$$C: 74,3553 \text{ €} / \text{kW}$$

P: Vermogen grote utiliteitbouw in het gebied in MW (zonder gelijktijdigheidfactor).

Deze kosten zijn eenmalig, in €x1.000.

NB: Ook op de vermogensvraag van de grote utiliteitbouw zit een gelijktijdigheidsfactor (default: 0,7). Deze zit echter niet op het niveau van het OS maar op het niveau van het WOS.



43. Formule bepaling verkortingsfactor secundair transportnet

Het secundaire transportnet heeft voor de grote utiliteitbouw meer zijtakken doordat elk OS een eigen zijtak naar de secundaire hoofdleiding krijgt. Indien er in een gebied veel grote utiliteitgebouwen dicht bij elkaar staan, zou op deze manier een teveel aan kosten worden gerekend. Dit wordt gecorrigeerd door de lengte van de zijtakken van het secundaire net kleiner te nemen naar gelang het aantal grote utiliteitgebouwen per PC4-gebied toeneemt. De parameter hiervoor in het model is het totaal aantal OS per PC4-gebied (dus voor woningbouw plus grote en kleine utiliteit).

$$\text{Verkortingsfactorzijleiding} = 48 / (40 + n)$$

n = Totaal aantal onderstations in een PC4-gebied

Bij de bepaling van de kosten van de secundaire hoofdleiding, WOS+HWK en primaire transportleiding moet de vermogensvraag van de OS voor kleine en grote utiliteitbouw worden opgeteld bij die van de woningbouw. LET OP: op de vermogensvraag van de grote utiliteitbouw zit op het niveau van de WOS nog een gelijktijdigheidsfactor van 0,7.

C.3.5 Kosten grootschalige warmtedistributie glastuinbouw

Net als bij de woningbouw worden eerst de inpandige kosten gegeven, vervolgens de kosten van het distributienet, OS, secundaire net, WOS + HWK en primaire net. Voor die laatste componenten worden alleen de wijzigingen t.o.v. woningbouw gegeven. Ook de kosten van dienstleidingen (zie Figuur 10) worden apart gegeven.

Alleen *verwarmde* tuinbouw wordt op het warmtenet aangesloten!

Het model gaat er van uit dat elke kas een eigen OS krijgt, dat met een *dienstleiding* op de zijleiding van het secundaire transportnet wordt aangesloten, zie Figuur 10. Per aansluiting wordt een warmtemeter en een OS geïnvesteerd. Daarnaast zijn er kosten voor CO₂.

Er wordt verder van uitgegaan dat de tuinder een eigen gasgestookte back-upketel heeft (en daarom ook geen vastrecht warmte betaalt). De gelijktijdigheid van de warmtevraag van tuinbouw wordt gelijk aan 1,0 gesteld (default). Dit geldt zowel voor bestaande kassen als voor nieuwbouw.

Qua vorm van het gebied wordt er van uitgegaan dat een tuinbouwgebied, binnen een PC4-gebied, een rechthoekige vorm heeft met een breedte-lengteverhouding van 1:2. Midden door dit gebied over de kortste zijde loopt een weg met daarlangs de hoofdleiding van het totale gebied. Op dit niveau wordt gerekend met een gelijktijdigheid in capaciteitsvraag van 1,0.

Er wordt een extra zijleiding in het gebied aangelegd zodat ringen ontstaat, om volledige leveringszekerheid voor de tuinders te kunnen waarborgen (zie Figuur 1).

Voor tuinbouw worden de volgende hulpvariabelen gedefinieerd:

Lt = oppervlakte *verwarmde* glastuinbouw

= opp_groente + opp_bloemen + opp_overig

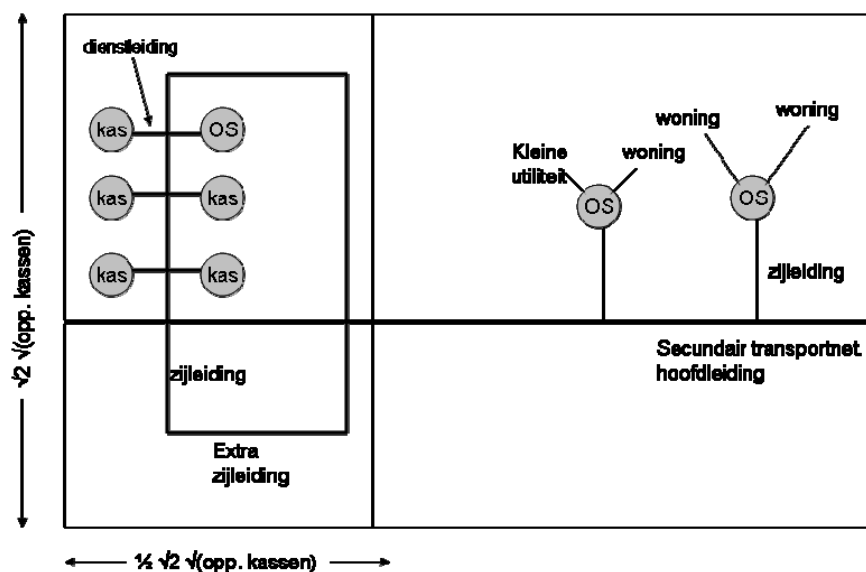
Pt = warmtevermogensvraag van het oppervlak *verwarmde* glastuinbouw

=

$(opp_groente \bullet aansluitP_groente) + (opp_bloemen \bullet aansluitP_bloemen) + (opp_overig \bullet aansluitP_overig)$



Figuur 10 Schematische weergave van gebied met warmtelevering aan glastuinbouw



44. Formule kosten warmtemeters

$$\text{Kosten warmtemeters} = 810 + (1,2 \cdot P) \text{ [€]}$$

P: Totale vermogensvraag vanuit het OS in kW, van de verwarmde tuinbouw in het gebied.

De kosten zijn eenmalig, in €.

45. Formule kosten CO₂-installatie

Tuinders kunnen niet zonder CO₂. Bij aansluiting op een warmtedistributienet wordt in de CO₂ voorzien door een CO₂-installatie.

Pas op: het oppervlak Lt is in hectare (10.000 m²) in deze formules.

Eenmalige installatiekosten: 1.000 x Lt [€]

Deze kosten zijn eenmalig, in €.

Jaarlijkse CO₂-kosten = (CO₂-vraag x CO₂-prijs x Lt) + (huurCO₂-installatie x Lt)

CO₂-vraag : 340 ton/ha/jaar

CO₂-prijs : 80 €/ton

Lt : Omvang verwarmde glastuinbouw (ha)

Huur CO₂-installatie: 1.600 €/ha/jaar

Dit zijn de kosten per jaar, in €.

Voor de totale kosten van CO₂ moeten de jaarlijkse kosten netto contant worden gemaakt over de looptijd van het project en opgeteld bij de eenmalige kosten.

46. Formule kosten onderstations tuinbouw

$$Kosten OS = 80 \cdot P \text{ [€]}$$

P: Totale vermogensvraag vanuit het OS in kW, van de verwarmde tuinbouw in het gebied.

Er wordt van uitgegaan in het model dat het OS geen eigen behuizing nodig heeft, hetgeen de kosten drukt.

De kosten zijn eenmalig, in €.

Voor bestaande- en nieuwbouw gelijk.

47a. Formule kosten secundair transportnet hoofdleiding

Gelijk aan kostenberekening bij woningbouw.

De kosten zijn eenmalig, in €.

47b. Formule kosten dienstleidingen

$$\text{kostendienstleidingen} = \left(\begin{array}{l} \left(10.000 \cdot \frac{\text{opp_groente}}{\text{gem_opp_groente}} \right) + \\ \left(6.000 \cdot \frac{\text{opp_bloemen}}{\text{gem_opp_bbemen}} \right) + \\ \left(6.000 \cdot \frac{\text{opp_overig}}{\text{gem_opp_overig}} \right) \end{array} \right)$$

De uitkomst is een eenmalig investeringsbedrag in €.

Opp_groente, opp_bloemen en opp_overig zijn de oppervlaktes van de verwarmde kassen in het gebied, in m². Met defaults:

Gem_opp_groente = 11.000 m², de gemiddelde grootte van een groentekas.

Gem_opp_bloemen = 9.000 m², de gemiddelde grootte van een bloemenkas.

Gem_opp_overig = 9.000 m², gemiddelde grootte van een kas, type 'overig'.

De eenheid van de factoren 10.000, 6.000 en 6.000 is Euro's.

Loodrecht op de hoofdweg zijn een aantal zijwegen gelegen waarlangs de kassen zijn gelegen. Er wordt van uitgegaan dat de groentekassen ongeveer vierkant zijn, en de bloemenkassen en overige verwarmde kassen net zo diep maar half zo breed. Hiermee kan het aantal zijwegen aan de hoofdweg worden uitgerekend. Elke kas krijgt een eigen OS.

Een eerste aanname is dat de gemiddelde grootte van een groentekas 11.000 m² is. Dit is de defaultwaarde voor de gem_opp_groente³³ in de formules. De diepte van de gemiddelde groentekas is de wortel hieruit.

³³ In het voormalige CE-rekenmodel is voor deze grootte nog onderscheid gemaakt tussen bestaande en nieuwe kassen, waarbij de gemiddelde grootte bij nieuwe kassen groter was. Dat onderscheid is hier weggelaten.



Vervolgens wordt:

- het aantal zijwegen bepaald;
- het vermogen van de zijleiding bepaald;
- de lengte van de zijleidingen bepaald;
- en volgen uiteindelijk de kosten van de zijleidingen.

48. Formule aantal zijwegen bestaande glastuinbouw

$$\text{helpt_aantal_zijwegen} = \frac{1}{2} \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{Lt}}{2 \cdot \sqrt{\text{gem_opp_groente}}}$$

Met *gem_opp_groente* het gemiddelde oppervlak van een groentekast: 11.000 m².

Deze *helpt_aantal_zijwegen* moet worden afgerond om het echte aantal zijwegen aan weerskanten van de hoofdweg te kunnen berekenen:

$$\text{aantal_zijwegen} = 2 \cdot \text{integer}(\text{helpt_aantal_zijwegen})$$

49. Formule vermogen zijleiding

$$P_{\text{ zijleiding}} = \left(\frac{(Pt)}{\text{aantal_zijwegen}} \right)$$

P_zijleiding = vermogen zijleiding [kW]
opp_groente (c.q. bloemen, overig) = oppervlakte verwarmde groentekassen (c.q. bloemen, overig) [m²]
aansluitP_bloemen (cq. ...) = aansluitvermogen per type verwarmde kas [kW/m²]

50. Formule totale lengte zijleidingen

De totale lengte van de zijleidingen kan uit de vorm van het gebied worden bepaald. Daarbij wordt in de praktijk aan de uiterste zijden nog twee leidingen aangelegd zodat ringen ontstaan. Deze twee leidingen zijn even lang als het gebied breed is. Dit is het tweede deel in onderstaande formule:

$$\text{Lengte_zijleidingen} = a \cdot \left(\frac{Lt}{2 \cdot \sqrt{\text{gem_opp_groente}}} + \sqrt{2 \cdot (Lt)} \right)$$

a: omwegfactor tuinbouwgebied.

a is in bestaand tuinbouwgebied = 1,7; in nieuw tuinbouwgebied = 1,3.

De waarde van *a* is relatief groot omdat er nog enige ruimte tussen de afzonderlijke kassen moet zitten.

De *lengte_zijleidingen* is in [m].



51. Formule totale kosten zijleidingen *bestaande* glastuinbouw

$$\text{kosten}_{\text{ zijleidingen}} = \text{Lengte}_{\text{ zijleidingen}} \cdot K_{\text{buis}}$$

Dit zijn eenmalige investeringskosten, in €.

Kbuis: Deze formule is al eerder gegeven, de kosten zijn afhankelijk van het te leveren vermogen [€/m]

Let op: In de formule voor Kbuis moet P in MW worden ingevuld.

52. Formule totale kosten zijleidingen *nieuwe* glastuinbouw

Voor nieuw glastuinbouwgebied wordt dezelfde formule gehanteerd (met omwegfactor voor nieuw glastuinbouwgebied), alleen met andere waarden voor de bepaling van Kbuis. Dit omdat er niet herbestraat hoeft te worden en het leggen van de leidingen in nieuw tuinbouwgebied goedkoper is.

$$K_{\text{buis, nieuwtb}} = 2.650 - 0,154 \cdot (P_{\text{ zijleidingen}} - 120)^2 \text{ [€/m]}$$

[NB: P in MW]

Voor de kosten van de secundaire hoofdleiding in het tuinbouwgebied geldt:

53. Formule kosten hoofdleiding tuinbouwgebied

$$\text{kosten}_{\text{ hoofdleiding}} = \text{Lengte}_{\text{ hoofdleiding}} \cdot K_{\text{buis}}$$

waarbij:

$$\text{Lengte}_{\text{ hoofdleiding}} = a \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot (\sqrt{Lt})$$

NB: Kbuis en a zijn hierboven reeds gegeven, en afhankelijk van of het bestaand of nieuw tuinbouwgebied betreft.

Het betreft eenmalige kosten, in €.

Het vermogen dat nodig is voor de glastuinbouw wordt geleverd door de WOS in het midden van de wijk. Voor de vermogensvraag vanuit de glastuinbouw geldt een gelijktijdigheid (default) van 1,0.

C.4 WKO (warmte-koudeopslag)

Voor WKO (warmte/koudeopslag) is aangenomen dat dit *op PC6-gebied* gerealiseerd wordt, in plaats van op PC4-niveau, en zonder koppelingen tussen PC6-gebieden onderling. De schaalgrootte van de aangesloten bebouwing is daarom circa een factor 100 kleiner. Er is wel sprake van een distributienet voor WKO in het model. Net als bij restwarmtelevering wordt uitgegaan van een rentabiliteitsafweging vanuit het oogpunt van de investeerder in het net. In de - nog schaarse - praktijk komen twee soorten WKO-systemen voor. Beide met een centrale bron (aquifer), maar de ene met individuele warmtepompen in de gebouwen (woningen), de andere met een collectieve centrale warmtepomp. In dit functioneel ontwerp is alleen het tweede systeem beschreven: een collectief WKO-systeem met centrale warmtepomp.



Belangrijk is om te beseffen dat er nog maar relatief weinig ervaring is in Nederland met dit soort collectieve WKO-systemen, de default-kostenkennallen hebben om die reden relatief grote onzekerheidsmarges.

Vooralsnog is de optie WKO in het model alleen mogelijk voor nieuwbouw van woningen en utiliteit. Bij grootschalige toepassing in de *bestaande* bouw zijn immers substantiële (en goeddeels qua omvang nog niet goed bekende) kosten nodig voor de installatie van lage temperatuur verwarmingssystemen.³⁴

Het model is opgebouwd rond drie investeringscomponenten:

1. De WKO-bron (doublet) in het PC6-gebied met alle toebehoren zoals centrale warmtepomp en behuizing.
2. Get WKO-distributienet (uitpandig) (kosten afhankelijk van aantal woningen c.q. omvang van utiliteit in het PC6-gebied).
3. Inpandige voorzieningen (kosten afhankelijk van de aansluitwaarde).

C.4.1 WKO woningbouw

Er wordt onderscheid gemaakt tussen uitpandige investeringen voor appartementen en niet-appartementen.

54. Totale warmte- plus koudevraag woningen

$$V = Lq_2 \text{ [GJ]} + 7,2 * LW_1$$

met daarin:

V	=	totale warmte- plus koudevraag woningen [GJ/jr]
Lq ₂	=	totale warmtevraag van de woningen in het PC6-gebied [GJ/jr]
LW ₁	=	totaal aantal woningen in het gebied (incl. appartementen)
7,2	=	defaultwaarde voor koudevraag per woning [GJ/jr]

55. Investeringskosten systeem bij *woningen* - collectieve warmtepomp

$$\text{Investering} = (K_{wvw} + K_{iw}) * x + B_w$$

K _{wvw}	=	kosten warmtevoorziening woning (warmte en koude) = ASW-warmte * 250 + ASW-koude * 225; in [€/woning] (inpandig)
ASW-warmte	=	6 kW [default]
ASW-koude	=	2 kW [default]
K _{iw}	=	kosten installatie- en leidingwerk woning = 2.450 [€/woning] (uitpandig)
x	=	aantal woningen in het gebied niet zijnde appartementen (met: x+y=LW ₁)
B _w	=	bron woningen = 100.000 [€]

Het betreft een eenmalige investering, in €.

³⁴ Om in Vesta hier mee om te gaan is de volgende optie overwogen maar uiteindelijk niet toegepast. Per woning en per m² utiliteit worden extra investeringskosten K_WKO meegenomen in het model. Bij bestaande woningen kan bijvoorbeeld € 100.000 worden ingezet, bij nieuwbouwwoningen: 0; bij bestaande utiliteit: 10 €/m², bij nieuwbouw utiliteit: 0. Bestaande woningen en utiliteit komen alleen in aanmerking voor WKO indien de gebouwefficiëncyverbeteringen op 'maximaal' (1.0) staan (aangenomen wordt dat hiermee een voldoende label B wordt bereikt). Bij Glastuinbouw: geen WKO mogelijk in het model.



56. Investeringskosten systeem bij *appartementen* - collectieve warmtepomp

Appartementen zijn meergezinswoningen (i.e. gestapelde woningbouw).

Investing: $(K_{wva} + K_{ia}) * y + B_a$ [€]

K_{wva} = kosten warmtevoorziening appartement (warmte en koude) = ASW-warmte * 250 + ASW-koude * 225 [€/app] (inpandig)

ASW-warmte = 5 kW [default]

ASW-koude = 2 kW [default]

K_{ia} = kosten installatie- en leidingwerk appartement = 150 [€/app] (uitpandig)

y = aantal appartementen in het gebied (met: $x+y=LW_1$)

B_a = bron appartementen = 95.000 [€]

Het betreft een eenmalige investering, in €.

57. Operationele kosten collectieve warmtepomp

Kosten = verbruik elektra [kWh/jr] * elektriciteitsprijs [€/kWh]

Verbruik elektra = $(1 / SPF_c) * V / 0,0036$;
van de warmtepomp, in [kWh/jr]

V = totale verbruik warmte+koude [GJ/jr]

SPF_c = Seasonal Performance Factor collectieve warmtepomp
= 3,5 (default)

Voor de elektriciteitsprijs wordt hier uitgegaan van de elektriciteitsprijs voor utiliteitbouw [in €/kWh]

De factor 0,0036 is voor de omrekenfactor van GJ naar kWh.

Het betreft een bedrag in €/jaar. Dit moet netto contant gemaakt worden over de looptijd.

58. Operationele kosten WKO

Kosten = onderhoud [€]

Onderhoud = € 1.000 [€/jr]

Het betreft een bedrag in €/jaar. Dit moet netto contant gemaakt worden over de looptijd.

59. Formule opbrengsten warmte- en koudelevering (WKO woningbouw - collectieve warmtepomp)

Totale opbrengsten = Vastrecht + Aansluitbijdrage (eenmalig) + Verkoop warmte + Verkoop koude.

60. Opbrengsten vastrecht woningbouw - collectieve warmtepomp

Gelijk aan opbrengst woningbouw bij restwarmtelevering (NMDA).

61. Opbrengsten aansluitbijdrage woningbouw - collectieve warmtepomp

Gelijk aan opbrengst woningbouw bij restwarmtelevering (NMDA).



62. Opbrengsten warmte- en koudeverkoop - collectieve warmtepomp

Opbrengst Warmte: Gelijk aan opbrengst woningbouw bij restwarmtelevering (NMDA).

Opbrengst Koude: Verkoop koude = $Lw_1 \cdot \text{koudeprijs}$

Koudeprijs = € 250 [per jaar per woning]

Het totaal is een bedrag in € per jaar (per gebied), dit moet netto contant gemaakt worden over de looptijd.

C.4.2 WKO - Utiliteit

In het model is in deze fase nog niet de situatie gemodelleerd dat elk utiliteitgebouw een eigen WKO kan hebben. Gemodelleerd is de situatie dat er een collectieve WKO-installatie wordt aangelegd, met collectieve warmtepomp en een distributienet, voor een groep utiliteitgebouwen. NB: Dit utiliteitnet is in de huidige fase van het Vesta-model niet hetzelfde WKO-distributienet als voor de woningbouw. In de - nog schaarse - praktijk bestaan verschillende technische configuraties voor collectieve WKO-netten. Voor modellering in Vesta is gekozen voor een configuratie met collectieve centrale warmtepomp. In latere fases van Vesta kan dit desgewenst worden uitgebreid met andere configuraties.

63. Investeringskosten systeem bij *utiliteit* - collectieve warmtepomp

Investing: $(K_{wvu} + K_{iu}) \cdot Lu + B_u$ [€]

K_{wvu} = kosten warmtevoorziening utiliteit (warmte en koude) = ASW-warmte * 250 + ASW-koude * 225 [€/m²] (inpandig)
ASW-warmte = 0,05 kW/m² bvo [default]
ASW-koude = 0,02 kW/m² bvo [default]
 K_{iu} = kosten installatie- en leidingwerk utiliteitgebouw = 2,50 [€/m² bvo] (uitpandig)
 Lu = omvang utiliteit [m² bvo]
 B_u = bron utiliteit = 95.000 [€]

Het betreft een eenmalige investering, in €.

64. Operationele kosten collectieve warmtepomp - utiliteit

Kosten = verbruik elektra [kWh] * elektriciteitsprijs [€/kWh]

Verbruik elektra = (warmte+koudevraag locatie)/(SPF_c * 0,0036)
SPF_c = Seasonal Performance Factor collectieve warmtepomp = 3,5 (default)
Elektriciteitsprijs = prijs in €/kWh, prijspeil utiliteitbouw
Warmtevraag locatie = Lq_4 [GJ/jr]
Koudevraag locatie = koudevraag per m² bvo * Lu [GJ/jr]

De koudevraag (GJ per m² bvo per jaar) wordt ingelezen uit de invoerfile met energiekentallen van utiliteit.

Het verbruik elektra betreft het verbruik van de collectieve warmtepomp.



Het totaal is een bedrag in € per jaar (per gebied), dit moet netto contant gemaakt worden over de looptijd.

65. Operationele kosten bron - utiliteit

Kosten³⁵ = onderhoud [€]

Onderhoud = € 1.000 [€/jaar]

Het totaal is een bedrag in € per jaar (per gebied), dit moet netto contant gemaakt worden over de looptijd.

66. Formule opbrengsten warmte- en koudelevering - utiliteit

Opbrengsten = Vastrecht + Aansluitbijdrage + Verkoop warmte + Verkoop koude.

67. Formule vastrecht utiliteitsbouw

Gelijk aan dat bij restwarmtelevering aan utiliteitbouw.

Het totaal is een bedrag in € per jaar (per gebied), dit moet netto contant gemaakt worden over de looptijd.

68. Opbrengsten aansluitbijdrage utiliteitsbouw

Gelijk aan dat bij restwarmtelevering aan utiliteitbouw (NB: afwijkend deelnamepercentage is functioneel mogelijk).

Het totaal is een eenmalig bedrag in €.

69. Opbrengsten verkoop warmte utiliteitsbouw

Gelijk aan dat bij restwarmtelevering aan utiliteitbouw (NB: afwijkend deelnamepercentage is functioneel mogelijk).

Het totaal is een bedrag in € per jaar (per gebied), dit moet netto contant gemaakt worden over de looptijd.

70. Opbrengsten verkoop koude utiliteitsbouw

Verkoop koude: koudevraag per m² bvo * Lu * koudetarief

Koudetarief³⁶ = 5 €/GJ

De koudevraag (GJ per m² bvo per jaar) wordt ingelezen uit de invoerfile met energiekentallen van utiliteit.

Het totaal is een bedrag in € per jaar (per gebied), dit moet netto contant gemaakt worden over de looptijd.

NB: Er wordt van uit gegaan dat aan de glastuinbouw geen koude wordt geleverd en WKO daar niet wordt toegepast (productkoeling is niet in het model opgenomen, alleen gebouwkoeling).

³⁵ Besloten is om de kleine post voor pompenergie (waterpomp) weg te laten.

³⁶ Een mogelijk alternatief voor een volgende fase van Vesta is om dit volgens NMDA-aanpak te modelleren en af te leiden uit de efficiency van een elektrische compressiekoelmachine en de elektriciteitsprijs.





Bijlage D Berekening van CO₂-emissies

De berekeningen van de CO₂-emissies staan opgesomd in Tabel 8. Het doel van Tabel 8 is om overzicht te geven van alle onderdelen in het model waar sprake is van effecten op CO₂-emissies.

Tabel 8 Berekening CO₂-emissies

Onderdeel	CO ₂ -emissies	Formulenummer
<i>Gebouwen</i>		
Metervraag elektriciteit	(Totale metervraag elektriciteit in het PC4-gebied)*CO ₂ -kental elektriciteit.	N.v.t., zie Blok 5 en 7.
Metervraag gas	(Totale metervraag gas in het PC4-gebied) * CO ₂ -kental gas.	N.v.t., zie Blok 5, 6 en 7.
Metervraag warmte	Emissies worden bepaald bij warmtebron plus piekkel, niet bij eindgebruiker van de warmtelevering.	N.v.t.
Energiebesparing	Levert een lagere metervraag. NB: De efficiency-optie 'elektrische warmtepomp' bij nieuwbouw is als lokale energieproductie gemodelleerd.	N.v.t., zie Blok 5 en 7.
<i>Lokale energieproductie</i>	<i>NB: De omvang van de lokale energieproductie wordt ook in de output weggeschreven, per type.</i>	
Micro-WKK	Gemodelleerd als lagere metervraag elektriciteit, plus hogere metervraag gas. Voor emissies o.b.v. metervraag zie verder bij 'gebouwen'.	N.v.t., zie Blok 5 en 7.
Zon-PV	Gemodelleerd als lagere metervraag elektriciteit. Voor emissies zie verder bij 'gebouwen'.	N.v.t., zie Blok 5 en 7.
Zonneboiler	Gemodelleerd als lagere metervraag voor tapwaterverwarming. Voor emissies zie verder bij 'gebouwen'.	N.v.t., zie Blok 5 en 7.
Elektrische warmtepomp (eWP)	Keuze-optie bij nieuwbouw vanaf peiljaar 2020. Het gebouw wordt dan 'all electric'. De extra elektriciteitsvraag van de eWP wordt opgeteld bij de metervraag elektriciteit. Voor emissies zie verder bij 'gebouwen'.	N.v.t., zie Blok 5 en 7.
<i>Centrale warmtebronnen</i>	<i>NB: Bij alle opties een aandeel vanuit de centrale bron, en een aandeel pieklast (voor emissies pieklast: zie daar).</i>	
Restwarmte en geothermie	Warmte-afname bij de bron * CO ₂ -emissie per GJ van de betreffende bron.	Zie formule 36, waarbij prijs Nw vervangen moet worden door CO ₂ -kental van de bron.
Wijk-WKK	Warmte-afname bij de bron * CO ₂ -emissie per GJ van de wijk-WKK (i.e. gasmotor). NB: In het defaultkental voor de gasmotor is alle CO ₂ -emissie van de gasmotor toegerekend aan de warmte. De door de	Idem.

Onderdeel	CO ₂ -emissies	Formulenummer
	wijkwkk geproduceerde elektriciteit is in het model dus emissieloos. De elektriciteitsproductie van de wijk-WKK wordt apart in de output weggeschreven. Voor analyses kan dit, <i>buiten het model</i> , verwerkt worden als emissieverlaging van de totale elektriciteitsproductie in Nederland. Het volume van de elektriciteitsproductie is (in GJ) gelijk aan dat van de warmteproductie van de wijk-wkk-gasmotor (in GJ) ³⁷ .	
WKO	CO ₂ -emissie volgt uit (elektriciteitsgebruik van de centrale ³⁸ warmtepomp)* CO ₂ -kental elektriciteit. NB: WKO is als enige centrale warmteoptie op PC6-niveau gemodelleerd.	Zie formules voor WKO woningen en utiliteit, elektriciteitsgebruik van warmtepomp. Formules 57, 58, 65, 66 en specifiek de termen elektriciteitsgebruik daarin (met prijs daarin te vervangen door CO ₂ -kental elektriciteit).
<i>Pieklast</i>		
Gasgestookte pieklasketel	Bij alle centrale warmteopties wordt een centrale pieklasketel verondersteld, die gasgestookt is. De CO ₂ -emissies volgen uit: (warmteproductie van de piekketel/efficiency van de piekketel)*CO ₂ -kental gas.	Zie formule 35, waarbij gasprijs N2 vervangen moet worden door CO ₂ -kental van aardgas.

Opmerking: bij warmtelevering aan glastuinbouwbedrijven wordt er in het model rekening mee gehouden dat het glastuinbouwbedrijf additionele kosten moet maken voor een CO₂-installatie. Dit is alleen in de financiële analyses meegenomen, het effect ervan op de CO₂-emissies is niet gemodelleerd.

³⁷ Het energetisch totaalrendement van de gasmotor is 80%, 50/50-verdeeld over warmte- en elektriciteitsproductie.

³⁸ Bij collectieve WKO met decentrale warmtepompen in de woningen, in plaats van een centrale warmtepomp, is de bepaling anders, deze optie is nog niet uitgewerkt in deze fase. Voor de CO₂-emissies van deze optie moet het elektriciteitsgebruik van de decentrale warmtepompen worden opgeteld en worden vermenigvuldigd met het CO₂-kental elektriciteit.



Bijlage E Berekening maatschappelijke- en eindgebruikerkosten

De kosten voor de nulsituatie en het alternatief worden uitgerekend door twee 'runs' met het model te maken, en die met elkaar te vergelijken; op sommige onderdelen is het mogelijk om de rekenresultaten op onderdelen in het model te bekijken.

De kosten voor de gasinfrastructuur en gasapparatuur in de gebouwen worden in het model niet als separaat zichtbare parameter gebruikt in rentabiliteitsafwegingen³⁹, maar worden wel bepaald in de runs om de maatschappelijke kosten te kunnen vergelijken met alternatieven waarin warmtenetten worden ingezet. Daarbij wordt er van uitgegaan dat de kosten van de gasinfrastructuur correct worden weergegeven door de NietMeerDanAnders-tarieven van warmtelevering (eenmalige aansluitbijdrage en jaarlijks vastrecht). Zie ook de tekst en voorbeelden in Hoofdstuk 9.

Onder belastingen bij energiedragers valt zowel de energiebelasting als de SDE-opslag op de energietarieven.

³⁹ Voor de goede orde: deze kosten spelen wel een rol bij de NMDA-tarieven voor warmtelevering.



Tabel 9 Berekening van maatschappelijke- en eindgebruikerskosten

Onderdeel	Maatschappelijk	Eindgebruikerskosten			Opmerking
		Woningen	Utiliteit en GTB	Exploitant warmtenet c.q. WKO	
<i>Gebouwen</i>					
Elektriciteitsvraag	Meterverbruik*tarief (excl. belastingen en BTW).	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen en BTW)	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen, excl. BTW).	N.v.t.	
Gasvraag (alleen indien aangesloten op gas)	Meterverbruik*tarief (excl. belastingen en BTW). Vastrecht warmte (excl. BTW). Aansluitbijdrage warmte (excl. BTW), annuïtair 4% over 30 jr.	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen en BTW). Vastrecht warmte (incl. BTW). Aansluitbijdrage warmte (incl. BTW), annuïtair 5,5% over 15 of 30 jr.	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen, excl. BTW). Vastrecht warmte (excl. BTW). Aansluitbijdrage warmte (excl. BTW), annuïtair 8% over 15 of 30 jr.	N.v.t.	Vastrecht en aansluitbijdrage <i>warmte</i> i.v.m. NMDA, om te kunnen vergelijken met alternatief.
Warmtevraag (alleen indien aangesloten op warmte of WKO)	N.v.t. (maatsch. kosten worden hoger in de keten bepaald).	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen en BTW).	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen, excl. BTW).	N.v.t.	
Energiebesparing	Investerings (excl. BTW).	Investerings (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 30 jr. bij gebouw, over 15 jr. bij verwarmingsinstallatie).	Investerings (excl. BTW; annuïtair 8% over 30 jr. bij gebouw, over 15 jr. bij verwarmingsinstallatie).	N.v.t.	
<i>Lokale energieproductie</i>					
Micro-WKK	Investerings (excl. BTW; annuïtair 4% over 15 jaar), effect op metervraag gas en elektra is al bij gebouwen bepaald.	Investerings (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 15 jaar), effect op metervraag gas en elektra is al bij gebouwen bepaald.	N.v.t.	N.v.t.	
Zon-PV	Investerings (excl. BTW; annuïtair 4% over 15 jaar), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald.	Investerings (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 15 jaar), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald.	Investerings (excl. BTW; annuïtair 8% over 15 jaar), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald.	N.v.t.	
Zonneboiler	Investerings (excl. BTW; annuïtair 4% over 15 jaar), effect op metervraag gas is al bij gebouwen bepaald.	Investerings (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 15 jaar), effect op metervraag gas is al bij gebouwen bepaald.	Investerings (excl. BTW; annuïtair 8% over 15 jaar), effect op metervraag gas is al bij gebouwen bepaald.		

Onderdeel	Maatschappelijk	Eindgebruikerskosten Woningen	Utiliteit en GTB	Exploitant warmtenet c.q. WKO	Opmerking
Elektrische warmtepomp (eWP)	Investerings (en bijkomende gebouwverbeteringskosten i.g.v. toepassing in bestaande bouw) (excl. BTW; annuïtair 4% over 15 jaar voor eWP en over 30 jaar voor de gebouwverbetering), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald. NB: woning heeft géén gasaansluiting!	Investerings (en bijkomende gebouwverbeteringskosten i.g.v. toepassing in bestaande bouw) (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 15 jaar bij eWP en over 30 jaar bij gebouwverbetering), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald. NB: woning heeft géén gasaansluiting!	Investerings (en bijkomende gebouwverbeteringskosten i.g.v. toepassing in bestaande bouw) (excl. BTW; annuïtair 8% over 15 jaar bij eWP en over 30 jaar bij gebouwverbetering), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald. NB: woning heeft géén gasaansluiting!	N.v.t.	
<i>Centrale warmtebronnen</i>					
Restwarmte, geothermie	Alle investeringen in bron, of uitkoppeling daarvan, en net met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 4% over 30(*) jaar). Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW). Jaarlijkse exploitatiekosten (warmte-inkoop) excl. BTW en belastingen.	N.v.t.	N.v.t.	1. Alle investeringen in bron, of uitkoppeling daarvan, en net met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 6% over 30(*) jaar); minus ontvangen eenmalige aansluitbijdragen. 2. Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW). 3. Jaarlijkse exploitatiekosten (warmte-inkoop) excl. BTW en belastingen. 4. Minus inkomsten uit vastrecht warmte en uit warmteverkoop.	

Onderdeel	Maatschappelijk	Eindgebruikerskosten		Exploitant warmtenet c.q. WKO	Opmerking
		Woningen	Utiliteit en GTB		
Wijk-WKK	<p>Alle investeringen in bron en net met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 4% over 30(*) jaar).</p> <p>Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW).</p> <p>Jaarlijkse exploitatiekosten (warmtekostprijs) excl. BTW en belastingen.</p>	N.v.t.	N.v.t.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alle investeringen in bron en net met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 6% over 30(*) jaar); minus ontvangen eenmalige aansluitbijdragen. 2. Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW). 3. Jaarlijkse exploitatiekosten (warmtekostprijs) excl. BTW en belastingen. 4. Minus inkomsten uit vastrecht warmte en uit warmteverkoop. 	NB: In de warmtekostprijs in de modelinput zit de opbrengst van de elektriciteitsverkoop door de WKK al verdisconteerd.
WKO	<p>Alle investeringen in bron en net met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 4% over 30(*) jaar).</p> <p>Extra investeringen in gebouwverbetering bij toepassing in bestaande bouw (excl. BTW; annuïtair 4% over 30 jr).</p> <p>Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW).</p> <p>Jaarlijkse exploitatiekosten (elektriciteit warmtepomp) excl. BTW en belastingen.</p>	<p>Extra investeringen in gebouwverbetering bij toepassing in bestaande bouw (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 30 jr).</p>	<p>Extra investeringen in gebouwverbetering bij toepassing in bestaande bouw (excl. BTW; annuïtair 8% over 30 jr).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alle investeringen in bron en net met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 6% over 30(*) jaar); minus ontvangen eenmalige aansluitbijdragen. 2. Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW). 3. Jaarlijkse exploitatiekosten (elektriciteit warmtepomp) excl. BTW en incl. belastingen. 4. Minus inkomsten uit vastrecht warmte en koude en uit warmteverkoop. 	

Onderdeel	Maatschappelijk	Eindgebruikerskosten		Exploitant warmtenet c.q. WKO	Opmerking
		Woningen	Utiliteit en GTB		
<i>Pieklast</i>					
Gasgestookte pieklasketel	Alle investeringen in piekkelstel (excl. BTW; annuïtair 4% over 30(*) jaar). Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW). Jaarlijkse exploitatiekosten (gasinkoop) excl. BTW en belastingen.	N.v.t.	N.v.t.	Alle investeringen in piekkelstel (excl. BTW; annuïtair 6% over 30(*) jaar). Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW). Jaarlijkse exploitatiekosten (gasinkoop) excl. BTW en incl. belastingen.	

(*) Opmerking: omdat er in het model een tijdvertraging van 2 jaar zit tussen netinvestering en eerste warmtelevering aan bestaande bouw wordt de annuïteit hiervoor gecorrigeerd. Hierbij wordt dezelfde methode gebruikt als bij het contant maken: NCW van de kosten delen door de factor die gebruikt is om de 28 jaar opbrengsten te verdisconteren. Deze factor is de inverse van de $NcwDuration$: $(p^S - p^E)/r$ met $p = (1+r)^{-1}$; met S = aantal jaren voor start en E = aantal jaar voor einde. Aangezien r in $[jaar^{-1}]$ is, is de eenheid van $NcwDuration$ $[jaar]$.



Bijlage F Overzichtstabellen

F.1 Algemeen

Het Vesta-model is sterk geografisch van aard. Naast de geografische outputs zijn er ook tabelmatige outputs gedefinieerd. Voorbeelden daarvan zijn opgenomen aan het eind van deze bijlage.

Gaandeweg de implementatie is er in toenemende mate naar gestreefd om een uniforme wijze van prefixing van item-namen te gebruiken, als volgt:
1^e (hoofd)letter betreft het soort grootheid:

- O = Opbrengsten;
- K = Kosten;
- P = Vermogen;
- V = Verbruik.

2^e (kleine)letter betreft de tijds- en/of categorieaanduiding voor zover dat verrekening in de tijd bepaalt:

- i = eenmalige investering;
- j = jaarlijkse kosten;
- m = o.b.v. de maatschappelijke rentevoet geannulariseerde investeringen;
- w = o.b.v. de rentevoet voor woningen geannulariseerde investeringen;
- u = o.b.v. de rentevoet voor utiliteiten geannulariseerde investeringen;
- g = o.b.v. de rentevoet voor glastuinbouw geannulariseerde investeringen.

Suffixen:

- m: per meter;
- 30: geannualiseerd obv een afschrijvingstermijn van 30 jaar;
- 15: geannualiseerd obv een afschrijvingstermijn van 15 jaar;
- 28: geannualiseerd obv een afschrijvingstermijn van (EindJaar-StartJaar) jaren na oprenting van de investering van 0 tot StartJaar;
- Ep: EnergieProducent (van een warmteoptie).

F.2 Kosten en baten

Dit is vooralsnog in Vesta bekend als CashFlow.

De CashFlow tabel geeft een overzicht van geannualiseerde kosten gerubriceerd naar kostensoorten (rijen) en kostenplaatsen (kolommen). Warmte opties zijn zowel kostensoort (voor eindgebruikers) als kostenplaats (de warmteoptie producenten moeten zelf ook inkopen). Het verschil tussen de totale ontvangsten (= kolomtotaal) en kosten (= rijtotaal) is de winst voor het betreffende soort producent.

Eenheid mega (= miljoen) € per jaar

Kolommen: Sectoren of in boekhoudtermen Kostenplaatsen

Oj_Totaal: Totale opbrengsten. De totale opbrengsten zijn gelijk aan de som over de opbrengsten van de sectoren, warmteopties en subsidie, dus wat er in totaal betaald wordt aan de betreffende kostensoort. Voor de rijen zijn de totale opbrengsten bepaald door de betalingen per kostenplaats te sommeren.

Kj_Totaal: Kosten, totaal. Alleen gedefinieerd voor de warmteopties aangezien de andere kostensoorten niet als kostenplaats zijn opgenomen en gelijk gesteld aan de cellen (Totaal, warmte-



optie); dit betreft dus de uitgaven die t.b.v. de realisatie van de betreffende warmteopties zijn gedaan.

Oj_Netto: Netto opbrengsten, totaal. De netto opbrengsten zijn gelijk aan het verschil tussen de totale opbrengsten en de totale kosten.

Sectoren

Woning: Deel van sector woningen, bestaat uit bestaande bebouwing waarbij een deel is gesloopt (zonder vervanging) of vervangen. Tevens is inbreiding opgenomen.

UitlegWoning: Deel van sector woningen, alleen uitleg.

Utiliteit: Deel van sector utiliteit, bestaat uit bestaand (sloop, vervanging en inbreiding vindt niet plaats).

UitlegUtiliteit: Deel van sector utiliteit, bestaat uit uitleg.

Glastuinbouw: Deel van sector glastuinbouw, bestaand verminderd met afname van areaal.

UitlegGlastuinbouw: Deel van sector glastuinbouw: uitleg d.w.z. areaal in nieuw gebied.

Warmteopties

RestWarmte: Warmteoptie restwarmte.

GeoThermie: Warmteoptie geothermie.

Wijk-WKK: Warmteoptie wijk-WKK.

WKO: Warmteoptie WKO.

Subsidie: Subsidie is momenteel niet geïmplementeerd maar is opgenomen voor toekomstig gebruik.

Rijen = kostensoorten

Energiebesparing

Kapitaalslasten op basis van maatschappelijke rentelast en kosten van bediening en onderhoud van energiebesparing door efficiencyverbetering van gebouw en installatie voor de sectoren. Niet gedefinieerd voor de warmteopties.

Lokale opwekking

Kapitaalslasten op basis van maatschappelijke rentelast:

1. Zonneboiler, zon-PV, elektrische warmtepomp en micro-WKK voor de sectoren.
2. puntbron alsmede de investeringen van warmtedistributie voor de warmteopties. De kosten van warmtewinning zijn gelijk aan de door de puntbron geleverde hoeveelheid warmte vermenigvuldigd met de productieprijs van warmte uit de puntbron voor de warmteopties. Bevat tevens de geannualiseerde investeringskosten van de bron, het primaire en secundaire warmtenet.

Gas

1. Maatschappelijke kosten van ingekocht aardgas (= verbruik * commodity prijs van aardgas), vastrecht en kapitaalslasten op basis van maatschappelijk rentetarief van aansluitbijdrage voor de sectoren.
2. Maatschappelijke kosten van ingekocht aardgas (= omvang * commodity prijs van aardgas) voor de bijstook van warmtelevering voor de warmteopties behalve WKO. WKO heeft namelijk geen bijstook met aardgas.
3. Evenzo voor inkoop hoofdstook ten behoeve van wijk-WKK.



Elektriciteit

1. Maatschappelijke kosten van ingekocht elektriciteit (= omvang *commodity prijs van elektriciteit) voor de sectoren.
2. Maatschappelijke kosten van ingekocht elektriciteit (= omvang * commodity prijs van elektriciteit) voor de elektrische warmtepomp van WKO.

Warmteopties (Restwarmte, Geothermie, WKO en wijk-WKK)

Zie kolommen Oj_Totaal, Kj_Totaal en Oj_Netto voor deze kolommen en de sectoren. De cellen zijn 0 voor de kolommen met warmteopties aangezien er geen onderlinge leveringen tussen verschillende warmteopties verondersteld worden.

Onderhoud en verbruik

Jaarlijkse kosten van onderhoud en bediening van warmtetransport en - distributie (warmtenetten, warmteleidingen, warmte overdrachtstation, hulp warmteketel en onderstation) voor de warmteopties alsmede onderhoud elektrische warmtepomp voor WKO. Maatschappelijke baat van de levering van koude door WKO voor woningen. In de situatie zonder WKO is verondersteld dat er geen koudebehoefte is in woningen. Bij het toepassen van WKO wordt wel koude geleverd. Deze wordt beschouwd als baat en daarom als negatieve kosten geteld. Bij utiliteit wordt door WKO voldaan aan de koudebehoefte zoals deze ook zonder WKO bestaat. Bij utiliteit is daarom geen sprake van een (extra) baat. Bij glastuinbouw is WKO niet toepasbaar.

CO₂-heffing

Betaalde CO₂-heffing over de inkoop van aardgas (indien dat een CO₂-component zou hebben) en elektriciteit.

Energieheffing

Betaalde energieheffing over de inkoop van aardgas en elektriciteit.

BTW

Gedragen BTW over de inkoop van kapitaal (tegen maatschappelijk tarief), diensten en energie.

Risicopremie

Opslag op de kapitaalslasten berekend met de 'gangbare' rentevoet van de sector. Bij de warmteopties wordt de rentevoet gehanteerd van de energieleverancier en zijn de kapitaallasten na aftrek van geannualiseerde ontvangen aansluitbijdrage.

Totaal

Gemaakte kosten van de sector of energieleverancier volgens de eindgebruikersbenadering. Gelijk aan de som over bovenstaande rijen.

Toelichtingen

De Cashflow tabel is gebaseerd op het concept van de Leontief's transaction tableau (zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Input-output_model). Hierbij zijn tevens de financiële effecten voor de overheid (in termen van belastingopbrengsten) inzichtelijk gemaakt⁴⁰.

⁴⁰ Een referentie voor de indirecte public finance effecten van pijpen bouwen, zie Lectures on public economics, Stiglitz of: http://en.wikipedia.org/wiki/Public_economics.



In de Leontief's transaction tableau worden transactiebedragen [MEGA EUR per jaar] opgenomen:

Kolommen zijn: directe consumenten/financiers: WUG (=Wonen, Util, Glbt) x (Bestaand, Uitleg), WarmteOpties (RW, WKO, WKK, GT = GeoThermie), subsidies (if any) en totale ontvangsten, de getransponeerde totale kosten en de netto baten per sector.

Rijen zijn leveranciers en kostensoorten, te weten:

- Kostensoorten:** Energie Besparing en (Lokale)Opwekking: kapitaallasten tegen de maatschappelijke 4% over 30 respectievelijk 15 jaar. Bij de kolommen voor de WarmteOpties staan hier de kosten van de investeringen tegen de maatschappelijke 4% over de gebruiksperiode.
- Gas:** Directe levering aan WUG (incl. t.b.v. micro-WKK), bijstook voor warmteopties en primaire input voor wijk-WKK, tarief voor commodity prijs incl. resource usage value + transport excl. Energieheffing en CO₂-opslag.
- Elektriciteit:** Directe levering aan WUG (incl. t.b.v. eWP), t.b.v. WKO en negatief de teruglevering in de kolom wijk-WKK: commodity prijs incl. resource usage value + transport, excl. energieheffing en CO₂-opslag.
- Warmteopties:** De leveringen aan WUG.
Overige Maatschappelijke Kosten: onderhoud %, zowel privaat als bij deWarmteoptie kolommen: kosten per verbruikseenheid bij Restwarmte en WKO.
- CO₂-heffing:** Wordt beschouwd als internationaal verhandelbaar goed en gerekend tot maatschappelijke kosten. Zolang gasverbruik niet onder een trading regime valt worden aan de gerelateerde CO₂-emissie geen maatschappelijke kosten toegekend.
- Energieheffing:** (EnergieBelasting, SDE-heffing).
- BTW:** (alleen voor (uitleg) wonen, BTW-investeringen worden o.b.v. maatschappelijke rentevoet geannualiseerd).
- RisicoPremie:** Het verschil tussen o.b.v. x%/jr privaat gerekende kapitaallasten en de o.b.v. 4%/jr berekende kapitaallasten in de kolommen voor de Eindgebruikers (op energiebesparing/ 30 jr en LokaleOpwekking/15 jr) en Warmteoptie investeringen de vanaf startjaar tot stopjaar belasten; Risicopremie op eventuele BTW-opslag op investering wordt hier ook meegenomen.

De eindgebruikerskosten zijn de kolomtotalen voor WUG.

De netto opbrengsten voor de producent van een warmteoptie zijn in dit tableau te vinden doordat het betreffende rijtotaal (= opbrengsten) is verminderd met het betreffende kolomtotaal (= kosten); dit is hier alleen voor de Warmteopties relevant aangezien dit de enige sectoren zijn die hier zowel vrager als aanbieder zijn.

De directe effecten op de publieke schatkist(en) is het rijtotaal voor Energieheffing, en eventueel BTW en eventueel CO₂-heffing minus het eventuele totaal van de kolom subsidies.

Uit de transactiematrix is af te leiden dat:

Maatschappelijke kosten (incl. commodity) + baten energieproducenten + netto overheidsbaten + RisicoPremie = eindgebruikerskosten.



F.3 Energiebalans

Dit is vooralsnog in Vesta bekend als EnergyFlow.

Eenheid: PJ per jaar

Kolommen = soorten afnemers (eindgebruikers en warmteoptie producenten)

Totaal: Energielevering door leverancier, totaal. Voor alle rijen is totale energielevering gelijk aan de som over de sectoren en warmteopties.

Input: Energiegebruik door leverancier. Alleen gedefinieerd voor de warmteopties en gelijk gesteld aan de cel (TOTAAL, warmte-optie).

Netto: Netto energielevering, totaal. De netto energielevering is gelijk aan het verschil tussen de totale energielevering en het totale energiegebruik. Deze is (meestal) negatief voor de warmte-opties vanwege energieverlies van energieconversie en transport.

Overige kolommen: zie KostenBaten (CashFlow).

Rijen = soorten leveranciers

Energiebesparing

Niet gedefinieerd. Energiebesparing uit zich in verminderd aardgas, warmte en elektriciteitsverbruik.

Lokaleopwekking

1. Warmteproductie van zonneboiler en elektriciteitsproductie van zon-PV voor sectoren. Niet meegenomen zijn elektrischewarmtepomp en micro-WKK.
2. Warmtelevering van de puntbron voor restwarmte en geothermie.

Gas

Aardgasgebruik van sectoren, bijstook van restwarmte en geothermie en stoken van wijk-WKK.

Elektriciteit

Elektriciteitsverbruik van sectoren en van elektrische warmtepomp van WKO.

Warmteopties (Restwarmte, Geothermie, WKO en wijk-WKK)

Warmtelevering aan de sectoren. De cellen hebben geen betekenis voor de kolommen met warmteopties.

Overige kolommen: geen betekenis

Totaal

Totaal energiegebruik van de sector of warmte-optie. Gelijk aan de som over bovenstaande rijen. Let op: PJelektrisch en PJaardgas en PJwarmte worden bij elkaar opgeteld.



F.4 CO₂-balans

Dit is vooralsnog in Vesta bekend als CO₂Flow.

Eenheid: kton CO₂-emissie per jaar

Kolommen

- Totaal: CO₂-emissie, totaal. Voor alle rijen is totale energielevering gelijk aan de som over de sectoren en warmteopties.
- *Overige kolommen: zie KostenBaten (CashFlow).*

Rijen

Energiebesparing

Niet gedefinieerd. Energiebesparing uit zich in verminderd aardgas, warmte en elektriciteitsverbruik.

Lokaleopwekking

- Niet gedefinieerd voor sectoren.
- CO₂-emissie van puntbronnen voor restwarmte en geothermie.

Gas

CO₂-emissie van aardgasgebruik van sectoren, bijstook van restwarmte en geothermie en stoken van wijk-WKK.

Elektra

CO₂-emissie van elektriciteitsverbruik van sectoren en van elektrische warmtepomp van WKO.

Overige kolommen: geen betekenis

Totaal

Totaal CO₂-emissie van de sector of warmteoptie. Gelijk aan de som over bovenstaande rijen.

F.5 Voorbeelden van outputtabellen

Onderstaand zijn een drietal voorbeelden van outputtabellen opgenomen:

1. Kosten en Baten (Cashflow).
2. Energiebalans (Energyflow).
3. CO₂-balans (CO₂-flow).

De outputs betreffen Nederland als geheel.



Figuur 11 Schermafdruck van Cashflowtabel uit Vesta

Revision: 1419
 Run: /Runs/TrendPrijzen/Run4Combi/R2050/indicatoren/InputOutput/CashFlow
 Date: 18-4-2011
 Unit: M_Eur/Jr

id	CostsFlow Label	Oj_Totaal	Kj_Totaal	Oj_Netto	Woning	UitlegWoning	Utiliteit	UitlegUtil	Glastuinbouw	UitlegGITb	RestWarmte	GeoThermie	WijkWKK	WKO	Subsidie
0	'EnergieBesparing'	6.944	-	6.944	3.941	-	3.003	-	-	-	-	-	-	-	-
1	'LokaleOpwerking'	26.483	-	26.483	7.841	1.576	14.378	2.253	-	-	340	1	-	95	-
2	'Gas'	8.273	-	8.273	4.193	397	2.860	302	372	134	16	0	-	-	-
3	'Elektra'	2.364	-	2.364	1.467	257	154	60	517	182	-	-	-	35	-
4	'RestWarmte'	715	601	114	434	16	237	27	0	-	-	-	-	-	-
5	'GeoThermie'	1	1	0	0	-	0	1	-	-	-	-	-	-	-
6	'WKO'	228	211	16	173	51	-	4	-	-	-	-	-	-	-
7	'WijkWKK'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	'Onderhoud & Verbruik'	113	-	113	48	14	-	0	-	-	172	0	-	4	-
9	'CO2 Heffing'	518	-	518	345	60	36	14	93	33	-	-	-	8	-
10	'Energie heffing'	5.416	-	5.416	4.274	608	107	91	202	71	10	0	-	52	-
11	'BTW'	4.859	-	4.859	4.298	561	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	'RisicoPremie'	9.193	-	9.193	2.083	226	6.111	693	-	-	63	0	-	18	-
TOTAAL		65.107	813	64.293	29.002	3.737	26.507	3.445	1.183	420	601	1	-	211	-
MaatschKstn		44.696													
'RestWarmte'		114													
'GeoThermie'		0													
'WKO'		16													
'WijkWKK'		-													
'Energie heffing'		5.416													
'BTW'		4.859													
'RisicoPremie'		9.193													
SUM (Rows - EP cols)		64.293													
SUM Bebouwing		64.293													
Verschil		0,057													

Figuur 12 Schermafdruck van Energyflowtabel uit Vesta

Revision: 1419
 Run: /Runs/TrendPrijzen/Run4Combi/R2050/indicatoren/InputOutput/EnergyFlow
 Date: 18-4-2011
 Unit: PJ / Jr
 KanBesparen=1
 Aandeelwarmte=1

id	EnergyFlow Label	Totaal	Input	Netto	Woning	UitlegWoning	Utiliteit	UitlegUtil	Glastuinbouw	UitlegGITb	RestWarmte	GeoThermie	WijkWKK	WKO	Subsidie
0	'EnergieBesparing'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	'LokaleOpwerking'	196	-	196	44	6	112	15	-	-	19	0	-	-	-
2	'Gas'	311	-	311	160	-	78	-	52	19	2	0	-	-	-
3	'Elektra'	111	-	111	74	13	-8	3	20	7	-	-	-	2	-
4	'RestWarmte'	19	22	-2	12	0	6	1	0	-	-	-	-	-	-
5	'GeoThermie'	0	0	-0	0	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-
6	'WKO'	4	2	3	3	1	-	0	-	-	-	-	-	-	-
7	'WijkWKK'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	'Onderhoud & Verbruik'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	'CO2 Heffing'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	'Energie heffing'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	'BTW'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	'RisicoPremie'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAAL		641	23	618	292	20	189	19	72	26	22	0	-	2	-



Figuur 13 Schermafdruck van CO2flowtabel uit Vesta

Revision: 1419
 Run: /Runs/TrendPrijzen/Run4Combi/R2050/indicatoren/InputOutput/CO2Flow
 Date: 18-4-2011
 Unit: kton/jr

KanBesparen=1
Aandeelwarmte=1

id	CO2Flow Label	Totaal	Woning	UitlegWoning	Utiliteit	UitlegUtil	Glastuinbouw	UitlegGITb	RestWarmte	GeoThermie	WijkWKK	WKO	Subsidie
0	'EnergieBesparing'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	'LokaleOpwerking'	280	-	-	-	-	-	-	280	-	-	-	-
2	'Gas'	17.473	8.991	-	4.368	-	2.932	1.054	127	0	-	-	-
3	'Elektra'	17.251	11.512	2.014	-1.209	474	3.096	1.092	-	-	-	272	-
4	'RestWarmte'	407	244	-	133	22	0	-	-	-	-	-	-
5	'GeoThermie'	0	0	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-
6	'WKO'	272	206	56	-	10	-	-	-	-	-	-	-
7	'WijkWKK'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	'Onderhoud & Verbruik'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	'CO2 Heffing'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	'Energie heffing'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	'BTW'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	'RisicoPremie'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TOTAAL	35.683	20.953	2.070	3.292	506	6.028	2.146	407	0	-	272	-

