



Energy research Centre of the Netherlands

# **Restwarmtebenutting**

## **Potentiëlen, besparing, alternatieven**

**B.W. Daniëls**

**A.K. Wemmers**

**C. Tigchelaar**

**W. Wetzels**

## Verantwoording

Dit rapport is geschreven in opdracht van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. Het projectnummer bij ECN is 5.0582.01.03, rapportnummer ECN-E--11-058.

Contactpersoon voor dit project is Bert Daniëls (tel +31-224-564426, e-mail: [daniels@ecn.nl](mailto:daniels@ecn.nl)).

Naast de auteurs hebben de volgende mensen informatie aangeleverd en kritisch meegekeken: Arjan van der Weiden (AgNL), Arjan Plomp (ECN). Marijke Menkveld (ECN) heeft het rapport gecoread. De opmaak is verzorgd door Kim Stutvoet-Mulder (ECN). De verantwoordelijkheid voor de inhoud berust echter volledig bij de auteurs.

## Abstract

This report provides an inventory of potential and costs for waste heat utilization in the Netherlands for low temperature application in households, services and greenhouse horticulture towards 2020. Despite large amounts of available waste heat, the amount that makes sense to be used in heat distribution for households, offices and greenhouses is relatively limited: an estimated 20 to 45 PJ. Deployment of this waste heat would result in an estimated 10-25 PJ saving of primary energy. The main cause for this apparent discrepancy between a large supply of waste heat and limited possibilities for using it, is the poor match between supply and demand: heat is often not available at the right temperature level, the right time and the right place. Moreover, alternatives for deployment of waste heat on the supply side and alternative heat sources on the demand side, may be more attractive in terms of savings, emission reductions and costs. The quantitative results that are shown represent indications of effects on energy use, emissions and costs, but do not reflect specific cases.

# Inhoud

Lijst van tabellen	4
Lijst van figuren	4
Lijst van boxen	5
Samenvatting	6
1. Inleiding	7
1.1 Doel	7
1.2 Hoeveel restwarmte is zinvol te gebruiken?	7
1.3 Leeswijzer	8
1.4 Aanpak	9
2. Warmtebenutting: combineren van vraag en aanbod	10
2.1 Potentieel restwarmtebenutting	10
2.1 Soorten bronnen en bestemmingen	11
2.2 Temperatuurniveau	15
2.3 Gelijktijdigheid op korte en lange termijn	15
2.4 Afstand, dichtheid en schaal	16
2.5 Alternatieven	17
2.6 Overige factoren	18
3. Warmtedistributie en alternatieven	20
3.1 Warmtenetwerken	20
3.2 Energiebesparing en CO <sub>2</sub> -emissiereductie	21
3.3 Kosten	27
3.4 Collectieve alternatieven	29
3.5 Individuele alternatieven	29
4. Aanbod restwarmte	33
4.1 Aanpak	33
4.2 Sectoren	35
4.2.1 Industrie	35
4.2.2 Afvalverbrandingsinstallaties	39
4.2.3 Elektriciteitscentrales	39
5. Vraag naar warmte	42
5.1 Aanpak	42
5.1 Totaalbeeld vraag	42
5.2 Sectoren	42
5.2.1 Huishoudens	42
5.2.2 Utiliteitsbouw	45
5.2.3 Glastuinbouw	45
Referenties	47
Bijlage A Beschikbare warmte	50
Bijlage B Aannames beperkingen	51
Bijlage C Aannames warmtedistributie	54
Bijlage D Aannames individuele opties dienstensector en woningbouw	57

## Lijst van tabellen

Tabel 2.1	<i>Indicatieve besparingen, emissie-effecten en kosten bij verschillende vraag-aanbod combinaties.</i>	12
Tabel 2.2	<i>Effect op de kosten van warmtelevering van diverse factoren (+ gunstig, - ongunstig)</i>	14
Tabel 3.1	<i>Indicatieve kentallen voor energiebesparing en CO<sub>2</sub>-emissiereductie bij verschillende vraag-aanbodcombinaties</i>	22
Tabel 3.2	<i>Berekening van indicatieve kentallen voor energiebesparing bij verschillende vraag-aanbodcombinaties</i>	23
Tabel 3.3	<i>Indicatieve meerkosten warmtelevering, 5000 woningen</i>	28
Tabel 3.4	<i>Indicatieve meerkosten warmtelevering, 25000 woningen</i>	28
Tabel 3.5	<i>Geothermie voor verschillende vraagsectoren</i>	29
Tabel 3.6	<i>Individuele alternatieven: energiebesparing in de dienstensector, 2020</i>	30
Tabel 3.7	<i>Individuele alternatieven: emissiereductie in de dienstensector, 2020</i>	30
Tabel 3.8	<i>Individuele alternatieven woningen: Bandbreedtes voor energiebesparing, 2020</i>	31
Tabel 3.9	<i>Individuele alternatieven woningen: Bandbreedtes voor emissiereductie, 2020</i>	31
Tabel 4.1	<i>Aanbod van warmte op 80 en 120 graden Celsius</i>	35
Tabel 5.1	<i>Ontwikkeling warmtevraag voor ruimteverwarming na isolatie en gasvraag per woning zonder Schoon&amp;Zuinig beleid</i>	43
Tabel 5.2	<i>Cases voor de woningbouw met score op kansen voor warmtelevering</i>	44
Tabel A.1	<i>Aanbod van warmte op 80 en 120 graden Celsius</i>	50
Tabel B.1	<i>Aannames voor de beschikbare warmte op 80 en 120 graden, de aansluiting tussen vraag en aanbod, en de beschikbaarheid van alternatieven</i>	51
Tabel C.1	<i>Algemene referentiegegevens</i>	54
Tabel C.2	<i>Aannames warmtebronnen</i>	55
Tabel C.3	<i>Aannames distributiesysteem</i>	55
Tabel C.4	<i>Aannames bestemmingen van warmte</i>	56
Tabel D.1	<i>Energievraag utiliteitsgebouwen</i>	57
Tabel D.2	<i>Uitgangspunten energievraag woningen</i>	57

## Lijst van figuren

Figuur 3.1	<i>Overzicht warmtenetwerken, schaalniveaus en alternatieven</i>	20
Figuur 3.2	<i>Het opwekkingsrendement van elektriciteit en energiebesparing van warmtedistributie</i>	26
Figuur 3.3	<i>Het opwekkingsrendement van elektriciteit en emissiereductie van warmtedistributie</i>	26
Figuur 3.4	<i>De emissiefactor van elektriciteit en de emissiereductie van individuele alternatieven</i>	32
Figuur 3.5	<i>Het opwekkingsrendement elektriciteit en de besparing van individuele alternatieven</i>	32

## Lijst van boxen

Box 1.1	<i>Zinvol versus rendabel</i>	8
Box 1.2	<i>Wat valt buiten deze studie?</i>	9
Box 2.1	<i>Restwarmtelevering en de Nederlandse doelen voor energie en klimaat</i>	13
Box 2.2	<i>Warmtelevering en de allocatie van emissierechten in het ETS</i>	19
Box 3.1	<i>Energiegebruik voor restwarmteinzet?</i>	25
Box 3.2	<i>Referentierendement elektriciteitsproductie</i>	27
Box 4.1	<i>Industrie aan industrie</i>	34
Box 4.2	<i>Restwarmte beschikbaar? De opties</i>	38
Box 4.3	<i>Levering warmte door AVI's aan industrie</i>	39

## Samenvatting

Benutting van restwarmte van elektriciteitscentrales en industrie kan energiebesparing en CO<sub>2</sub>-emissreducties opleveren. Uit deze studie blijkt dat het deel dat praktisch en zinvol te benutten is voor warmtedistributie in Nederland relatief beperkt is, ondanks een grote beschikbaarheid van restwarmte. Zinnvolle benutting betekent hier dat de restwarmtebenutting daadwerkelijk energie bespaart en/of CO<sub>2</sub>-emissies reduceert, dat de kosten acceptabel zijn, en dat er geen alternatieven zijn die goedkoper of makkelijker ongeveer dezelfde energiebesparing of emissiereductie kunnen opleveren. Dit praktisch en zinvol te benutten deel ligt tot 2020 naar schatting tussen de 25 en 45 PJ. Inzet hiervan bespaart 10 tot 25 PJ aan fossiele brandstof. De netto CO<sub>2</sub>-emissiereductie die dit oplevert is 0,6 tot 1,3 Mton. Deze netto emissiereductie bestaat uit een toename van de emissies bij de warmteproducent, en een afname bij de warmteontvanger. Omdat deze laatste meestal buiten het Europese emissiehandelssysteem valt, is de afname van emissies buiten het Europese emissiehandelssysteem hoger, namelijk 0,9 tot 2,0 Mton. Binnen dit potentieel variëren besparingen en kosten sterk. Slechts een deel van dit potentieel zal bij implementatie netto baten opleveren.

Het zinvol te benutten potentieel omvat de mogelijkheden voor restwarmtelevering die een substantiële energiebesparing opleveren, en waarvoor geen betere of goedkopere alternatieven zijn. Om restwarmte te kunnen benutten, moeten aanbod en vraag matchen. De mogelijkheden voor restwarmtebenutting, de potentiële energiebesparing en emissiereductie, en de kosten van restwarmtebenutting worden beïnvloed door vijf factoren:

- 1) Wat voor soorten bronnen en bestemmingen van warmte kunnen aan elkaar gekoppeld worden. Wat zijn de eigenschappen van deze potentiële bronnen en bestemmingen
- 2) Het temperatuurniveau: Passen temperatuurniveaus van vraag en aanbod bij elkaar?
- 3) De gelijktijdigheid op korte en lange termijn: Sluit het aanbodpatroon aan bij het vraagpatroon? Zullen de bron en de bestemming van de warmte beide nog lang genoeg bestaan?
- 4) De nabijheid, dichtheid en schaal.
- 5) De alternatieven: Zijn er nu of op termijn goedkopere of betere mogelijkheden om restwarmteproductie te vermijden, de warmtevraag te verminderen of op een andere manier in te vullen?

Elk van de vijf factoren beïnvloedt energiebesparing, emissiereducties en kosten. De factoren beïnvloeden elkaar onderling: Hoe gunstiger de match ten aanzien van temperatuur, gelijktijdigheid, afstand, dichtheid en schaal, des te groter de besparingen en des te lager de kosten zullen zijn voor een bepaald soort bron en bepaald soort bestemming.

Dit rapport schat met een top-down benadering op basis van de vijf factoren in hoeveel restwarmte benut kan worden en hoeveel energiebesparing dat oplevert. Omdat de analyse op hoofdlijnen is, zijn de resultaten beperkt tot bandbreedtes.

# 1. Inleiding

## 1.1 Doel

Het benutten van restwarmte is een vaak genoemde mogelijkheid om energie te besparen. De signalen over de toepassingsmogelijkheden van restwarmte zijn echter tegenstrijdig. Grote hoeveelheden beschikbare restwarmte staan in contrast met de beperkte toepassing in de praktijk. Over restwarmtebenutting is wel veel informatie beschikbaar, maar deze informatie is verbrokkeld en geeft geen overzicht van de mogelijkheden in Nederland en de energiebesparing die dat op zou leveren. Hierdoor is niet te bepalen welke bijdrage beleid zou kunnen leveren aan een grotere toepassing van restwarmte.

Dit rapport schat in hoeveel restwarmte vanuit de industrie en aftapwarmte van elektriciteitscentrales zinvol te benutten is. Ook maakt het inzichtelijk hoe het komt dat – ondanks grote hoeveelheden beschikbare restwarmte – de mogelijkheden om restwarmte te benutten beperkt zijn. Zinnige benutting betekent hier dat de restwarmtebenutting daadwerkelijk energie bespaart en/of CO<sub>2</sub>-emissies reduceert, dat de kosten acceptabel zijn, en dat er geen alternatieven zijn die goedkoper of makkelijker ongeveer dezelfde energiebesparing of emissiereductie kunnen opleveren.

## 1.2 Hoeveel restwarmte is zinvol te gebruiken?

Uit de wet van behoud van energie volgt dat alle energie die in Nederland wordt gebruikt (circa 2800 PJ) uiteindelijk als restwarmte vrijkomt. Om die warmte te kunnen benutten, moeten aanbod en vraag wel matchen. De mogelijkheden voor restwarmtebenutting, de potentiële energiebesparing en emissiereductie, en de kosten van restwarmtebenutting worden beïnvloed door vijf factoren:

- 1) Wat voor soorten bronnen en bestemmingen van warmte kunnen aan elkaar gekoppeld worden? Wat zijn de eigenschappen van deze potentiële bronnen en bestemmingen?
- 2) Het temperatuurniveau: Hoeveel warmte, van welk temperatuurniveau, is winbaar? En aan hoeveel warmte van welke temperatuur is behoefte?
- 3) De gelijktijdigheid op korte en lange termijn: Sluit het aanbodpatroon aan bij het vraagpatroon? Zullen de bron en de bestemming van de warmte beide nog lang genoeg bestaan?
- 4) De afstand, dichtheid, schaal: Hoeveel bronnen en bestemmingen van warmte liggen voldoende dicht bij elkaar in de buurt?
- 5) Zijn er alternatieven? Zijn er mogelijkheden om restwarmteproductie te vermijden, de warmtevraag te verminderen of op een andere manier in te vullen?

Dit rapport schat op basis van de bovenstaande factoren in hoeveel restwarmte benut kan worden, hoeveel energiebesparing dat oplevert, en hoe groot de kosten zijn. Omdat de analyse op hoofdlijnen is, zijn de resultaten beperkt tot bandbreedtes. De factoren beïnvloeden elkaar onderling: Hoe gunstiger de match ten aanzien van temperatuur, gelijktijdigheid, afstand, dichtheid en schaal, des te groter de besparingen en des te lager de kosten zullen zijn voor een bepaald soort bron en bepaald soort bestemming. Een grotere afstand hoeft niet te betekenen dat warmtelevering onmogelijk wordt, maar zal wel leiden tot hogere kosten hoger en lagere besparingen, waardoor lokale alternatieven relatief aantrekkelijker zijn. Maar de eigenschappen van de bron en bestemming zelf blijven ook van invloed.

Buiten de vijf factoren zijn er ook nog andere barrières die bepalend zijn voor de benutting van restwarmte, maar deze maken niet uit voor het technische of economische potentieel. Een voorbeeld is de organisatorische complexiteit met betrokkenheid van meerdere partijen met vaak tegengestelde belangen. Dit kan beperkingen betekenen voor de praktisch te realiseren restwarmtebenutting, en een rol spelen bij de keuze tussen restwarmte-inzet en alternatieven.

### Box 1.1 *Zinvol versus rendabel*

Dit rapport brengt het zinvol in te vullen potentieel in kaart, en niet het rendabele potentieel. Dit in het licht van de lange levensduur van restwarmteprojecten en de infrastructuureigenschappen. Een belangrijke reden hiervoor is dat het rendabele potentieel sterk afhangt van energie- en CO<sub>2</sub>-prijzen, die veranderlijk zijn. Bovendien zijn voor het realiseren van de lange-termijn ambities voor klimaat (uitgaande van de 2-graden doelstelling) hoe dan ook maatregelen nodig die binnen de huidige context niet rendabel zouden zijn. Een rendabel potentieel heeft daarom een beperkte houdbaarheid.

Het nu in kaart gebrachte zinvol in te vullen potentieel omvat daarom ook delen van het potentieel die in de huidige context niet rendabel zijn, maar die tegen de achtergrond van ambitieuze klimaatdoelstellingen wel in beeld kunnen komen: restwarmtebenutting die daadwerkelijk energie bespaart en/of CO<sub>2</sub>-emissies reduceert, tegen acceptabele kosten acceptabel in de zin dat er geen alternatieven zijn die goedkoper of makkelijker ongeveer dezelfde energiebesparing of emissiereductie kunnen opleveren. Bij hogere energie- en/of CO<sub>2</sub>-prijzen zal een groter deel van dit potentieel rendabel worden, maar dat geldt ook voor de alternatieven.

Een zinvol potentieel voor restwarmtebenutting is dus een containerbegrip. Het betekent dat er een match van temperatuur, tijd en plaats aanwezig is, en er perspectief is dat er op langere termijn qua kosten of effecten geen betere alternatieven bestaan:

- Er zijn koppelingen tussen aanbod en vraag mogelijk die energie besparen of CO<sub>2</sub>-emissies reduceren.
- Er is langere termijn continuïteit in deze koppeling.
- Er is zicht op rentabiliteit op langere termijn bij een toenemende noodzaak tot besparing ten opzichte van alternatieven op langere termijn.

Met deze top-down studie is het mogelijk om een globale indicatie te geven van de mogelijkheden voor restwarmte in Nederland. Restwarmte en warmtedistributieprojecten zijn echter altijd maatwerk, en lokale omstandigheden spelen daarbij een grote rol. Dat betekent dat voor specifieke locaties projecten wel of niet aantrekkelijk kunnen zijn, in afwijking van de verwachting op basis van bovengenoemde criteria.

## 1.3 Leeswijzer

Rode draad in het hele rapport zijn de vijf factoren. Hoofdstuk 2 laat aan de hand hiervan zien hoeveel restwarmte tot 2020 zinvol ingezet kan worden, en hoeveel besparing en emissiereductie dat oplevert. De andere hoofdstukken bieden meer achtergrondinformatie bij Hoofdstuk 2.

Hoofdstuk 3 laat zien wat de besparingen en kosten van restwarmtelevering bepaalt, en hoe sterk de kosten en besparingen afhankelijk zijn van lokale factoren. Ook laat dit hoofdstuk zien hoe alternatieven scoren, zowel collectieve als individuele, en wat de invloed van de elektriciteitsopwekking hierop is.

Voor wie meer wil weten over de achterliggende veronderstellingen voor het warmte aanbod geeft Hoofdstuk 4 een overzicht van het aanbod van warmte uit industrie, de elektriciteitsopwekking en de Afvalverbrandingsinstallaties (AVI's). Het inventariseert de hoeveelheid winbare restwarmte uit deze bronnen op verschillende temperaturniveaus, de beschikbaarheid in de tijd, de hoeveelheid energie die het kost om deze warmte af te tappen, en de geografische spreiding van de bronnen. Verder komen alternatieve toepassingen van restwarmte en mogelijkheden om de restwarmteproductie te verminderen aan de orde.

Hoofdstuk 5 gaat dieper in op de vraag naar warmte bij woningbouw, de utiliteitsbouw en de glastuinbouw. Het inventariseert de vraag naar lage temperatuur warmte, de spreiding van de vraag in de tijd, de efficiëntie van de referentietechniek(en) en de geografische spreiding. Ook komen alternatieven aan bod, zoals het verminderen van de warmtevraag en andere mogelijkheden om de vraag in te vullen.



## 1.4 Aanpak

Gezien de beschikbare tijd was het noodzakelijk om een aantal beperkende keuzes te maken. Het rapport put zoveel mogelijk uit reeds beschikbare gegevens, en beperkt zich tot een indicatie van ordegroottes. Het moet daarom in veel gevallen op basis van spaarzaam beschikbare gegevens tot een schatting voor heel Nederland komen. Waar gegevens ontbreken of onzeker zijn, maakt het rapport duidelijk wat dit voor consequenties kan hebben voor de uitkomsten.

Omdat het voornaamste doel is om een top-down indicatie te geven van potentieel voor Nederland als geheel, abstraheert het rapport van allerlei specifieke situaties waar maatwerk de benutting van restwarmte dichterbij kan brengen.

*Uitgangspunt voor alle inschattingen is levering van restwarmte en aftapwarmte met een kleine efficiëncypenalty via conventionele warmtedistributienetten, aan huishoudens, utiliteitsbouw en glastuinbouw vanuit bestaande of reeds geplande locaties binnen industrie, raffinage en elektriciteitsproductie, die niet als hoofdactiviteit de productie van warmte hebben.*

Met deze keuze blijft naar verwachting slechts een klein deel van het zinvol te benutten potentieel buiten beeld. Restwarmtegebruik binnen de industrie is bijvoorbeeld geen onderdeel van de schatting, omdat hiervoor een inventarisatie van specifieke bedrijfssituaties nodig is. De nationaal beschikbare indicatoren zijn hiervoor niet toereikend. Industriële WKK zelf is ook geen onderdeel van de studie. Ook nieuw te bouwen WKK-eenheden speciaal voor warmtenetten zijn geen onderdeel van de potentiële schatting.

### Box 1.2 Wat valt buiten deze studie?

#### *Aftapwarmte met een hogere energiepenny*

Bij aftap van warmte van een elektriciteitscentrale of AVI op een hoger temperatuurniveau, bijvoorbeeld voor industriële processtoom, is het verlies aan elektriciteitsopbrengst groter. Deze situatie komt zeer dicht in de buurt te liggen van industriële WKK, en daarvoor zijn al potentieelstudies beschikbaar. De energiewinst ten opzichte van een industriële WKK zal naar verwachting nihil zijn.

#### *Restwarmtelevering tussen bedrijven*

De mogelijkheden voor levering van restwarmte tussen bedrijven, planmatig of als initiatief van twee bedrijven onderling, zijn eigenlijk alleen voor specifieke cases in te schatten. Als de mogelijkheid er is zijn de voordelen wel groter dan bij levering van warmte aan de gebouwde omgeving, omdat de bedrijfstijden beter aansluiten, waardoor besparing en kosten gunstiger.

Het rapport gaat niet uitgebreid in op bestuurlijke en organisatorische factoren, die toepassing van restwarmte verhinderen. Deze vormen immers geen begrenzing voor het technische of economische potentieel van restwarmte, maar zijn eerder onderdeel van de belemmeringen waarvoor beleid oplossingen kan bieden.

De inschattingen van energiebesparing, emissiereductie en kosten zijn indicatief. De kentallen voor de berekeningen komen uit in de meeste gevallen uit de Uniforme Maatlat voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw (Harmelink, 2009). De berekeningen maken verder gebruik van (Melick en Van der Weiden, 2007), voor aannames over de kosten. De resultaten zijn in hoge mate indicatief, en dienen in de eerste plaats om inzicht te bieden in het effect van verschillende factoren, zoals bron en bestemming van warmte, schaal etc. Aan individuele situaties doen de berekeningen echter geen recht; daarvoor is de variatie in situaties en daarmee in de resulterende energiebesparing, emissiereductie en kosten te groot. De gehanteerde aannames staan in Bijlage C.

## 2. Warmtebenutting: combineren van vraag en aanbod

Dit hoofdstuk laat zien hoeveel energie in Nederland bespaard kan worden met de toepassing van restwarmte en aftapwarmte, op basis van vijf criteria. Onder restwarmtebenutting valt hier: het leveren van warmte via een warmtedistributie systeem, vanuit bestaande of reeds geplande bronnen van restwarmte of aftapwarmte. De focus ligt hierbij op de toepassing binnen de gebouwde omgeving en glastuinbouw voor ruimteverwarming, warm tapwater en koeling. Hergebruik van warmte binnen de industriële bedrijven, en de bouw van nieuwe warmtekrachtkoppeling om warmtedistributie te voeden valt buiten de scope.

### 2.1 Potentieel restwarmtebenutting

Het potentieel voor restwarmtebenutting voor Nederland ligt naar schatting tussen de 25 en 45 PJ. Toepassing bespaart 10 tot 25 PJ aan fossiele brandstof. De totale CO<sub>2</sub>-emissiereductie is hierbij 0,6 tot 1,3 Mton; de afname van emissies buiten het Europese emissiehandelssysteem is hoger, 0,9 tot 2,0 Mton. Binnen dit potentieel kunnen besparingen en kosten sterk variëren. Een beperkt deel van dit potentieel zal bij implementatie naar verwachting netto baten opleveren.

Het gaat hierbij om de mogelijkheden voor restwarmtelevering die een substantiële energiebesparing opleveren, en waarvoor geen betere of goedkopere alternatieven zijn.

#### *Vijf criteria voor het potentieel*

De toepasbare restwarmte lijkt misschien weinig: Uit de wet van behoud van energie volgt immers dat alle energie die in Nederland worden gebruikt uiteindelijk als warmte vrijkomt, in totaal 2800 PJ. Maar de hoeveelheid van deze warmte die ook zinvol en economisch te gebruiken is, is beperkt. Vraag en aanbod van warmte moeten op verschillende facetten op elkaar aansluiten. De mogelijkheden voor restwarmtebenutting, de potentiële energiebesparing en emissiereductie, en de kosten van restwarmtebenutting worden beïnvloed door vijf factoren:

- 1) Wat voor soorten bronnen en bestemmingen van warmte kunnen aan elkaar gekoppeld worden? Wat zijn de eigenschappen van deze potentiële bronnen en bestemmingen?
- 2) Temperatuurniveau: Hoeveel warmte, en van welk temperatuurniveau, is winbaar? Aan hoeveel warmte, van welk temperatuurniveau is behoefte?
- 3) Gelijktijdigheid: Hoe sluit het aanbodpatroon aan bij het vraagpatroon? Zullen de bron en de bestemming van de warmte beide nog lang genoeg bestaan?
- 4) Nabijheid, dichtheid en schaal: Hoeveel bronnen en bestemmingen van warmte zijn voldoende groot en liggen dicht genoeg bij elkaar in de buurt?
- 5) Alternatieven: Zijn er mogelijkheden om restwarmteproductie te vermijden, de warmtevraag te verminderen of op een andere manier in te vullen? Zijn die alternatieven goedkoper, of leveren ze meer besparing of emissiereductie op?

Het vervolg van dit hoofdstuk gaat de vijf factoren bij langs, en laat zien wat ze betekenen voor de hoeveelheid benutbare warmte en de energiebesparing. Vaak hangen de factoren samen: een grotere afstand hoeft niet te betekenen dat warmtelevering onmogelijk wordt, maar zal wel leiden tot hogere kosten hoger en lagere besparingen, waardoor lokale alternatieven relatief aantrekkelijker zijn.

#### *Andere factoren*

Buiten deze vijf factoren zijn ook andere omstandigheden bepalend voor de benutting van restwarmte, maar deze maken niet uit voor het technische potentieel. Wel kunnen ze in de praktijk de implementatie van restwarmteprojecten verhinderen, of leiden tot suboptimale oplossingen.

#### *Buitenland*

Qua orde grootte komt de inschatting van het potentieel redelijk overeen met inschatting voor Groot-Brittannië (Davies, Woods, 2009). In landen met een kouder klimaat liggen de potentiële

len en de bestaande aandelen van warmtedistributie meestal hoger. Hier speelt ook het ontbreken van een aantrekkelijk alternatief (aardgas) een rol.

## 2.1 Soorten bronnen en bestemmingen

Restwarmtelevering kan energie besparen, maar het kost ook energie. De netto besparing hangt af van zowel de vraag- als de aanbodkant, en van de eigenschappen van het warmtenetwerk. Er zijn hulpketels nodig om in de vraagpieken te voorzien, elektriciteit is nodig voor het rondpompen van het warme water in het warmtedistributiesysteem. Een deel van de warmte gaat verloren door verliezen in het distributienet. Warmte-aftap bij centrales en AVI's gaat bovendien ten koste van de elektriciteitsproductie. Hoeveel, dat hangt af van het temperatuurniveau waarop de warmte afgetapt wordt<sup>1</sup>. Deze verliezen leveren ook weer extra CO<sub>2</sub>-emissies op.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van indicatieve waarden voor de energiebesparing, emissie-effecten en kosten voor verschillende combinaties van gebruikers, bronnen en temperatuurniveaus<sup>2</sup>. De besparing in GJ primair bij de gebruiker en het besparingspercentage geven weer hoeveel lager het energiegebruik ten opzichte van de referentie is bij toepassing van warmtelevering. Daarnaast is de besparing per GJ door de producent geleverde warmte belangrijk, want die bepaalt hoeveel energiebesparing de beschikbare warmte kan opleveren.

Warmtelevering aan de utiliteitsbouw geeft de grootste besparing, gevolgd door bestaande woningbouw en nieuwbouw van woningen. Levering aan de glastuinbouw bespaart nauwelijks, of resulteert zelfs in ontsparing ten opzichte van de hier gangbare WKK. Gebruik van industriële restwarmte levert meer besparing op dan inzet van aftapwarmte van centrales en AVI's. Waar lage temperatuursystemen mogelijk zijn levert dit meer besparing op dan hoge temperatuursystemen<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Bij aftap van 1 GJ warmte op 120 graden is dit 0,18 GJ elektriciteit, bij 80 graden 0,09 GJ. Als deze elders extra geproduceerd wordt met een opwekkingsrendement 50% is, dan betekent dit 0,36 respectievelijk 0,18 GJ extra brandstof verbruik per afgetapte GJ warmte.

<sup>2</sup> Aannames: 10 km afstand tot een warmtebron van ca 20 MW continu. Dit betekent ca 10000 nieuwbouwwoningen, 5000 bestaande woningen, 200 kantoren of ruim 5 glastuinbouwbedrijven van 10 ha. De manier waarop de besparingen tot stand komen wordt nader beschreven in hoofdstuk 3, en de onderliggende aannames worden beschreven in Bijlage C.

<sup>3</sup> Lage temperatuursystemen zullen in bestaande bouw echter niet of minder goed mogelijk zijn dan hoge temperatuursystemen. En een lage temperatuursysteem bij de nieuwbouw bespaart meer dan een hoge temperatuursysteem bij de bestaande bouw. Naast de besparing spelen uiteraard ook andere factoren een rol: de aanleg van warmtedistributie bij bestaande bouw is veel duurder dan bij nieuwbouw. De kosten per eenheid besparing kunnen daardoor in nieuwbouw weer veel lager zijn.

Tabel 2.1 *Indicatieve besparingen, emissie-effecten en kosten bij verschillende vraag-aanbod combinaties.*<sup>4</sup>

Bron	T oC	GJp bespaard/GJ <sub>th</sub> vraag	[%]	CO <sub>2</sub> vermeden /GJ <sub>th</sub> vraag	[%]	CO <sub>2</sub> niet-ETS vermeden/GJ <sub>th</sub> geleverd	[€t CO <sub>2</sub> ]	[€t CO <sub>2</sub> niet ETS]	[€GJp]
<b>Woningbouw nieuw</b>									
Restwarmte industrie	120	0,63	58%	-0,03	56%	-0,06	119	67	6
Restwarmte industrie	80	0,75	69%	-0,04	67%	-0,06	39	26	2
Centrale/AVI	120	0,28	26%	-0,01	9%	-0,06	803	74	16
Centrale/AVI	80	0,66	61%	-0,03	54%	-0,06	-1	-1	0
<b>Woningbouw bestaand</b>									
Restwarmte industrie	120	0,67	65%	-0,04	63%	-0,06	184	116	10
Restwarmte industrie	80	0,73	70%	-0,04	69%	-0,06	143	98	8
Centrale/AVI	120	0,39	38%	-0,01	23%	-0,06	577	135	20
Centrale/AVI	80	0,65	63%	-0,03	56%	-0,06	160	90	8
<b>Utiliteitsbouw</b>									
Restwarmte industrie	120	0,80	72%	-0,04	71%	-0,06	neg.	neg.	neg.
Restwarmte industrie	80	0,82	74%	-0,05	73%	-0,06	neg.	neg.	neg.
Centrale/AVI	120	0,56	50%	-0,02	39%	-0,06	neg.	neg.	neg.
Centrale/AVI	80	0,75	68%	-0,04	62%	-0,06	neg.	neg.	neg.
<b>Glastuinbouw</b>									
Restwarmte industrie	120	0,06	16%	0,03	-25%	-0,11	-	-	-
Restwarmte industrie	80	0,08	21%	0,03	-24%	-0,11	-	-	-
Centrale/AVI	120	-0,18	-49%	0,05	-43%	-0,11	-	-	-
Centrale/AVI	80	0,01	2%	0,04	-31%	-0,11	-	-	-

<sup>4</sup> De getallen zijn inclusief het energiegebruik voor hulpenergie, uitkoppeling, en energieverliezen in het distributienet (zie voor berekening van energiebesparing Tabel 3.2). Kosten bij utiliteitsbouw zijn niet aangegeven, omdat de gegevens hiervoor niet volledig waren. De bevinding dat kosten in het algemeen lager zijn dan bij huishoudens is echter wel robuust. Bij de glastuinbouw zijn kostenindicaties niet zinvol vanwege de in veel gevallen negatieve besparingen en emissiereducties. Verder is hier de variatie tussen bedrijven zeer groot, o.a. vanwege de functies die de WKK combineert (verwarming, belichting, CO<sub>2</sub>-bemesting).

### Box 2.1 *Restwarmtelevering en de Nederlandse doelen voor energie en klimaat*

Deze box beschrijft hoe warmtelevering en alternatieven een bijdrage kunnen leveren aan de doelen voor energie en klimaat. Nederland moet de uitstoot van broeikasgasemissies buiten het ETS 2020 met 16% omlaag hebben gebracht ten opzichte van 2005, en voor hernieuwbare energie moet Nederland in 2020 een aandeel van 14% hernieuwbare energie realiseren in de gezamenlijke vraag naar warmte, elektriciteit en motorbrandstoffen. Zowel het niet-ETS doel als het doel voor hernieuwbare energie zijn in Europees verband afgesproken. Voor energiebesparing geldt momenteel geen bindende doelstelling, hoewel de Europese Commissie werkt aan een richtlijn voor energiebesparing.

#### *Broeikasgassen: niet-ETS*

Voor de reductie van broeikasgasemissies buiten het ETS is restwarmtelevering meestal veel aantrekkelijker dan dat het totale effect op de uitstoot doet vermoeden. Het totale effect bestaat namelijk uit een afname van de uitstoot bij de warmteconsument - meestal buiten het ETS - en een toename bij de producent - binnen het ETS. Voor het Nederlandse niet-ETS doel telt alleen de afname van de emissies bij de warmteconsument mee. De toename binnen het ETS zal door datzelfde ETS weer gecompenseerd worden: het (Europese) emissieplafond staat immers vast. Ditzelfde gunstige effect treedt overigens ook op bij tal van alternatieven: WKO, geothermie en elektrische warmtepompen. Een ongunstig effect treedt daarentegen op bij kleinschalige WKK, inclusief micro-WKK: Hier vindt de toename van de emissies plaats buiten het ETS, en de afname binnen het ETS.

#### *Energiebesparing*

Restwarmtelevering draagt bij aan een hoger energiebesparingstempo: het gebruik van primaire energie neemt per saldo meestal af ten opzichte van de referentietechniek voor warmteopwekking. Nederland heeft op dit moment echter geen doel op het gebied van energiebesparing.

#### *Hernieuwbare energie*

Wel heeft Nederland een doel voor hernieuwbare energie. Hieraan levert restwarmtelevering echter nauwelijks een bijdrage: alleen warmtelevering door AVI's telt in geringe mate mee voor de doelstelling. Veel alternatieven voor restwarmtelevering tellen juist wel mee voor het doel voor hernieuwbare energie: geothermie, WKO, warmtepompen, biomassa-WKK en biomassa-ketels.

De geringe besparing of ontsparing in de glastuinbouw is toe te schrijven aan de efficiency van de referentietechnologie, de gasmotor-WKK. Bij levering vanuit centrales/AVI's met een hoge temperatuur is de besparing zelfs negatief<sup>5</sup>. Er is ook geen CO<sub>2</sub>-emissiereductie, maar wel is er een forse daling van de niet-ETS emissies. Warmtelevering aan glastuinbouwbedrijven levert uiteraard wel besparing op als WKK geen voor de hand liggende optie is, en is dan ook relatief goedkoop. In speciale gevallen zal restwarmtebenutting daarom toch zinvol zijn. Als in de toekomst de elektriciteitsopwekking efficiënter wordt of het aandeel hernieuwbare elektriciteit toeneemt, wordt warmtelevering aan de glastuinbouw aantrekkelijker (zie Box 3.2).

Voor de totale vermeden CO<sub>2</sub>-emissies spelen ruwweg dezelfde factoren een rol als bij energiebesparing. De CO<sub>2</sub>-emissiereductie buiten het ETS is echter in alle gevallen veel gunstiger: restwarmtelevering vermijdt emissies buiten het ETS, waar een (meestal kleinere) toename binnen het ETS tegenover staat. Restwarmtelevering werkt in dit opzicht tegengesteld aan klein-

<sup>5</sup> In de glastuinbouw is de gasmotor-WKK de meest gebruikelijke manier om warmte te produceren, en daarom de referentie voor het berekenen van de besparing. Omdat WKK ten opzichte van gescheiden opwekking al veel energie bespaart, is de besparing die restwarmte oplevert ten opzichte van WKK veel kleiner, of zelfs negatief, als voor de aftap en levering van restwarmte ook extra energie nodig is. Warmte uit een WKK of uit een centrale kost bijvoorbeeld beide ongeveer 0,37 GJ brandstof per GJ warmte. Maar de warmte uit de centrale moet over een grotere afstand aangevoerd worden, waardoor extra warmteverlies optreedt, en waarvoor extra pompenergie nodig is.

<sup>6</sup> Bij een iets lager referentierendement voor de elektriciteitsopwekking (48% ipv 50%) resulteert warmtelevering aan de glastuinbouw in alle gevallen in ontsparing t.o.v. de gasmotor-WKK.

schalige WKK, en dat verklaart ook de grote afname van niet-ETS emissies bij vervanging van WKK door restwarmte in de glastuinbouw.

Op kosten scoort de utiliteitsbouw goed, op grote afstand gevolgd door woningbouw nieuw en bestaand. De kosten van warmtelevering in de utiliteitsbouw zijn erg laag; de berekening gaat er van uit dat ook de koelvraag voorzien wordt via warmtelevering (door een absorptiewarmtepomp). De vermeden kosten van een conventionele airco dragen in belangrijke mate bij aan de gunstige kosten. Zonder levering voor de koelbehoefte is de kosteneffectiviteit veel minder gunstig.

Het grootste deel van de kosten bij warmtedistributie bestaat uit de kosten voor het netwerk: de aanvoerleiding, het wijkdistributiesysteem en de aansluitingen op woningen en gebouwen. De precieze kosten zijn hierbij sterk afhankelijk van lokale omstandigheden: de dichtheid van de bebouwing, het aantal aansluitingen, de afstand tot de warmtebron, nieuwbouw of bestaande bouw, etc. Hierbij komen nog de kosten voor de voorzieningen voor warmteaftap bij de bron. Ook deze zullen per geval verschillen.

De 16 combinaties doen nog geen recht aan de werkelijke variatie in omstandigheden: binnen de verschillende categorieën is de variatie erg groot, en bovendien zijn ook allerlei gemengde systemen mogelijk, zowel aan de aanbod- als de vraagkant. Omdat restwarmte en warmtedistributieprojecten altijd maatwerk zijn, en lokale omstandigheden erg belangrijk zijn voor mogelijkheden, kosten en besparingen, is aan de hand van deze 16 situaties slechts een indicatie te geven van potentieel en kosten.

Tabel 2.2 zet voor een aantal factoren kwalitatief op een rij wat het effect op de kosten is.

Tabel 2.2 *Effect op de kosten van warmtelevering van diverse factoren (+ gunstig, - ongunstig)*

Factor	Effect op Kosten/ GJ, gunstig (+) of ongunstig (-)	Toelichting
Meer woningen	++	Schaalvoordelen: een deel van de kosten is constant, en dat wordt omgeslagen over meer warmtevraag.
	-	Bij grotere projecten meer tijd tussen investering en volledig gebruik: hogere aanloopverliezen en rentelasten.
Grotere warmtebronnen	+	De kosten per kW thermisch vermogen worden lager door schaalvoordelen
Grotere afstand tot warmtebron	-	Hogere kosten en iets meer energieverlies.
Meer bestaande bouw ipv nieuwbouw	+	Meer warmtevraag per aansluiting bij bestaande bouw, waardoor kosten over meer warmtevraag omgeslagen worden, en verliezen per aansluiting relatief lager zijn.
	--	Kosten aanleg distributienet zijn hoger bij bestaande bouw
Meer (grootschalige) utiliteitsbouw	++	Veel grotere warmtevraag per aansluiting, waardoor kosten over meer warmtevraag omgeslagen worden, en verliezen per aansluiting relatief lager zijn.
Voorziening koelvraag met absorptiewarmtepomp	++	De bedrijfstijd wordt langer, en de vermeden kosten van een afzonderlijke airco maken de meerinvestering voor warmtelevering lager
Meer hoogbouw met blokverwarming	++	Grotere warmtevraag per aansluiting, waardoor kosten over meer vraag omgeslagen

Factor	Effect op Kosten/ GJ, gunstig (+) of ongunstig (-)	Toelichting
Meer laagbouw en ruimere wijkopzet	-	worden, en verliezen per aansluiting relatief lager zijn.
Restwarmte ipv aftapwarmte	-	Kosten aanleg distributienet zijn hoger, energieverliezen zijn groter
Aansluiting bij bestaand warmtedistributiesysteem	+	Kosten aftapvoorziening voor restwarmte meestal hoger
	++	Energiebesparing groter bij restwarmte
		Lagere investeringen, lagere aanloop kosten

Bij veel van de factoren in Tabel 2.2 zijn er op lokaal niveau nog veel vrijheidsgraden. Een belangrijke consequentie hiervan is dat niet eenduidig is wat de kosten zijn van het benutten van het restwarmtepotentieel in Nederland: de manier waarop de lokale mogelijkheden benut worden bepaalt de kosten. In bijvoorbeeld de regio Rotterdam zou een grootschalige geïntegreerde aanpak, waarbij meerdere bronnen en afzetgebieden in een systeem met elkaar gecombineerd worden, tot lagere kosten kunnen leiden dan een aanpak waarbij een-op-een aanbod en vraag gecombineerd worden.

In veel andere regio's is het combineren van verschillende warmtebronnen waarschijnlijk noodzaak: de afzonderlijke industriële restwarmtebronnen zijn vaak toereikend voor slechts tussen de 100 en 1000 woningen. Vooral bij wat grotere afstanden tussen bron en bestemming zijn de kosten dan erg hoog.

## 2.2 Temperatuurniveau

De totale hoeveelheid warmte die op een voldoende hoog temperatuurniveau beschikbaar zou zijn is in 2020 naar verwachting zo'n 440 tot 480 PJ. Als dit allemaal ingezet zou kunnen worden levert dit 150 tot 310 PJ besparing op<sup>7</sup>.

Warmtelevering ligt alleen voor de hand als de bron van de warmte een hoger temperatuurniveau heeft als de bestemming. De vraag naar warmte op een laag temperatuurniveau is meestal voor ruimteverwarming en warm tapwater. Deze vraag bevindt zich vooral bij huishoudens, utiliteitsgebouwen en de glastuinbouw. Afhankelijk van het ontwerp van het verwarmingssysteem is hiervoor een warmtebron van 80 tot 120 graden nodig. Warmtedistributie systemen kunnen dus op verschillende temperatuurniveaus ontworpen worden.

Restwarmteaanbod van 80 tot 120 graden is vooral te vinden in de industrie. Naar schatting is ca 55 PJ beschikbaar op 120 en 95 PJ op 90 graden.

Ook in de elektriciteitsopwekking kan restwarmte op 80 of 120 graden afgetapt worden, maar dit gaat dan wel ten koste van het elektrisch rendement. Als bij alle centrales aftap van restwarmte toegepast zou worden, levert dit in 2020 zal dit ca 330 PJ warmte op.

## 2.3 Gelijktijdigheid op korte en lange termijn

Van de 440 tot 480 PJ die op een geschikt temperatuurniveau beschikbaar kan worden gemaakt komt op basis van de gelijktijdigheid en voldoende garanties voor de beschikbaarheid 90 tot 120

<sup>7</sup> Zie voor de onderliggende aannames voor beschikbaarheid van warmte op verschillende temperatuurniveaus Bijlage B op pagina 51.

PJ in aanmerking. Hiermee kan 30 tot 70 PJ aan energie bespaard worden<sup>8</sup>. Warmte is namelijk lastig voor langere tijd op te slaan: om bruikbaar te zijn voor warmtelevering moet de restwarmte ook op het juiste moment beschikbaar zijn. Ook moet de verwachte levensduur van warmtebron en afzetmarkt voldoende groot zijn, en moet de beschikbaarheid van warmte voldoende zeker zijn.

#### *Aanbod- en vraagpatroon*

De warmtebehoefte voor ruimteverwarming en tapwater is erg ongelijk verdeeld in de tijd, terwijl restwarmte vanuit de industrie meestal in een vrij constante stroom beschikbaar komt. Een klein deel van de ongelijktijdigheid kan opgevangen worden met opslag van warmte in warmtebuffers, maar ook dan kan van de beschikbare warmte meestal slechts 30 to 45% benut worden, terwijl voor pieken in de warmtevraag ook nog een extra ketel nodig is, die in 10- 15% van de warmtevraag voorziet. Warmte kan door toepassing van absorptiekoeling ook gebruikt worden om in de vraag naar koeling te voorzien. In bijvoorbeeld kantoorgebouwen kan zo een wat groter deel van de beschikbare warmte benut worden.

Bij elektriciteitsopwekking wordt de beschikbaarheid van warmte bepaald door de productie van elektriciteit. Als de vraag naar elektriciteit laag is, draait een deel van de centrales niet en zal daar dus ook geen restwarmte beschikbaar zijn. Centrales die maar heel kort draaien komen daardoor niet in aanmerking. Voor de centrales die wel in aanmerking komen zal van de warmte die afgetapt zou kunnen worden naar schatting voor 30 tot 45% aansluiten bij de vraag.

#### *Lange termijn beschikbaarheid*

Een ander aspect van gelijktijdigheid is de restlevensduur van de warmtebron en de afzetmarkt. Warmteleveringsprojecten hebben een lange levensduur, en zowel de beschikbaarheid van warmte als de vraag ernaar moeten voor lange tijd verzekerd zijn. Oudere elektriciteitscentrales en oudere individuele industriële bronnen bieden op dit punt minder zekerheid dan nieuwe centrales en clusters van meerdere warmtebronnen, tenzij op termijn met redelijke zekerheid alternatieven beschikbaar zijn.

## 2.4 Afstand, dichtheid en schaal

Rekening houdend met de factor afstand, (ruimtelijke) dichtheid en schaal neemt de inzetbare restwarmte af van 90 tot 120 PJ naar 50 tot 75 PJ, en de te realiseren besparing naar 20 tot 45 PJ<sup>9</sup>. Afstand, dichtheid en schaal hebben alleen in samenhang betekenis: bij grootschalige systemen en grotere lokale dichtheid van de warmtevraag is een grotere afstand tot de bron reëel dan bij kleinschalige systemen. Bij een grotere afstand tussen bij elkaar passende de bronnen en afzetmogelijkheden van warmte nemen de kosten van warmtedistributie toe. Ook nemen de warmteverliezen iets toe, maar dit effect is minder belangrijk omdat het grootste verliezen in de fijner vertakte delen van het distributienet plaatsvinden. Hiervoor is de dichtheid het belangrijkste.

#### *Spreiding Nederland*

In Nederland zijn de grote concentraties van woningbouw en utiliteitsbouw gesitueerd in de Randstad en enkele perifere stedelijke gebieden. Grote bronnen van warmte zijn te vinden in het Rijnmondgebied, zowel industrieel als elektriciteitscentrales. Verspreid over Nederland komen meer warmtebronnen voor, maar een deel hiervan ligt te ver van mogelijke afzetgebieden, bijvoorbeeld de (nieuwe) elektriciteitscentrales bij de Eemshaven.

#### *Aansluiting bij bestaande netten*

---

<sup>8</sup> Zie voor de onderliggende aannames voor de beperkingen voortvloeiend uit de gelijktijdigheidsvoorwaarde Bijlage B op pagina 51.

<sup>9</sup> Zie voor de onderliggende aannames voor de beperkingen voortvloeiend uit afstand, dichtheid en schaal Bijlage B op pagina 51.



Waar bronnen of afzetmogelijkheden in de buurt van bestaande warmtenetten liggen, en aansluiting hierbij een mogelijkheid is, zullen kosten meestal lager zijn. Een nadeel kan wel zijn dat allerlei eigenschappen van het warmtenet, zoals het temperatuurniveau, al grotendeels vast liggen. Voorbeelden van gebieden met combinaties van bestaande warmtenetten, warmtebronnen en afzetmogelijkheden zijn de regio Rotterdam-Den Haag en Amsterdam.

## 2.5 Alternatieven

Rekening houdend met de beschikbaarheid van alternatieven neemt de zinvol inzetbare restwarmte af van 50 tot 75 PJ naar 25 tot 45 PJ, en de te realiseren besparing naar 10 tot 25 PJ<sup>10</sup>.

De keuze voor het al dan niet benutten van restwarmte hangt voor een belangrijk deel af van de beschikbare alternatieven. Op grond van energiebesparing, emissiereductie en/of kosten kunnen alternatieven aantrekkelijker zijn. Ook barrières, zoals bestuurlijke en juridische obstakels kunnen een rol spelen bij de keuze, maar dat is hierbuiten beschouwing gelaten.

### *Soorten alternatieven*

Alternatieven kunnen de beschikbaarheid van warmte kleiner maken:

- Alternatieve inzet warmte binnen of buiten het bedrijf van herkomst.
- Energiebesparing binnen het bedrijf van herkomst.

Ook kunnen ze de in te vullen vraag kleiner maken:

- Energiebesparende maatregelen bij de potentiële afnemer.
- Warmte uit andere bronnen die ingezet kunnen worden in plaats van restwarmte.

### *Alternatieve inzet*

Een voorbeeld van alternatieve inzet is het gebruik van restwarmte uit centrales en industrie voor de afvang van CO<sub>2</sub>. Bij centrales gaat deze inzet grotendeels ten koste van de mogelijkheid om restwarmte af te tappen voor warmtedistributie. Ook warmtelevering tussen bedrijven onderling vermindert de beschikbaarheid voor levering via warmtenetten.

### *Industriële energiebesparing*

Industriële energiebesparing, door bijvoorbeeld andere processen of efficiënter gebruik van energie bij de bestaande processen, kan ten koste gaan van de beschikbare restwarmte. Een voorbeeld is warmte-integratie, waarbij de beschikbare warmte op een bepaald temperatuurniveau binnen een bedrijf zoveel mogelijk gebruikt wordt om in de warmtebehoefte op een lager temperatuurniveau te voorzien. De hoeveelheid extern beschikbare warmte gaat hierbij omlaag.

### *Vermindering van de in te vullen warmtevraag*

Aan de vraagkant kunnen vermindering van de energievraag, bijvoorbeeld door gebouwisolatie: of de inzet van andere warmtebronnen, zoals zonneboilers, geothermie of warmtepompen de afzetmogelijkheden voor restwarmte ondermijnen. Hierbij geldt in grote lijnen dat waar restwarmte het makkelijkst en goedkoopst toe te passen is, zoals in nieuwbouwsituaties en bij grotere gebouwen, ook de alternatieven makkelijker toe te passen zijn. Zo is het mogelijk om nieuwbouwwoningen zodanig te ontwerpen dat er nauwelijks nog warmte nodig is. Een warmtedistributienet zal dan minder aantrekkelijk zijn: om dezelfde hoeveelheid warmte af te zetten is een veel uitgestrekter en duurder warmtedistributiesysteem nodig. In de bestaande bouw zijn alternatieven veel minder dik gezaaid, maar is ook de toepassing van warmtedistributie lastiger en duurder.

Alternatieve individuele aanbodopties voor warmte zijn in de woningbouw meestal erg duur. Collectieve systemen, met meerdere huizen, zijn veel goedkoper door schaafeffecten. Deze

---

<sup>10</sup> Zie voor de onderliggende aannames voor de alternatieven Bijlage B op pagina 51.

schaaleffecten zijn ook duidelijk zichtbaar bij de grotere gebouwen in de utiliteitsbouw, waar alternatieven vaker kosteneffectief zijn, zeker in nieuwbouw.

### *Geothermie*

Geothermie lijkt qua schaal en temperatuurniveau op restwarmte<sup>11</sup>. Waar geothermie mogelijk is, is op basis van de energiebesparing de restwarmtelevering uit centrales en AVI's minder interessant: geothermie levert een hogere besparing op. Tegenover de kosten van een geothermiebron staat dat de kosten van een (lange) aanvoerleiding van de warmte vermeden worden. Een nadeel van geothermie is dat bronnen na circa 30 jaar uitgeput zijn.

### *CCS*

De centrales die het meest voor de hand liggen voor restwarmtelevering, komen ook het eerst in aanmerking voor toepassing van CCS. Bij toepassing van CCS is er bij deze centrales nauwelijks nog geschikte restwarmte beschikbaar. Alternatieven maken dus vooral restwarmte uit elektriciteitsopwekking minder voor de hand liggend, maar ook industriële restwarmte zou ingezet kunnen worden voor CCS. Per GJ beschikbare aftapwarmte levert CCS een emissiereductie op van naar schatting 0,1-0,2 ton CO<sub>2</sub>, tegenover een reductie van 0,01 tot 0,02 ton CO<sub>2</sub> bij inzet in warmtedistributie (zie Box 4.2). Voor het besparen van brandstoffen levert CCS geen bijdrage maar leidt het juist tot een toename van het gebruik.

### *Soms synergie*

Alternatieven die ook gebruik maken van warmtedistributie, zoals geothermie, kunnen de kansen voor restwarmtebenutting soms ook vergroten. Als de beschikbare restwarmtebronnen kleinschalig zijn, of het voortbestaan ervan op lange termijn onzeker is, kan de beschikbaarheid van alternatieven de gemiddelde kosten dan wel de risico's voor restwarmte-inzet verlagen. Het warmtenet moet dan wel geschikt zijn voor deze alternatieven. Ook zou bijvoorbeeld restwarmte gebruikt worden om geothermiebronnen op te laden.

## 2.6 Overige factoren

Energiebesparingen en kosten bepalen wat - gegeven de lokale omstandigheden - de optimale keuze zou zijn, maar in veel gevallen zullen andere factoren (mede) bepalen of en hoe een warmtedistributie wordt gerealiseerd.

### *Betrokkenheid veel partijen maakt realisatie moeilijk*

De realisatie van warmteleveringsystemen is organisatorisch complex. Er zijn vaak veel verschillende partijen bij betrokken: de leverancier(s) van de warmte, een energiebedrijf, de gemeente, een projectontwikkelaar, eigenaren van grond op het beoogde traject van de aanvoerpijpleiding. De aanleg van een warmtedistributiesysteem moet aansluiten bij de belangen van alle betrokken partijen. De financiële ruimte om partijen te compenseren die in hun belang geschaad worden is vaak gering. Vanwege de rol van de gemeente zijn ook de politieke prioriteiten van groot belang. Bij individuele alternatieven of alternatieven op wijkniveau zijn veel minder partijen betrokken. Deze alternatieven zijn daardoor soms sneller en makkelijker te realiseren.

### *Bestaande woningbouw*

Een geval apart is de bestaande particuliere woningbouw. Woningeigenaren kunnen niet gedwongen worden om deel te nemen aan een project. De marges op warmteleveringsystemen zijn bovendien veelal te laag om een groot financieel voordeel in het vooruitzicht te stellen. Als een aanzienlijk deel van de woningeigenaren niet wil meedoen, lopen de kosten per aansluiting fors op. Warmtedistributiesystemen bij nieuwbouw zijn dan ook veel gangbaarder. Wel is de ener-

---

<sup>11</sup> Typisch vermogen 10 MWth, temperatuurniveau 70-90 graden.

giewinst in de bestaande bouw groter, bovendien zijn alternatieven die even grote besparingen en emissiereducties opleveren schaarser in de bestaande bouw.

### *ETS*

Potentiële leveranciers van warmte vallen vaak onder het Europese CO<sub>2</sub>-emissiehandelssysteem. Uitkoppeling van warmte leidt vaak tot extra energiegebruik bij de bron, en leidt daarmee tot extra CO<sub>2</sub>-emissies binnen het ETS. De vermindering van de emissies bij de afnemer van de warmte valt daarentegen meestal buiten het ETS. Een leverancier van warmte zal eventuele extra kosten door de toename van CO<sub>2</sub>-emissies willen verwerken in de prijs van de geleverde warmte. In het ETS zijn hiervoor overigens wel voorzieningen opgenomen (zie Box 2.2).

#### Box 2.2 *Warmtelevering en de allocatie van emissierechten in het ETS*<sup>12</sup>

Binnen het ETS wordt een deel van de emissierechten uitgedeeld via gratis allocatie. Rond warmtelevering geldt een aantal speciale regels:

- De gratis emissierechten voor warmte gaan naar de consument van warmte, tenzij de afnemer geen ETS-deelnemer is. In dat geval gaan de rechten naar de warmteproducent.
- Bij het gebruik van WKK is er geen allocatie voor elektriciteitsproductie, wel op basis van historische warmteproductie.
- Als de warmte wordt geproduceerd voor producten met een zogenaamde product-benchmark, vindt allocatie plaats op basis van de product-benchmark.
- Als er geen toepasbare product-benchmark is maar er wel een meetbare warmtestroom, dan kan allocatie plaatsvinden op basis van de warmte-benchmark, (62,3 tCO<sub>2</sub>/TJ). Ook nu geldt weer dat de rechten naar de afnemer van warmte gaat als deze binnen het ETS valt, in veel gevallen de gebruiker van de WKK zelf.
- De warmteproducent kan ook nog onder de definitie van elektriciteitsproducenten vallen, zoals bij WKK's in de glastuinbouw en voedselsector. In dat geval is een jaarlijkse lineaire reductie van 1,74% op de voorlopige allocatie van 2013 van toepassing.
- Voor warmte die geproduceerd is in een niet-ETS bedrijf zijn geen gratis rechten beschikbaar, maar een niet-ETS bedrijf heeft deze rechten uiteraard ook niet nodig.

(Bron: AgNL)

### *Risico's*

Aan het begin van een warmteleveringsproject is vaak nog onzeker wat de precieze grootte is van het uiteindelijke project, en wanneer deze uiteindelijke omvang gerealiseerd wordt. Omdat een groot deel van de kosten al in het begin van het project gemaakt wordt, is dit voor de investeerder een groot risico. Bij vertraging komen de benodigde inkomsten later binnen, terwijl kapitaallasten gewoon doorlopen. Aansluiting op bestaande warmtenetwerken brengt veel minder risico's met zich mee.

<sup>12</sup> Met dank aan Arjan van der Weiden, AgNL.



Alternatieven hoeven elkaar niet altijd uit te sluiten. In veel gevallen bedienen warmtedistributiesystemen zowel woningbouw als utiliteitsbouw, in variërende verhoudingen. Aan de aanbodkant zijn combinaties van meerdere bronnen mogelijk in hetzelfde distributiesysteem.

De variatie aan mogelijkheden maakt dat energiebesparing en kosten ook sterk zullen variëren.

### 3.2 Energiebesparing en CO<sub>2</sub>-emissiereductie

De energiebesparing en CO<sub>2</sub>-emissreductie die worden gerealiseerd hangen onder meer af van:

- De energie die nodig is om de warmte van de bron af te tappen (aanbod).
- De referentietechniek voor de productie van warmte bij de gebruiker van warmte (vraag).
- De omvang van de warmtevraag (vraag).

Hoofdstuk 4 en 5 bespreken deze aspecten voor respectievelijk aanbod en vraag.

Ook de karakteristieken van het distributiesysteem zijn van belang voor het energiegebruik:

- Het aandeel van hulpketels in de warmtelevering.
- De verliezen van warmte vanuit het distributiesysteem.
- De pompenergie die nodig is om het water door het systeem te voeren.

De impact van deze factoren hangt op hun beurt weer af van het opwekkingsrendement en de CO<sub>2</sub>-emissies in de centrale elektriciteitsproductie.

Tabel 3.1 zet indicatieve kentallen voor energiebesparing en CO<sub>2</sub>-emissiereductie bij verschillende combinaties van vraag en aanbod op een rij (zie Tabel 3.2 voor de berekening en Bijlage C voor achterliggende aannames).

#### *Hulpketels*

Hoe hoger het aandeel van hulpketels in de warmtelevering, des te kleiner de energiebesparing; dit aandeel hangt af van hoe vraag en aanbod op elkaar afgestemd zijn. Maximale benutting van de restwarmte en een minimaal aandeel van hulpketels sluiten elkaar daarbij uit. Typisch is de capaciteit van de hoofdwarmtebron 30% van de maximale warmtecapaciteit. Met inzet van warmtebuffers is hierbij 85-90% van de warmtevraag met de hoofdwarmtebron in te vullen. Hulpketels leveren dan de rest. 30%-45% van de warmteproductie uit een volcontinue warmtebron wordt in dit geval daadwerkelijk gebruikt om het warmtedistributiesysteem te voeden. Hierbij is sprake van een uitruil: een hoger aandeel van de hulpketel betekent een grotere energie-inzet, en dus relatief lagere besparingen, maar ook een betere benuttingsgraad van de warmtebron.

Tabel 3.1 *Indicatieve kentallen voor energiebesparing en CO<sub>2</sub>-emissiereductie bij verschillende vraag-aanbodcombinaties*

		GJp bespaard per GJ <sub>th</sub> ingevulde vraag	GJp bespaard per GJ input van restwarmte	t CO <sub>2</sub> vermeden per GJ <sub>th</sub> ingevulde vraag	t CO <sub>2</sub> vermeden per GJ input van restwarmte
<b>Woningbouw nieuw</b>					
Restwarmte industrie	120	0,63	0,40	0,034	0,022
Restwarmte industrie	80	0,75	0,61	0,041	0,034
Centrale/AVI	120	0,28	0,18	0,006	0,004
Centrale/AVI	80	0,66	0,54	0,033	0,027
<b>Woningbouw bestaand</b>					
Restwarmte industrie	120	0,67	0,53	0,037	0,029
Restwarmte industrie	80	0,73	0,65	0,040	0,036
Centrale/AVI	120	0,39	0,31	0,014	0,011
Centrale/AVI	80	0,65	0,59	0,032	0,029
<b>Utiliteitsbouw</b>					
Restwarmte industrie	120	0,80	0,74	0,044	0,041
Restwarmte industrie	80	0,82	0,79	0,045	0,044
Centrale/AVI	120	0,56	0,52	0,024	0,023
Centrale/AVI	80	0,75	0,72	0,038	0,037
<b>Glastuinbouw</b>					
Restwarmte industrie	120	0,06	0,05	-0,029	-0,027
Restwarmte industrie	80	0,08	0,08	-0,028	-0,027
Centrale/AVI	120	-0,18	-0,17	-0,049	-0,045
Centrale/AVI	80	0,01	0,01	-0,035	-0,034

### *Warmteverliezen en pompenergie*

De warmteverliezen hangen onder meer af van het temperatuurniveau in het warmtedistributie systeem: hoe lager de temperatuur, des te lager de verliezen. Verder is de dichtheid van de warmtevraag van belang: meer warmtelevering in verhouding tot de uitgebreidheid van het warmtenetwerk, betekent lagere verliezen. Ook de benodigde pompenergie is relatief kleiner bij een grotere dichtheid van de warmtevraag.

### *Warmtedichtheid*

Een gevolg hiervan is dat dichte bebouwing en een groot aandeel grote gebouwen gunstig zijn voor de energiebesparing. Bij grote gebouwen zijn echter ook meer alternatieven voorhanden met een fors besparingspotentieel, zoals warmtekuoudeslag (WKO) en WKK bij grote utiliteitsgebouwen.

Tabel 3.2 *Berekening van indicatieve kentallen voor energiebesparing bij verschillende vraag-aanbodcombinaties*

Bron	T °C	(a)	(b)	(c)	(d)	(e=d/c)	(f=a+b+e)	(g)	(h=1+g)	(i=f*h)	(j)	(k=j-i)	(l=k/j)
		GJp/GJ af producent voor uitkoppeling	GJp/GJ af producent pomp-energie	Rendement hulpketel	Aandeel hulpketel	GJp/GJ af producent voor hulpketel	GJp/GJ <sub>th</sub> af producent totaal	Verlies GJ <sub>th</sub> /GJ <sub>th</sub> geleverd	GJ <sub>th</sub> af producent/GJ <sub>th</sub> geleverd	GJp/GJ <sub>th</sub> geleverd	GJp/GJ <sub>th</sub> referentie	Besparing per GJ <sub>th</sub> geleverd	Besparing
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e=d/c)	(f=a+b+e)	(g)	(h=1+g)	(i=f*h)	(j)	(k=j-i)	(l=k/j)
<b>Woningbouw nieuw</b>													
Restwarmte industrie	120	0,09	0,04	90%	0,15	0,17	0,29	0,58	1,58	0,45	1,09	0,63	58%
Restwarmte industrie	80	0,09	0,04	95%	0,15	0,16	0,28	0,22	1,22	0,34	1,09	0,75	69%
Centrale/AVI	120	0,31	0,04	90%	0,15	0,17	0,51	0,58	1,58	0,80	1,09	0,28	26%
Centrale/AVI	80	0,15	0,04	95%	0,15	0,16	0,35	0,22	1,22	0,42	1,09	0,66	61%
<b>Woningbouw bestaand</b>													
Restwarmte industrie	120	0,09	0,04	90%	0,15	0,17	0,29	0,27	1,27	0,37	1,03	0,67	65%
Restwarmte industrie	80	0,09	0,04	95%	0,15	0,16	0,28	0,11	1,11	0,31	1,03	0,73	70%
Centrale/AVI	120	0,31	0,04	90%	0,15	0,17	0,51	0,27	1,27	0,65	1,03	0,39	38%
Centrale/AVI	80	0,15	0,04	95%	0,15	0,16	0,35	0,11	1,11	0,38	1,03	0,65	63%
<b>Utiliteitsbouw</b>													
Restwarmte industrie	120	0,09	0,04	90%	0,15	0,17	0,29	0,08	1,08	0,31	1,11	0,80	72%
Restwarmte industrie	80	0,09	0,04	95%	0,15	0,16	0,28	0,04	1,04	0,29	1,11	0,82	74%
Centrale/AVI	120	0,31	0,04	90%	0,15	0,17	0,51	0,08	1,08	0,55	1,11	0,56	50%
Centrale/AVI	80	0,15	0,04	95%	0,15	0,16	0,35	0,04	1,04	0,36	1,11	0,75	68%
<b>Glastuinbouw</b>													
Restwarmte industrie	120	0,09	0,04	90%	0,15	0,17	0,29	0,08	1,08	0,31	0,37	0,06	16%

Bron	T °C	(a)	(b)	(c)	(d)	(e=d/c)	(f=a+b+e)	(g)	(h=1+g)	(i=f*h)	(j)	(k=j-i)	(l=k/j)
		GJp/GJ af producent voor uitkoppeling	GJp/GJ af producent pomp-energie	Rendement hulpketel	Aandeel hulpketel	GJp/GJ af producent voor hulpketel	GJp/GJ <sub>th</sub> af producent totaal	Verlies GJ <sub>th</sub> /GJ <sub>th</sub> geleverd	GJ <sub>th</sub> af producent/ GJ <sub>th</sub> geleverd	GJp/GJ <sub>th</sub> geleverd	GJp/GJ <sub>th</sub> referentie	Besparing per GJ <sub>th</sub> geleverd	Besparing
													[%]
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e=d/c)	(f=a+b+e)	(g)	(h=1+g)	(i=f*h)	(j)	(k=j-i)	(l=k/j)
Restwarmte industrie	80	0,09	0,04	95%	0,15	0,16	0,28	0,04	1,04	0,29	0,37	0,08	21%
Centrale/AVI	120	0,31	0,04	90%	0,15	0,17	0,51	0,08	1,08	0,55	0,37	-0,18	-49%
Centrale/AVI	80	0,15	0,04	95%	0,15	0,16	0,35	0,04	1,04	0,36	0,37	0,01	2%

\* De energiebesparing door restwarmtelevering (k) wordt bepaald door de hoeveelheid energie die nodig is om restwarmte uit te koppelen (a) en te transporteren (b), door de hoeveelheid energie die in hulpketels wordt ingezet (e), door de verliezen in het distributiesysteem (h), en door het referentiegebruik (j). Voor elke combinatie van warmtebron en bestemming levert dit andere uitkomsten op. In de tabel is "GJ af producent" de uitgekoppelde warmte plus de warmte uit de hulpketel. De berekening van CO<sub>2</sub>-emissie-effecten (hier niet getoond) vindt plaats door de energiekentallen met de respectievelijke emissiefactoren te vermenigvuldigen. Voor individuele projecten zullen getallen afwijken.



De afstand waarover de warmte geleverd moet worden is niet zo belangrijk voor de warmteverliezen: het grootste deel van de verliezen treedt op in de vertakkingen van het systeem.

### Box 3.1 *Energiegebruik voor restwarmteinzet?*

Tabel 3.1 en Tabel 3.2 laten zien dat het gebruik van restwarmte energetisch niet gratis is. Om restwarmte te gebruiken en op de plaats van bestemming te krijgen is extra energie nodig, die voor industriële restwarmte kan oplopen tot 0,45 GJ per GJ warmte geleverd aan nieuwbouwwoningen, en voor warmte uit elektriciteitsopwekking vaak nog hoger is.

De extra energie die nodig is bestaat uit brandstof in hulpketels, pompenergie en energie voor de uitkoppeling bij de bron. Hulpketels leveren typisch 15% van de warmte, bij een rendement van 90% voor een systeem op 120% is dit 0.17 GJ inzet van brandstof per GJ die het distributiesysteem ingaat. Energie-inzet voor uitkoppeling is vooral substantieel bij elektriciteitsproductie (0,18-0,36 GJ per GJ afgetapte warmte, afhankelijk van het temperaturniveau), maar ook voor uitkoppeling van industriële restwarmte houdt de uniforme maatlat 0,1 GJ per GJ uitgekoppelde warmte aan. Inclusief pompenergie kan de inzet van primaire energie per GJ warmte die het distributiesysteem ingaat zo in totaal 0,28-0,29 GJ bedragen bij het gebruik van industriële restwarmte, en 0,35-0,51 GJ bij het gebruik van aftapwarmte bij elektriciteitsopwekking. De hoge waarden horen hier bij systemen op ca 120°C, de lage waarden bij systemen op ca 80°C.

Per GJ die het systeem daadwerkelijk op de bestemming aflevert is de inzet van primaire energie echter nog hoger, doordat er warmte weglekt uit het distributiesysteem. Met name bij levering aan nieuwbouwwoningen op 120°C zijn de verliezen in verhouding tot de warmtevraag groot, tot bijna een derde van de warmte die het systeem ingaat. Dat komt omdat de warmtevraag per aansluiting hierbij relatief laag is, terwijl de verliezen per aansluiting relatief constant zijn.

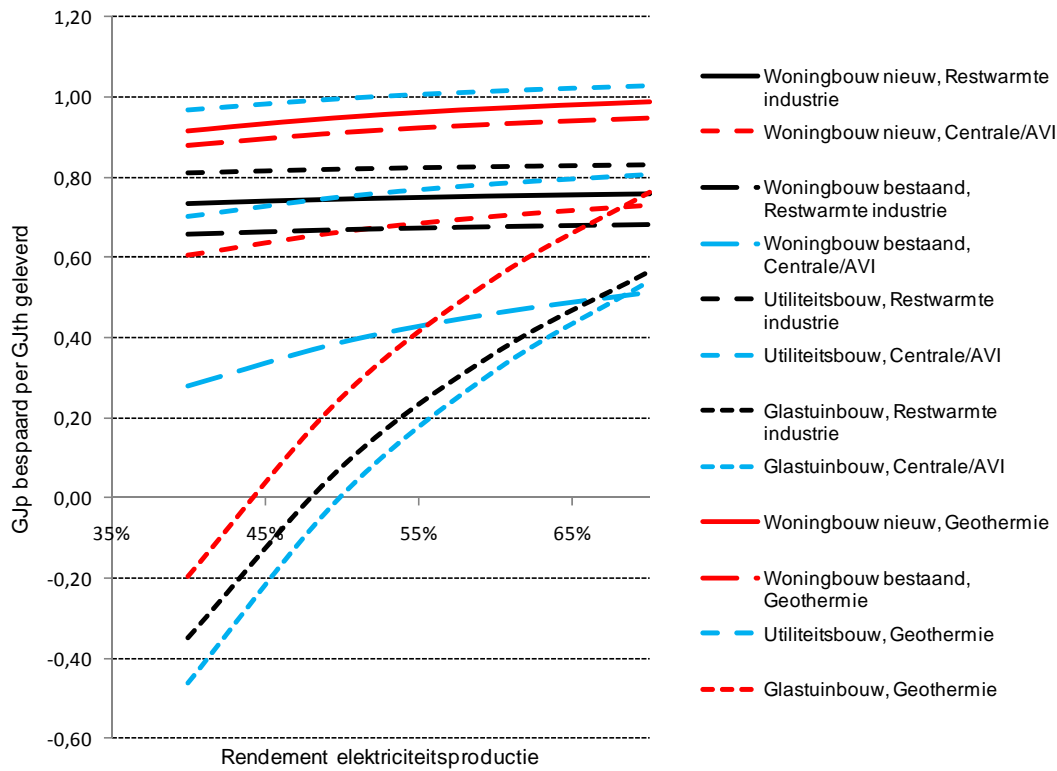
### *Elektriciteitsopwekking*

Het totale effect op energiebesparing en CO<sub>2</sub>emissies is gunstiger naarmate het rendement van de elektriciteitsopwekking hoger is en de emissies lager. Warmtelevering vraagt immers extra elektriciteitsinzet voor hulpenergie, en kan leiden tot minder elektriciteitsproductie, bij de warmteaftap van centrales of de verdringing van WKK. Per saldo betekent warmtelevering dus een verschuiving van lokale brandstofvraag naar elektriciteitsvraag.

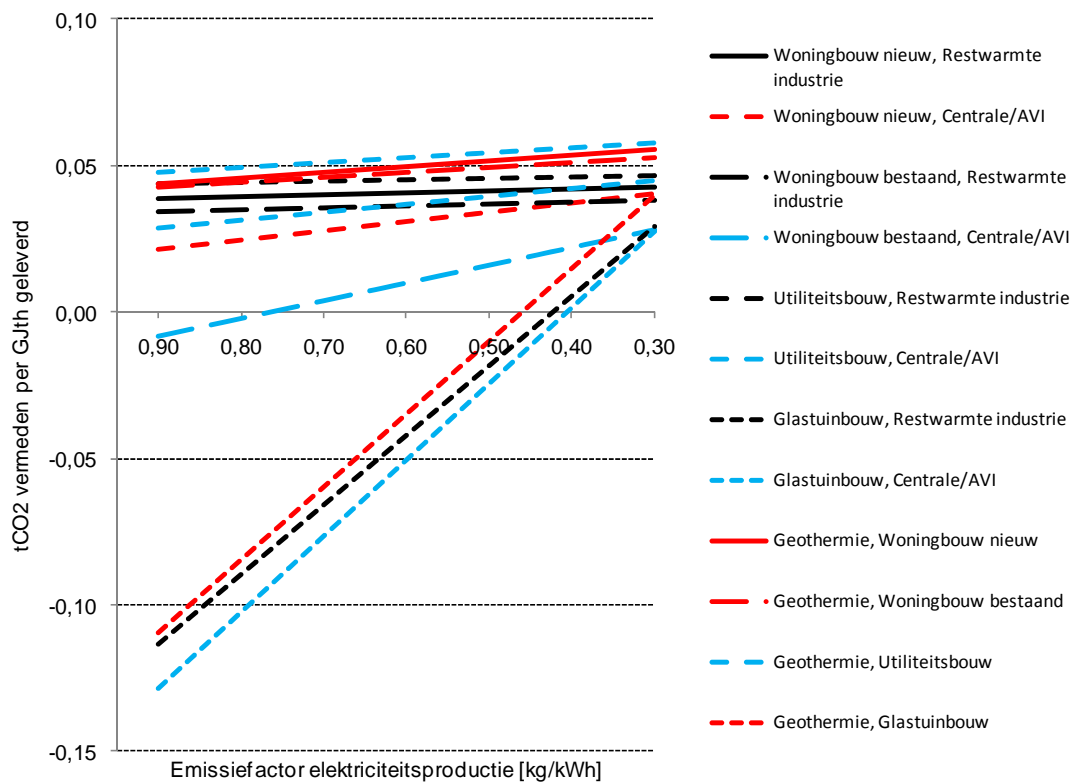
Figuur 3.2 en 3.3 laten zien dat de besparing respectievelijk de emissiereductie toenemen als het gemiddelde opwekkingsrendement hoger en de emissiefactor lager zijn. Het effect van warmtelevering wordt dus gunstiger als in de toekomst centrales efficiënter worden<sup>13</sup>, het aandeel hernieuwbaar stijgt en/of CO<sub>2</sub> wordt afgevangen. Warmtedistributie past qua effecten dus goed in de beoogde toekomstige energievoorziening. Dat geldt echter ook voor veel individuele alternatieven (zie Paragraaf 3.5). De impact is het grootst als warmte uit warmtedistributie WKK verdringt, zoals in de glastuinbouw, omdat WKK juist slechter scoort als de rest van de elektriciteitsvoorziening beter is. Bij inzet van restwarmte uit de industrie in plaats van warmte uit ketels is de gevoeligheid voor de eigenschappen van de elektriciteitsopwekking het kleinst.

Verder laten de figuren zien dat het effect op energiegebruik gemiddeld gunstiger is dan op de emissies. De verschuiving van lokale brandstofvraag naar elektriciteitsvraag betekent namelijk ook een verschuiving van aardgas (de lokale brandstof) naar kolen (als onderdeel van de opwekkingsmix).

<sup>13</sup> Wel is dan minder aftapwarmte beschikbaar uit centrales.



Figuur 3.2 *Het opwekkingsrendement van elektriciteit en energiebesparing van warmtedistributie*



Figuur 3.3 *Het opwekkingsrendement van elektriciteit en emissiereductie van warmtedistributie*

### Box 3.2 *Referentierendement elektriciteitsproductie*

Voor warmtelevering is vaak hulpenergie nodig voor onder meer pompen, in de vorm van elektriciteit. Hiervoor moet extra elektriciteit geproduceerd worden. Bij gebruik van aftapwarmte van elektriciteitscentrales is er bovendien verlies aan elektriciteitsproductie, die elders met extra productie opgevangen moet worden. Om de totale effecten op energiegebruik en emissies te kunnen vaststellen, moet eigenlijk bekend zijn met welk rendement en emissies die elektriciteit geproduceerd wordt. Dit rapport gaat uit van een rendement van 50% – conform de Uniforme maatlat – en hanteert voor de emissieberekeningen gelijke aandelen kolen en gas. Wat in werkelijkheid het effect op energiegebruik en emissies is, kan anders uitvallen, en hangt onder meer af van de tijdschaal.

#### *Momentsaan*

Op het moment dat er een verandering in elektriciteitsvraag of -aanbod optreedt, reageren daar meestal slechts een of enkele eenheden op, de zogenaamde *operational margin*. Welke eenheden dat zijn wordt bepaald door de zogenaamde merit-order. Centrales en andere elektriciteitsopwekking verschillen onderling namelijk in de kosten van een extra kilowattuur productie. Het grootste deel van deze kosten bestaat uit de brandstofkosten. De centrales met de laagste variabele kosten worden het eerst ingezet en maken de meeste draaiuren (basislasteenheden), en naarmate de variabele kosten hoger liggen maken de centrales minder uren. In de Nederlandse situatie zijn de reagerende centrales meestal gascentrales.

#### *Lange termijn*

Op de lange termijn spelen heel andere overwegingen een rol. Het aanbod aan elektriciteitscentrales volgt dan in het algemeen de vraag. Dat betekent dat een stijging of daling van de vraag uiteindelijk ook tot meer of minder basislasteenheden leidt. Voor een langere termijn ligt het dus meer voor de hand om bijvoorbeeld naar het gemiddelde park te kijken, of naar de eenheden die er bij komen om de stijging in de vraag op te vangen, de zogenaamde *built margin*. Daarbij is het ook van belang om bijvoorbeeld hernieuwbare elektriciteit in de berekening mee te wegen

## 3.3 Kosten

Een grotere netto energiebesparing is meestal ook gunstig voor de kosten, alleen al omdat energiebesparing de belangrijkste bron van financieel voordeel is bij warmtedistributie. Voor de kosten is de warmtedichtheid echter nog belangrijker dan voor de energiebesparing, omdat de kosten van het warmtedistributienet sterk afhangen van de uitgestrektheid ervan. Verder is de afstand tot de warmtebron voor de kosten - anders dan bij de besparing - wel van groot belang. Grotere afstanden tot een restwarmtebron en een lagere warmtedichtheid maken kleinschalige alternatieven op individueel gebouwniveau of wijkniveau relatief aantrekkelijker.

Per woning bedragen de investeringskosten van warmtedistributie vaak zo'n 6000 – 8000 euro, tegenover circa 2000 voor een HR-combiketel. De initiële meerkosten van een warmtenet moeten uiteindelijk terugverdiend worden door de besparing op het energiegebruik. Bij warmtedistributiesystemen gaat de kost vaak ver uit voor de baat: bij grootschalige projecten met warmtelevering kunnen jaren verstrijken tussen investering, ingebruikname en het moment dat de volledige capaciteit benut wordt<sup>14</sup>.

Warmtelevering geniet wel fiscale voordelen: de levering van warmte is vrijgesteld van energiebelasting, terwijl aardgasconsumptie door huishoudens onder het hoge kleingebruikerstarief valt. Extra energiegebruik voor warmtelevering is meestal vrijgesteld van energiebelasting (electriciteitscentrales) of valt onder de lagere tarieven van grootgebruikers (hulpketels, pom-

<sup>14</sup> Bij grootschalige warmtenetwerken vindt de opbouw dan ook vaak modulair plaats, waarbij mobiele ketels het systeem van warmte voorzien zolang de beoogde warmtebron nog niet is aangesloten. Hierdoor gaat wel een deel van de potentiële energiebesparing verloren: in het begin ligt het energiegebruik boven dat van de referentietechnologie.

pen). Grofweg geldt dat naarmate het energiegebruik in Figuur 3.1 verder naar links ligt (bij een groter schaalniveau), de geldende energiebelastingtarieven lager zijn.

Tabel 3.3 toont als voorbeeld indicatieve meerkosten voor warmtelevering aan 5000 woningen, met een afstand tot de warmtebron van 10 km. De veronderstelde rendementseis op investeringen is 4%<sup>15</sup> en er is gemiddeld 3 jaar verondersteld tussen het maken van de initiële kosten en het volledig operationeel worden van het systeem. Bij deze uitgangpunten is alleen warmtelevering vanuit centrales of AVI's op lage temperatuur rendabel.

Tabel 3.3 *Indicatieve meerkosten warmtelevering, 5000 woningen*<sup>16</sup>

Bron	T oC	GJp bespaard/ GJ <sub>th</sub> vraag	[%]	CO <sub>2</sub> vermeden /GJ <sub>th</sub> vraag	[%]	CO <sub>2</sub> niet- ETS vermeden/ GJ <sub>th</sub> geleverd	[€t CO <sub>2</sub> ]	€t CO <sub>2</sub> niet ETS	[€GJp]
<b>Woningbouw nieuw</b>									
Restwarmte industrie	120	0,63	58%	-0,03	56%	-0,06	218	123	12
Restwarmte industrie	80	0,75	69%	-0,04	67%	-0,06	122	82	7
Centrale/AVI	120	0,28	26%	-0,01	9%	-0,06	1409	130	28
Centrale/AVI	80	0,66	61%	-0,03	54%	-0,06	102	55	5
<b>Woningbouw bestaand</b>									
Restwarmte industrie	120	0,67	65%	-0,04	63%	-0,06	258	163	14
Restwarmte industrie	80	0,73	70%	-0,04	69%	-0,06	211	146	12
Centrale/AVI	120	0,39	38%	-0,01	23%	-0,06	779	182	27
Centrale/AVI	80	0,65	63%	-0,03	56%	-0,06	244	137	12

Tabel 3.4 toont ter vergelijking de indicatieve meerkosten bij 25000 woningen, waarbij er gemiddeld 5 jaar<sup>17</sup> is verondersteld tussen het maken van de initiële kosten en het operationeel worden van het systeem. Bij deze uitgangpunten is warmtelevering in bijna alle gevallen rendabel, hoewel energiebesparing en de effecten op CO<sub>2</sub>-emissies niet veranderen.

Tabel 3.4 *Indicatieve meerkosten warmtelevering, 25000 woningen*

Bron	T oC	GJp bespaard/ GJ <sub>th</sub> vraag	[%]	CO <sub>2</sub> vermeden /GJ <sub>th</sub> vraag	[%]	CO <sub>2</sub> niet- ETS vermeden/ GJ <sub>th</sub> geleverd	[€t CO <sub>2</sub> ]	€t CO <sub>2</sub> niet ETS	[€GJp]
<b>Woningbouw nieuw</b>									
Restwarmte industrie	120	0,63	58%	-0,03	56%	-0,06	67	38	4
Restwarmte industrie	80	0,75	69%	-0,04	67%	-0,06	-3	-2	0
Centrale/AVI	120	0,28	26%	-0,01	9%	-0,06	447	41	9
Centrale/AVI	80	0,66	61%	-0,03	54%	-0,06	-56	-30	-3
<b>Woningbouw bestaand</b>									
Restwarmte industrie	120	0,67	65%	-0,04	63%	-0,06	147	93	8
Restwarmte industrie	80	0,73	70%	-0,04	69%	-0,06	110	75	6
Centrale/AVI	120	0,39	38%	-0,01	23%	-0,06	463	108	16
Centrale/AVI	80	0,65	63%	-0,03	56%	-0,06	117	66	6

<sup>15</sup> Gemeenten en woningcorporaties participeren vaak in warmteprojecten, en hebben toegang tot goedkoop kapitaal. Daarom is hier de lage rendementseis van 4% aangehouden.

<sup>16</sup> Eindgebruikerskosten zijn op basis van energieprijzen voor eindgebruikers, de overige kosten zijn een indicatie van de maatschappelijke kosten, waarbij marktprijzen van energie zijn gebruikt, en energiebelasting buiten beschouwing is gelaten.

<sup>17</sup> Vanwege het grotere aantal woningen ligt een langere ontwikkeltijd voor de hand.

### 3.4 Collectieve alternatieven

Zoals Figuur 3.1 aan het begin van dit hoofdstuk laat zien, zijn er op allerlei schaalniveaus alternatieven voor restwarmtelevering. Dit kan zowel andere bronnen binnen een warmtedistributienet betreffen, als individuele systemen voort woningen en utiliteitsgebouwen.

#### *Geothermie*

Geothermie lijkt qua schaal en temperatuurniveau op restwarmte<sup>18</sup>. Waar geothermie mogelijk is, is op basis van de energiebesparing de restwarmtelevering uit centrales en AVI's minder interessant: geothermie levert een hogere besparing op. Tegenover de extra kosten van het slaan van een geothermiebron staat dat de kosten van uitkoppeling en een (lange) aanvoerleiding vermeden worden.

Tabel 3.5 *Geothermie voor verschillende vraagsectoren*

Geothermie	T °C	GJp bespaard per GJ <sub>th</sub> ingevulde vraag	GJp bespaard per GJ input van restwarmte	t CO <sub>2</sub> vermeden per GJ <sub>th</sub> ingevulde vraag	t CO <sub>2</sub> vermeden per GJ input van restwarmte
		0			
Woningbouw nieuw	80	0,78	0,66	0,041	0,035
Woningbouw bestaand	80	0,75	0,71	0,040	0,038
Utiliteitsbouw	80	0,85	0,85	0,046	0,046
Glasiuinbouw	80	0,11	0,11	-0,028	-0,028

#### *WKO*

Voor woonwijken is collectieve warmte-koudeopslag een optie. Het schaalniveau hiervan kan vergelijkbaar zijn met dat van individuele utiliteitsgebouwen (zie 3.5), maar bij woningen komen er wel extra kosten vanwege het distributiesysteem. Verder is koeling van woningen niet gebruikelijk, dit in tegenstelling tot utiliteitsgebouwen. Dat betekent dat koeling van woningen met WKO weliswaar extra comfort kan opleveren, maar dat er geen vermeden kosten zijn doordat een standaard airconditioning vermeden wordt. De energiebesparing zal bovendien lager zijn omdat een additionele energiedienst wordt geleverd.

### 3.5 Individuele alternatieven

In de woningbouw en dienstensector is verwarming met HR-CV ketels het meest gebruikelijk, maar daarnaast wordt ook gebruik gemaakt van warmtepompen en warmtekrachtkoppeling. Hieronder worden kosten, emissies en energiegebruik gegeven voor combinaties van warmteaanbodtechnologieën en gebouwtypen, gebaseerd op de studie van Wetzels e.a. (2011).

#### *Dienstensector*

Tabel 3.6 laat het primaire energiegebruik zien. Warmte-koude opslag en WKK realiseren aanzienlijke besparingen. Dat met een WKO-systeem ook gekoeld kan worden draagt sterk aan de besparing bij. Bij de HR-ketel en de WKK wordt voor de koeling een compressie koelmachine ingezet met een lagere energie-efficiëntie. De besparing van WKO neemt toe bij verdere verbetering in de efficiëntie van de elektriciteitsopwekking, terwijl die van WKK daarbij juist verslechtert.

<sup>18</sup> Typisch vermogen 10 MW<sub>th</sub>, temperatuurniveau 70-90 graden.

Zowel WKO als WKK leiden tot een aanzienlijke emissiereductie van vergelijkbare grootte (Tabel 3.7). WKO verlaagt ook de emissies in de dienstensector zelf (buiten het ETS) sterk, terwijl WKK die juist verhoogt. Bij een dalende emissiefactor voor elektriciteit neemt de emissiereductie door WKK af. Bij een voldoende grote koelvraag zijn de kosten voor warmte-koude opslag lager dan voor de HR-ketel. Dit leidt tot een gunstige kosteneffectiviteit voor WKO.

De resultaten zijn indicatief omdat kosten en technische eigenschappen situatieafhankelijk zijn, en hangen sterk af van de gekozen referentie. De kosten van WKK hangen sterk af van de ontwikkeling van de energieprijzen.

Tabel 3.6 *Individuele alternatieven: energiebesparing in de dienstensector, 2020*

		Primair verbruik [TJ]	Besparing [%]	Kosteneffectiviteit [€/GJ]
Kantoor	HR-CV ketel	2,9	-	-
	WKO	1,1	61	-13
	WKK	2,1	28	8
School	HR-CV ketel	3,4	-	-
	WKO	1,4	58	-14
	WKK	2,3	32	7
Verpleeghuis	HR-CV ketel	3,1	-	-
	WKO	1,4	55	-16
	WKK	1,9	39	4

Tabel 3.7 *Individuele alternatieven: emissiereductie in de dienstensector, 2020*

		Emissie			Emissie reductie [%]	Kosten effectiviteit [€/ton CO <sub>2</sub> ]
		[ton] ETS	Niet-ETS	Totaal		
Kantoor	HR-CV ketel	76	106	183	-	-
	WKO	71	11	82	55%	-223
	WKK	-77	176	99	46%	81
School	HR-CV ketel	65	145	210	-	-
	WKO	88	15	102	51%	-253
	WKK	-144	240	96	54%	68
Verpleeghuis	HR-CV ketel	76	161	184	-	-
	WKO	85	16	101	45%	-330
	WKK	-155	266	58	68%	36

### Woningbouw

Tabel 3.8 laat bandbreedtes voor het primair verbruik en de kosteneffectiviteit zien. Zowel met warmtepompen als met micro-WKK is een substantiële besparing te bereiken. De resultaten voor de brandstofcel-WKK zijn gunstig, maar deze technologie is nog niet commercieel beschikbaar. De lucht/water warmtepomp bespaart relatief weinig, en zal in de praktijk niet toegepast worden bij woningen met een hoog energiegebruik. De emissiereductie van de hybride warmtepompen is beperkt. De lucht/water warmtepomp realiseert bij de gekozen aannames geen emissiereductie. Besparing en emissiereductie hangen sterk af van de gekozen referentie. Enkele van de technologieën zijn nog niet uitontwikkeld, waardoor de resultaten extra onzeker zijn.

Uit de vergelijking tussen tabel 3.7 en 3.2 blijkt dat alle alternatieven in de woningbouw duurder zijn dan restwarmtebenutting.

Tabel 3.8 *Individuele alternatieven woningen: Bandbreedtes voor energiebesparing, 2020*

	Primair verbruik [GJ/GJ warmte]	Besparing [%]	Kosteneffectiviteit [€/GJ]
HR-CV ketel	0,99 — 1,02	-	-
Micro-WKK Stirling	0,73 — 0,83	19% — 26%	17 — 112
Micro-WKK brandstofcel	0,48 — 0,64	37% — 52%	25 — 122
WP lucht/water	0,84 — 0,94	2% — 12%	230- >>1000
WP water/water	0,41 — 0,58	37% — 45%	109 — 346
WP hybride	0,77 — 0,80	19% — 25%	78 — 133

Tabel 3.9 *Individuele alternatieven woningen: Bandbreedtes voor emissiereductie, 2020*

	Emissie [kg/GJ warmte]	Emissiere- ductie [kg/GJ warmte] ETS	Niet-ETS	Totaal	Emissiereduc- tie [%]	Kosten- effectiviteit [€/ton CO <sub>2</sub> ]
HR-CV ketel	58 — 61	-	-	-	-	-
Micro-WKK Stirling	34 — 44	27 — 37	-13 — -10	18 — 24	29% — 41%	180 — 1.200
Micro-WKK brandstofcel	6 — 23	69 — 94	-42 — -31	39 — 52	63% — 90%	240 — 1.200
WP lucht/water	72 — 75	-75 — -72	58 — 61	-17 — -10	-30% — -17%	n.v.t.
WP water/water	43 — 53	-53 — -43	58 — 61	9 — 15	14% — 26%	>>1000
WP hybride	58 — 59	-48 — -43	43 — 51	0 — 3	0% — 5%	>>1000

#### *Vergelijking met restwarmtelevering*

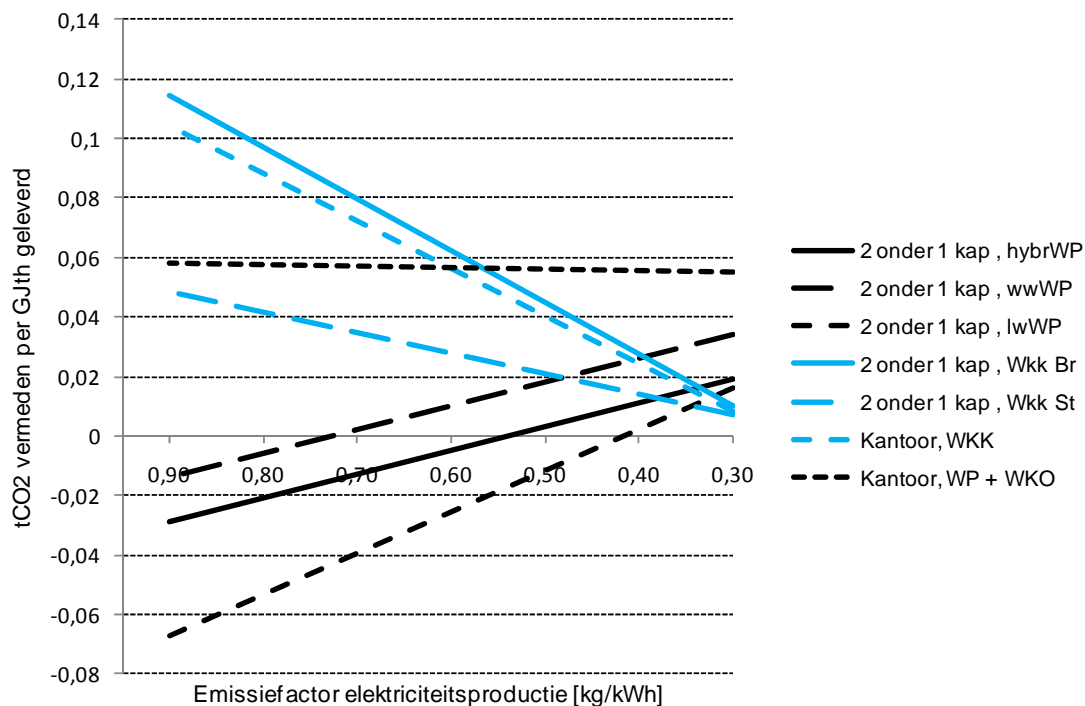
In de utiliteitsbouw lijken alternatieven qua kosteneffectiviteit gunstig te scoren, bij de woningbouw is dit juist minder het geval. Ook restwarmtelevering scoort qua kosten en effecten gunstiger in de utiliteitsbouw dan in de woningbouw

Als op lokaal niveau gekozen moet worden tussen restwarmtelevering aan utiliteitsbouw of woningbouw, is de utiliteitsbouw qua kosten en effecten gunstiger. Toch kan levering aan woningbouw te prefereren zijn omdat hier minder en minder gunstige alternatieven voorhanden zijn dan in de utiliteitsbouw.

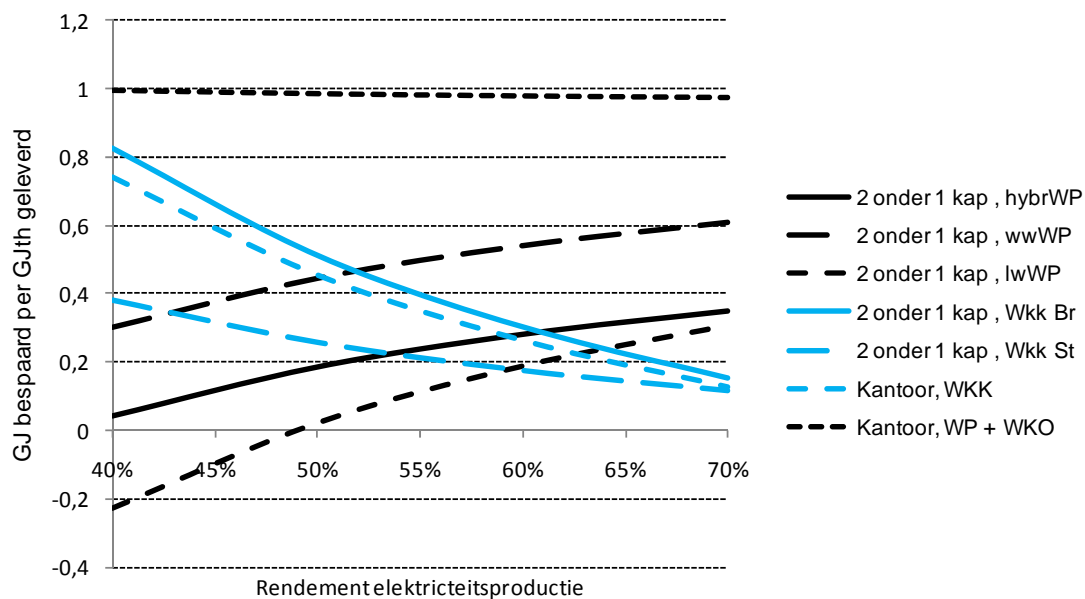
#### *Effect opwekkingsrendement elektriciteit*

Bij het gekozen referentierendement voor elektriciteit – 50% scoren de WKK-concepten in het algemeen gunstiger dan de warmtepompen. Voor de langere termijn ligt dit beeld heel anders. Bij een verdergaande verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening neemt de besparing van WKK af, en die van warmtepompen toe.

Evenals bij warmtedistributie treden er bij de individuele alternatieven namelijk verschuivingen op tussen de inzet van brandstof en elektriciteit. Figuur 3.4 en Figuur 3.5 tonen de effecten op emissiereductie en energiebesparing van individuele alternatieven voor woningbouw en utiliteit. Warmtepompsystemen scoren – evenals restwarmtelevering – gunstiger bij een efficiëntere en emissiearmere elektriciteitsopwekking, doordat ze per saldo een verschuiving van brandstof naar elektriciteit veroorzaken. Voor WKK is dit andersom. (Micro)-WKK-systemen passen daardoor waarschijnlijk minder goed in een emissiearme toekomstige elektriciteitsvoorziening. De constante score van WKO-systemen in de utiliteitsbouw is te verklaren doordat ze per saldo slechts een kleine verschuiving veroorzaken tussen elektriciteit en brandstoffen.



Figuur 3.4 De emissiefactor van elektriciteit en de emissiereductie van individuele alternatieven



Figuur 3.5 Het opwekkingsrendement elektriciteit en de besparing van individuele alternatieven



## 4. Aanbod restwarmte

Dit hoofdstuk brengt het aanbod van de winbare restwarmte in kaart door de processen in de sectoren elektriciteitsopwekking, afvalverbrandingsinstallaties, raffinage en industrie na te lopen, de restwarmtestromen te identificeren en te kwantificeren.

De winbare restwarmte is zoveel mogelijk bepaald aan de hand van openbare bronnen. Voor de winbare restwarmte uit de bulk chemie en de raffinage is gebruik gemaakt van een vertrouwelijke database waarin meer dan de helft van de restwarmtestromen in de chemie en raffinage is opgenomen. Met behulp van vertrouwelijke kennis over de aard van de processen in de overige sectoren en met informatie uit de energiestatistieken is voor de overige sectoren een schatting van de winbare restwarmte gemaakt.

Veel restwarmte is van zeer lage temperatuur ( $<40^{\circ}\text{C}$ ) en diffuus van aard bijvoorbeeld de restwarmte die via transmissie van warmte uit installaties, koeling van elektromotoren, of warmte in vaste producten als staal en dergelijke in de lucht terecht komt. Deze restwarmte is niet of slechts zeer moeilijk te winnen en daarom als bron voor hergebruik waardeloos. Winbare restwarmte bevindt zich in concrete processtromen.

### 4.1 Aanpak

Dit hoofdstuk brengt bij de potentiële bronnen van restwarmte de gegevens in kaart die nodig zijn om, in samenhang met de vraagkant, een inschatting te maken van het potentieel voor een zinvolle benutting van restwarmte. Zoals beschreven in Hoofdstuk 2 zijn voor een zinvolle benutting van restwarmte door warmtedistributie van belang:

- 1) Het energiegebruik, emissies en kosten (besparing).
- 2) Het temperatuurniveau.
- 3) Het aanbodpatroon (gelijktijdigheid).
- 4) Locatie, schaal en dichtheid (afstand tussen aanbod en vraag).
- 5) De alternatieven voor het gebruik van de restwarmte.

#### *Besparingspotentieel*

Het uitkoppelen van restwarmte kost energie, bijvoorbeeld als hulp energie voor pompen of door derving van elektriciteit opbrengsten bij centrales en Afval Verbranding Installaties.

#### *Temperatuur*

Het overgrote deel van de beschikbare restwarmte is alleen toepasbaar voor ruimteverwarming en warm tapwater bereiding. Voor deze toepassing is warmtelevering bij de bron op  $120^{\circ}\text{C}$  nodig voor de oudere, reeds bestaande netten of warmte van  $90^{\circ}\text{C}$  voor moderne of nieuw aan te leggen netten. In de inventarisatie is daarom het aanbod op zowel  $120^{\circ}\text{C}$  als op  $80^{\circ}\text{C}$  in kaart gebracht.

#### Box 4.1 *Industrie aan industrie*<sup>19</sup>

Buiten de scope van dit onderzoek valt de warmte-uitwisseling tussen industrie. Maar het is in principe ook mogelijk restwarmte uit het ene industriële proces in te zetten in het andere industriële proces. De sectoren met hogere temperatuur restwarmte (>150°C) zijn vooral geconcentreerd bij de chemische industrie terwijl de processen met lagere temperatuur proceswarmte (<150°C) vooral in de sectoren voedingsmiddelen en papier voorkomen. De chemische industrie is geconcentreerd in de grote chemische complexen, terwijl de locaties van de voedingsmiddelenindustrie en de papierindustrie meer verspreid liggen. In de praktijk komt de combinatie hoge temperatuur restwarmte – lage temperatuur proceswarmte daardoor zeer beperkt voor. Bij de ontwikkeling van nieuwe industriële activiteiten blijft het natuurlijk opportuun om het benutten van industriële restwarmte in overweging te nemen.

Vanwege de meestal betere aansluiting van bedrijfstijden kunnen de potentiële energiebesparing en baten hier vaak groter zijn. De markt toont hierin twee verschillende uitvoeringsvormen.

- Twee bedrijven zijn via een warmte/stoomleiding met elkaar verbonden. Bij deze kleinschalige warmte-uitwisseling gaat het veelal om relatief bescheiden hoeveelheden warmte die jaarlijks worden uitgewisseld: van jaarlijks enkele TJ tot enkele honderden TJ. Een bekend knelpunt bij deze vorm is dat nabijgelegen bedrijven onbekend zijn met elkaar energiebehoeften.
- Grootschalige warmte-uitwisseling, meestal met stoom. Deze vorm komt op enkele industriële complexen voor, en vereist de aanwezigheid van tenminste één sterke partij zonder dreiging van monopolie. Dit maakt de vorming van industriële warmte-infrastructuren tot een ingewikkeld proces. De bekende voorbeelden in Nederland zijn dan ook meestal historisch gegroeid: er was oorspronkelijk sprake van één eigenaar waarbij na verkoop van verschillende fabrieken op de site de infrastructuur is behouden. Een voorbeeld is de Chemelot-site in Zuid-Limburg. Het vereist de aanwezigheid van tenminste één robuuste en financieel aantrekkelijke (rest)warmtebron, vaak een industriële WKC of een AVI. Als daaraan is voldaan, ligt er een minimale basis voor industriële (rest)warmte-uitwisseling.

Voor wat betreft de warmte-uitwisseling tussen industrieën is het marktpotentieel naar verwachting enkele tientallen PJ. De nationale warmtekaart kan helpen bij het identificeren van kansrijke locaties.

#### *Aanbodpatroon*

Om de gelijktijdigheid tussen aanbod en vraag te bepalen is het nodig om van de aangeboden warmte de beschikbaarheid in de tijd te kennen. De beschikbaarheid wordt daarom voor iedere bron of groep van bronnen beschreven.

#### *Locatie en dichtheid*

Van de restwarmte wordt globaal beschreven waar de bronnen zich bevinden. Deze informatie geeft een indicatie van de geografische afstand tot potentiële categorieën gebruikers. Ook gemiddelde warmteproductie per bron is hierbij van belang: grotere bronnen maken grotere afstanden reëel, en vergroten de kansen voor warmtedistributie.

#### *Alternatieven*

Of het zinvol is om restwarmte uit te koppelen hangt mede af van de alternatieven voor het gebruik van de restwarmte bij de bron. Waar bekend worden de alternatieve en de consequenties voor de beschikbaarheid van restwarmte beschreven.

<sup>19</sup> Met dank aan Arjan van der Weiden, AgNL.

## 4.2 Sectoren

### 4.2.1 Industrie

Tabel 4.1 *Aanbod van warmte op 80 en 120 graden Celsius*

		Papier- en kartonindustrie	Voedings middelen	Overige industrie	Chemie	Raffinader ijen	Kolen centrales	Gascentrales	AVT's
120 graden	(Rook)gas	0,3	0,5	6,4	13	14			
	Damp			0,2					
	Drooglucht (dauwpunt)								
	Vloeistof				22	24			
	(Ventilatie)lucht/Ecentrale								
	Aftapwarmte						299	39	11
Rookgassen WKK					12	9			
80 graden	(Rook)gas	1,2	1,1	7,2	14	15			
	Damp		0,6	0,1					
	Drooglucht (dauwpunt)								
	Vloeistof				39	40			
	(Ventilatie)lucht/Ecentrale								
	Aftapwarmte						274	52	11
Rookgassen WKK					13	10			

#### *Chemie*

De chemie gebruikt ongeveer 870 PJ aan primaire energiedragers, waarvan 525 als grondstof. De warmtevraag is ongeveer 240 PJ, waarvan ongeveer de helft uit directe stook komt en de andere helft uit stoom. Van de stoom is ruim 90 PJ uit WKK afkomstig. Relatief veel stoom is nodig op hogere temperaturen, iets wat ook zichtbaar is in de relatief lagere rendementen van WKK t.o.v. andere sectoren<sup>20</sup>. Dit betekent dat de rookgassen uit WKK vrijkomen op een relatief hoog temperatuurniveau. In rookgassen van ketels, WKK en fornuizen is naar schatting 25 PJ aan warmte beschikbaar van 120°C. In processtromen - vaak condensoren van destillatiekolommen - is volgens de database 22 PJ beschikbaar op een temperatuurniveau van 120°C. Bij aftap op 80°C kan maximaal 27 PJ respectievelijk 39 PJ aan warmte beschikbaar worden gemaakt. In totaal is daarmee in de bulkchemie maximaal 47 PJ op 120°C en 66 PJ op 80°C beschikbaar te maken. De processen in de bulk chemie zijn vrijwel allemaal volcontinu. De hulpenergie voor het uitkoppelen zal vooral uit pompenergie bestaan en zeer bescheiden zijn ten opzicht van de hoeveelheid uitgekoppelde warmte. Ongeveer 60% van de bulkchemie bevindt zich in of nabij het Rijnmondgebied, de rest vooral in het zuiden bij Sittard-Geleen en in het noorden bij Delfzijl.

#### *Raffinaderijen*

De energie-inzet in de raffinaderijen is ongeveer 170 PJ per jaar. Veel proceswarmte is hier nodig op hogere temperatuurniveaus. Volgens de database is uit processtromen 24 PJ beschikbaar van 120°C en nog eens 16 PJ extra tussen 80°C en 120°C. Uit rookgassen is naar schatting 23 PJ beschikbaar van 120°C en 25 PJ van 80°C. Raffinaderijen werken volcontinu. Het restwarmteaanbod bevindt zich vrijwel geheel in of nabij het Rijnmondgebied. De hulpenergie nodig voor het uitkoppelen zal vooral uit pompenergie bestaan en is zeer bescheiden ten opzicht van de hoeveelheid uitgekoppelde warmte.

<sup>20</sup> Mogelijk een andere factor hierbij is de inzet van brandstoffen die als bijproduct uit chemische processen vrijkomen. Hierbij zijn de rendementen vaak lager dan bij inzet van aardgas.

### *Papierindustrie*

De papierindustrie gebruikt ongeveer 30 PJ primaire energie per jaar. De meeste fabrieken hebben warmtekracht eenheden, waarmee ongeveer 18 PJ warmte in de vorm van stoom en 8 PJ elektriciteit wordt opgewekt. De rookgasverliezen bedragen ongeveer 4 PJ op een temperatuur van ongeveer 130°C. De grootste warmtevraag wordt gevormd door het droogproces, de restwarmte uit het droogproces na warmterugwinning is ongeveer 12 PJ met een (dauwpunt<sup>21</sup>) temperatuur van ongeveer 45°C. Daarnaast is er een restwarmtestroom van ongeveer 4 PJ in de vorm van gebruikt proceswater op een temperatuur lager dan 40°C. De resterende restwarmte ongeveer 10 PJ gaat in de ventilatielucht op temperaturen onder 40°C verloren. Uit de rookgasen kan maximaal 0,3 PJ op 120°C en 1,2 PJ op 80°C beschikbaar worden gemaakt. Papierfabrieken bevinden zich verspreid door het land met concentraties in Groningen, Gelderland en Limburg, sommige fabrieken bevinden zich relatief vaak in de buurt van stedelijke bebouwing. Het merendeel van de fabrieken produceert volcontinu.

### *Suikerindustrie*

De suikerindustrie gebruikt ongeveer 6 PJ primaire energie. Beide fabrieken hebben een warmtekracht in de vorm van een tegendrukstoomturbine. Warmte wordt gebruikt in de vorm van stoom, (ongeveer 4,5 PJ) en drooglucht ten behoeve van pulpdrogen (ongeveer 1,5 PJ). Het suikerproces is zeer ver warmtegeïntegreerd waardoor de restwarmte in de damp (ongeveer 2 PJ) en in de condensaten (ongeveer 1 PJ) rond de 50°C het proces verlaten. De rookgassen (ongeveer 0,5 PJ) zijn verdeeld over meerdere kleine stromen. De drooglucht uit de pulpdroger (1,5 PJ) heeft een dauwpunt van ongeveer 50°C. De resterende restwarmte (ongeveer 1 PJ) gaat in de ventilatielucht op temperaturen onder 40°C verloren.

### *Zuivelindustrie*

De zuivelindustrie gebruikt ongeveer 18 PJ primaire energie. Warmte in de vorm van stoom wordt gebruikt voor het opwarmen van processtromen en indampen (ongeveer 3,5 PJ). Warmte gebruikt als drooglucht bedraagt ongeveer 8 PJ. Bij de productie van stoom en drooglucht gaat ca. 1,5 PJ als rookgas verloren op ongeveer 90°C. In condensaatstromen en de lage druk dampstromen gaat ongeveer 3 PJ verloren op temperaturen beneden 50°C. De restwarmte in de drooglucht (ongeveer 8 PJ) heeft een dauwpunt van 40°C. De resterende restwarmte (ongeveer 5,5 PJ) gaat in de ventilatielucht op temperaturen onder 40°C verloren.

### *Bakkerijen*

Het energieverbruik van de bakkerijsector ( brood, banket, beschuit, biscuit) is ongeveer 10 PJ per jaar. Dit verbruik is verdeeld over vele kleine ambachtelijke bedrijven en naar schatting 100 - 150 grotere (industriële) bedrijven. Het energieverbruik van de grotere bedrijven wordt geschat op 50 % van het totale energieverbruik in deze sector. Het gasverbruik in de sector kan voor ongeveer 55 % worden toegeschreven aan de bakprocessen, 18 % voor stroomproductie en 25 % voor ruimteverwarming, de rest is voor warm water en kookprocessen. De rookgassen van bakovens komen vrij op een temperatuur van 150 tot 200 °C. Bij een aantal bedrijven wordt warmte terugwinning toegepast bij de rookgassen, onbekend is echter hoeveel bedrijven dat zijn. Naar schatting is ongeveer 50 % van de rookgaswarmte van de gasovens (ongeveer 1,1 PJ per jaar) nog beschikbaar is voor verdere terugwinning. De resterende restwarmte (ongeveer 8,9 PJ per jaar) gaat in de ventilatielucht, als warm water en bij decentrale elektriciteitproductie verloren.

### *Aardappelproducten*

De aardappelverwerkende industrie gebruikt ongeveer 9 PJ primaire energie per jaar. Warmte - circa 5,4 PJ per jaar - wordt gebruikt als middendruk stoom voor bak- en droogprocessen en voor het verwarmen van water en bedrijfsruimtes. De restwarmte in rookgassen bedraagt ongeveer 0,5 PJ op ongeveer 130°C. De bakdampen zijn met ongeveer 3 PJ op circa 95°C de groot-

---

<sup>21</sup> Temperatuur waarbij condensatie optreedt.

ste restwarmtestroom, gevolgd door de damp uit de stoomschillen (ongeveer 0,6 PJ op 95°C). Warmteterugwinning uit dampen is beperkt mogelijk op 80°C.

### *Zetmeelproductie*

De zetmeelproductie gebruikt ongeveer 9 PJ primaire energie per jaar. Warmte wordt gebruikt voor het verwarmen van processtromen en het drogen van zetmeel. Op basis van openbare procesbeschrijvingen is geschat dat het droogproces de meeste warmte gebruikt.

### *Margarine, Vetten en Oliën*

De MVO gebruikt ongeveer 7,5 PJ primaire energie per jaar. Warmte wordt gebruikt voor het opwarmen van processtromen, droegen en extraheren/wassen.

### *Voedingsmiddelenindustrie totaal*

In de voedingsmiddelenindustrie is in totaal naar schatting 0,5 PJ op 120°C en 1,7 PJ op 80°C beschikbaar te maken. De bedrijfstijd is wisselend, bovendien bevinden zich in de sector campagnebedrijven. Over het algemeen is de warmte niet volcontinu beschikbaar.

### *Overige sectoren*

Industriële bedrijven met restwarmtepotentieel bevinden zich vooral bij de bouwmaterialenproductie (keramiek, glas, klinker, kalkzandsteen, etc.; SBI-2008 groep 23) en de vervaardiging van metalen (SBI-2008 groep 24). Het energiegebruik van de relevante processen bedraagt ongeveer 100 PJ. Energie wordt vooral gebruikt in hoge-temperatuur processen zoals cokesproductie, hoogovens, bakovens, glasovens, klinkerovens. Het merendeel van de restwarmte bevindt zich in rookgassen die vaak vervuild zijn. De mogelijkheden voor winning van restwarmte zijn daardoor beperkt. In totaal is naar schatting 6,6 PJ op 120°C en 7,3 PJ op 80°C restwarmte beschikbaar te maken. De productielocaties bevinden zich verspreid door het land, de productie is veelal volcontinu.

### *Totaalbeeld*

Op basis van de beschreven sectoren is er in de industrie - inclusief raffinage - naar schatting 100 PJ warmte beschikbaar op een temperatuurniveau boven de 120 °C. Het grootste deel van deze warmte zit in stromen waarvan de warmte afgetapt kan worden voordat de warmte uit de stroom in het milieu vrijkomt. Bij een retourtemperatuur van 60°C uit een warmtedistributienetwerk kan de warmte benut worden die vrijkomt bij afkoeling van 120 naar 70 °C<sup>22</sup>. Op basis hiervan is ongeveer 50 PJ van de 100 PJ beschikbaar te maken voor een warmtenet.

### *Energieinzet*

Tegenover de aftap van industriële restwarmte staat in principe geen extra inzet van energie, afgezien van pompen die de warmte door het distributienet transporteren. Wel moet voor pieken in de warmtevraag, en bij uitval of onderhoud van processen bijstookvermogen beschikbaar zijn. De benutting van restwarmte kan echter wel ten koste gaan van de mogelijkheden om binnen het bedrijf zelf verder energie te besparen. De Uniforme Maatlat gaat uit van 0.1 GJ primaire energie per GJ geleverde warmte.

### *Beperkingen*

De meeste industriële processen functioneren in continubedrijf. Dit geldt zeker voor de energie-intensieve industrie. De restwarmte hieruit is dus gedurende het hele jaar als een vrijwel constante stroom beschikbaar, terwijl de vraag juist sterk kan fluctueren. Het tijds patroon van vraag en aanbod sluit dan niet bij elkaar aan. In de praktijk kan daardoor 30 tot maximaal 45% van de beschikbare warmte benut worden. Van de 50 PJ blijft op basis van het aanbodpatroon maximaal 22 PJ over.

---

<sup>22</sup> Bij centrales komt de retourwarmte niet meteen vrij in het milieu, maar gaat deze weer terug naar de centrale.

Voor industriële locaties is vaak niet goed in te schatten wat de te verwachten restlevensduur is. Zeker op grote industriële sites vindt modernisering modulair plaats: onderdelen van productieprocessen worden vervangen. Daardoor is er in tegenstelling tot elektriciteitscentrales vaak geen specifiek moment waarop het waarschijnlijker is dat een bepaalde locatie als geheel stopt met produceren. Wel is er in de inschattingen rekening mee gehouden dat een deel van de locaties kan gaan stoppen, of minder gaat produceren.

### *Alternatieven*

Energiebesparing binnen de poorten van het bedrijf zal vaak ten koste gaan van de restwarmte die beschikbaar is voor levering aan derden. Op de meest voor de hand liggende warmtestromen voor restwarmtelevering valt ook binnen het bedrijf het makkelijkst te besparen, waardoor besparing meer dan evenredig ten koste kan gaan van de mogelijkheden van restwarmtelevering. Omgekeerd kan bestaande restwarmtelevering blokkades opwerpen voor verder optimalisatie binnen het bedrijf.

Als de industrie in de toekomst op grote schaal CCS gaat toepassen, is dit een alternatieve bestemming voor restwarmte. De hoeveelheid restwarmte beschikbaar voor warmtedistributie wordt dan kleiner.

Industriële warmtepompen kunnen warmte van een lagere temperatuur niveau opwaarderen naar een hoger temperatuurniveau, die beter aansluit bij de vraag in het bedrijf zelf. Met de Organic Rankine Cycle kan elektriciteit opgewekt worden uit warmte van een relatief lage temperatuur.

### Box 4.2 *Restwarmte beschikbaar? De opties*

Stel dat er in een industrieel bedrijf restwarmte beschikbaar is, of bij een centrale er de mogelijkheid bestaat om warmte af te tappen, wat leveren dan de verschillende opties op in termen van besparing en CO<sub>2</sub>-emissiereductie? Belangrijk hierbij is het onderscheid tussen inzet in het eigen bedrijf, of de inzet in andere sectoren via warmtedistributie, dit in verband met de gelijktijdigheid van aanbod en vraag van warmte.

#### *Warmtedistributie*

Inzet van beschikbare warmte via warmtedistributie levert minder dan 0,01 tot maximaal 0,05 ton CO<sub>2</sub>-emissiereductie op per GJ warmte die aan het distributiesysteem geleverd wordt, en bespaart tussen de 0,2 en 0,8 GJ aan primaire energie. De warmte die aan het systeem geleverd kan worden is echter 55% tot 70% minder dan de *beschikbare* warmte, vanwege de ongelijktijdigheid van vraag en aanbod. Per GJ beschikbare warmte is de emissiereductie daarom maximaal 0,02 ton CO<sub>2</sub>, en de besparing maximaal 0,35 GJ.

#### *Eigen bedrijf*

Restwarmte kan in het eigen bedrijf ingezet worden om de energievraag te verminderen, maar ook om in de energievraag te voorzien van nieuwe functies zoals CO<sub>2</sub>-afvang en opslag. Bij inzet in het eigen bedrijf zullen aanbod en vraag van restwarmte grotendeels synchroon zijn, waardoor de restwarmte het grootste deel van de tijd ook daadwerkelijk benut kan worden.

Bij inzet voor de vermindering van de energievraag zal 1 GJ aan restwarmte tot maximaal 1 GJ vermindering van de energievraag leiden en maximaal 0,05 ton CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Meestal zal dit minder zijn, omdat het aangeboden temperatuurprofiel niet een-op-een correspondeert met de vraag.

CCS levert geen energiebesparing op, maar wel CO<sub>2</sub>-emissiereductie. De potentiële aftapwarmte van een elektriciteitscentrale kan bijvoorbeeld ook alternatief ingezet worden voor CCS. In dat geval levert 1 GJ warmte een indicatieve emissiereductie van circa 0,1 ton CO<sub>2</sub> bij gascentrales en 0,2 ton CO<sub>2</sub> bij kolencentrales.

Waar de keus aanwezig is tussen inzet van warmte in het eigen bedrijf en levering van warmte aan een andere sector, levert inzet in het eigen bedrijf dus meestal meer besparing en emissiereductie op dan inzet elders. Bij gebruik voor CCS is de emissiereductie tot 10 keer zo hoog, maar is er geen energiebesparing.

## 4.2.2 Afvalverbrandingsinstallaties

In afvalverbrandingsinstallaties wordt afval op roosters verbrand. De rookgassen zijn vervuild, onder meer met zouten die bij hogere temperaturen sterk corrosief zijn. Warmteterugwinning uit de rookgassen is desondanks mogelijk, zij het met de beperking dat de temperatuur onder circa 300°C moet blijven. Door de begrensde temperatuur is het elektrische rendement van een AVI laag vergeleken met centrales. De rookgassen ondergaan na warmteterugwinning een serie reinigingsstappen. In AVI's wordt warmte uit de rookgassen vrijwel altijd ingezet voor elektriciteitsproductie in een stoomturbine. Hierbij is het mogelijk (een deel van) de restwarmte ergens halverwege de turbine op bruikbare temperatuurniveaus af te tappen. Aftap van warmte voor warmtedistributie leidt tot verdere verlaging van het elektrisch rendement. In 2008 leveren de AVI's 8 PJ aan warmte en 9 PJ aan elektriciteit.

### *Energieinzet*

Bij aftap van de warmte voor warmtedistributie wordt het elektrische rendement lager (zie elektriciteitscentrales). De Uniforme Maatlat gaat uit van 0,18 GJ verlies aan elektriciteitsopbrengst per GJ afgetapte warmte op 120°C. Ook hier moet voor pieken in de warmtevraag, en bij uitval of onderhoud van processen bijstookvermogen beschikbaar zijn.

De brandstofinzet van de AVI's is voor circa de helft hernieuwbaar. Het effect van extra warmteaftap is echter gebaseerd op de marginale effecten in het elektriciteitspark. De extra besparing door warmteaftap bij AVI's verschilt daarom niet van die bij elektriciteitscentrales.

### *Beperkingen*

Ook bij AVI's is de warmte continu beschikbaar, en kan vanwege de beperkte overlap met de warmtevraag 30-45% van de beschikbare warmte gebruikt worden.

#### Box 4.3 *Levering warmte door AVI's aan industrie*

De aard van de beschikbare warmte bij AVI's maakt ook levering van processtoom aan de industrie een optie. Bovendien liggen AVI's vaak in de buurt van industrie. Een ander voordeel van levering aan de industrie boven levering aan de gebouwde omgeving is de veel betere aansluiting van aanbod- en vraagpatroon, waardoor de benuttingsgraad van de warmte veel hoger kan zijn. Tegenover deze voordelen staat ook een nadeel: de efficiency penalty is meestal groter door de hogere temperatuurniveaus die vereist zijn voor de industrie.

Bij de AVI's is volgens (Harmsen et al, 2007) 11 PJ aan warmte beschikbaar te maken voor warmtelevering, bovenop de reeds geleverde warmte.

## 4.2.3 Elektriciteitscentrales

Elektriciteitscentrales in Nederland bestaan - afgezien van de kerncentrale in Borssele - uit kolencentrales en gasgestookte centrales. Kolencentrales wekken elektriciteit op met een stoomturbine, en wekken de stoom op in een poederkool gestookte stoomketel. Het rendement van kolencentrales ligt tussen de 40% en 45%. Vanwege hoge investeringen en relatief lage brandstofkosten worden kolencentrales bij voorkeur ingezet in de basislast. Gascentrales zijn ruwweg op te delen in basislast- en middenlastcentrales en regelcentrales. Basislast- en middenlastgascentrales passen een serieschakeling van een gasturbine en een stoomturbine toe, de zogenoemde STEG. De stoomketel krijgt zijn warmte uit de rookgassen van de gasturbine. Het rendement van STEG-centrales ligt boven de 55% waardoor de hogere brandstofkosten gedeeltelijk worden gecompenseerd. Vanwege de relatief hoge investeringslasten draaien STEG centrales bij voorkeur in de basislast, maar bij een groot aanbod van kolencentrales gaan ook de STEG-centrales terug in draaiuren. Typische regelcentrales passen gasturbines toe, en zijn vooral ingericht om relatief snel de fluctuaties tussen vraag en aanbod op te vangen. Vanwege deze functie zijn de rendementen over het algemeen lager. De centrale elektriciteitsopwekking bestaat uit een samenspel van basislast- en regelcentrales.

Centrales worden ontworpen voor het bereiken van een zo hoog mogelijk elektrisch rendement. Voor een nieuwe gascentrale bedraagt dit ca 57%, voor een kolencentrale ca 46%. Door nieuwbouw met (gedeeltelijke) vervanging zal het gemiddelde rendement in de toekomst gaan stijgen.

### *Energie-inzet*

Een elektriciteitsproducent streeft naar een zo hoog mogelijke elektriciteitsopbrengst. Als gevolg hiervan hierbij streeft de elektriciteitsproducent naar een zo laag mogelijk temperatuurniveau van de restwarmte (dichtbij de omgevingstemperatuur). Aftap (uitkoppeling) van de warmte op een hoger temperatuurniveau gaat ten koste van het elektrisch rendement. Volgens de uniforme maatlat is het verlies aan opbrengst van elektriciteit 0,18 GJ<sub>el</sub> per GJ<sub>th</sub> bij uitkoppeling op 120°C, bij uitkoppeling op 80°C is dit de helft, 0,09 GJ<sub>el</sub> per GJ<sub>th</sub>. Indicatieve berekeningen van ECN leveren vergelijkbare getallen op. Als dit verlies elders moet worden gecompenseerd, is op basis van een opwekkingsrendement van 50% de benodigde primaire energie per GJ afgetapte warmte 0,18 tot 0,36 GJ.

Afgezien van derving van elektriciteitsopbrengst is het technisch niet zondermeer mogelijk een substantiële hoeveelheid warmte op een hoger temperatuur dan de oorspronkelijke ontwerp temperatuur af te tappen. De benodigde ingrepen zullen per individuele installatie verschillen maar kunnen zeer ingrijpend zijn.

Ook hier moet voor pieken in de warmtevraag, en bij uitval of onderhoud van processen bijstookvermogen beschikbaar zijn.

Bij een gascentrale kan per GJ aardgasinzet naar schatting 0,4 GJ warmte uitgekoppeld worden op 120°C, waarbij de elektriciteitsopbrengst daalt van 0,57 naar 0,5 GJ. Bij een kolencentrale met een elektrisch rendement van 46% kan per GJ koleninzet ca 0,4 GJ warmte uitgekoppeld worden op 120°C, waarbij de elektriciteitsopbrengst daalt van 0,46 naar 0,4 GJ.

Een indicatieve berekening laat zien hoeveel restwarmte in theorie beschikbaar is. In 2008 was de energie-inzet in de centrales ca 580 PJ, bij een elektriciteitsproductie van ca 230 PJ. De warmtelevering was 30 PJ. Alle energie die niet in elektriciteit wordt omgezet, komt uiteindelijk vrij als warmte, maar dit is grotendeel op een te laag temperatuurniveau. Verhoging tot een bruikbare temperatuur betekent minder elektriciteitsopbrengst. Circa 315 PJ warmte kan in theorie op 120 °C wordt afgetapt, bij een daling van de elektriciteitsopbrengst met ca 55 PJ. Daarvoor is bij een referentierendement van 50% circa 100 PJ extra brandstofinzet nodig, omdat andere centrales de gedorven elektriciteitsproductie moeten opvangen. Met de verwachte uitbreiding van het elektriciteitspark na 2010 (Daniels, 2010a) neemt de in theorie beschikbare restwarmte toe tot 335 PJ in 2020, tegen ca 150 PJ extra brandstofinzet.

### *Beperkingen*

Voor centrales met relatief hoge variabele kosten kan warmtelevering betekenen dat een centrale door moet blijven draaien terwijl de elektriciteitsprijs daarvoor te laag is. Dit hangt uiteraard af van de prijs waartegen een centrale warmte kan verkopen; bij een voldoende hoge prijs kan een centrale met restwarmtelevering bij lagere elektriciteitsprijzen nog rendabel draaien.

Als een centrale vanwege te lage prijzen of onderhoud geen warmte levert moet de hulpketel bijspringen, waarmee energiebesparing en emissiereductie kleiner worden. Bij kortdurende stops is ook warmteopslag denkbaar, waardoor de kosten wat hoger liggen. Echte pieklast centrales komen door hun korte bedrijfstijden niet in aanmerking. Basislastcentrales met lage variabele kosten liggen voor warmtelevering het meest voor de hand. Uitgaande van centrales met bedrijfstijden hoger dan 6000 uur, grotendeels kolencentrales, blijft van de bovengenoemde 335 PJ nog ongeveer 220 PJ over.

Bij de oudere centrales is de kans groter dat ze binnen 20 of 30 jaar gesloten zullen worden; ook is de bedrijfstijd van deze centrales vanwege de lagere rendementen gevoeliger voor hogere



brandstof- en CO<sub>2</sub>-prijzen. Als daarom alleen de nieuwe kolencentrales (na 2010 gebouwd) in aanmerking komen voor warmteaftap, is nog 190 PJ aan warmte beschikbaar.

Van de continu beschikbare warmte kan op basis van het vraagpatroon maximaal 45% benut worden. Rekening houdend met deze beperkingen is de maximale beschikbaarheid van restwarmte uit centrales nog ca 100 PJ, rekening houdend met de leeftijd van centrales nog 85 PJ. Hiervan is ca 45% gesitueerd in de Eemshaven, en de rest voornamelijk in het Rijnmond gebied.

Het ontwerp van centrales kan beperkingen met zich mee kunnen brengen voor de aftap van warmte, maar daar is niet voor gecorrigeerd.

### *Alternatieven*

Het alternatief bestaat bij centrales uit toekomstige eigen toepassing van restwarmte voor CCS. De nieuwe kolencentrales zijn “capture ready”, dat betekent dat de centrales ontworpen zijn op eventuele toekomstige toepassing van CCS. Met name de kolencentrales zullen bij veel hogere CO<sub>2</sub>-prijzen voor een rendabele bedrijfsvoering aangewezen zijn op de toepassing van CCS. Inzet van restwarmte uit de centrale is dan nodig voor de CO<sub>2</sub>-afvang, waarna weinig of geen warmte meer beschikbaar is voor warmtedistributie.

## 5. Vraag naar warmte

Dit hoofdstuk brengt de vraag naar warmte in huishoudens, diensten, glastuinbouw in kaart. Het inventariseert de vraag naar lage temperatuur warmte, de spreiding van de vraag in de tijd, de efficiëntie van de referentietechniek voor de productie van warmte en de geografische spreiding. Ook komen alternatieven aan bod, zoals het verminderen van de warmtevraag en andere mogelijkheden om de vraag in te vullen.

### 5.1 Aanpak

Aan de vraagkant is het niet goed mogelijk om harde grenzen voor de mogelijkheid van restwarmtelevering te bepalen. Wel is zichtbaar te maken waar de energiebesparing lager is, en/of kosten hoger zijn.

### 5.1 Totaalbeeld vraag

Vraag naar lage temperatuur warmte is er vooral bij de huishoudens, utiliteitsbouw en glastuinbouw. Het grootste deel van deze warmtevraag is voor ruimteverwarming, gevolgd door warm tapwater. Ook kan de vraag naar koeling – vooral in de utiliteitsbouw van belang – via absorptiewarmtepompen ingevuld worden met warmte. Het grootste deel van de warmtevraag is dus afhankelijk van de buitentemperatuur, en daarmee fluctuerend. De warmtevraag in de utiliteitsbouw en met name de glastuinbouw is ruimtelijk gezien meer geconcentreerd, en daarmee aantrekkelijker voor warmtelevering. Hier zijn echter ook meer aantrekkelijke alternatieven voor handen.

## 5.2 Sectoren

### 5.2.1 Huishoudens

#### *Typering warmtevraag*

De warmtevraag in huishoudens bedraagt in 2008 ca 300 PJ, en neemt richting 2020 af naar circa 250 PJ (Daniels, 2010a, Menkveld et al, 2010). Deze bestaat uit warmte voor ruimteverwarming, warm tapwater en koken. Bij warmtelevering zonder gasaansluiting moet het koken elektrisch gebeuren. Om legionellabesmetting te voorkomen moet warm tap water minimaal 60 °C zijn, terwijl voor ruimteverwarming lage-temperatuursystemen nog lagere aanvoertemperaturen mogelijk zouden maken. Zonder warmtapwaterlevering is het echter moeilijker om warmteleveringsystemen rendabel te krijgen, zeker bij nieuwbouw.

#### *Referentietechniek*

De HR-ketel is de meest toegepaste warmtetechniek in de woningbouw, zowel in de bestaande bouw als de nieuwbouw. Het gemiddelde rendement ligt, mede afhankelijk van het aandeel tapwater, rond de 95%. Een groter aandeel warm tapwater leidt tot een wat lager rendement.

#### *Relevante aspecten*

De warmtevraag voor ruimteverwarming van nieuwbouwwoningen is veel lager dan die voor bestaande woningen. De warmtedichtheid van nieuwbouwwijken is daardoor lager. Verder is bij nieuwbouw het aandeel van warm tapwater in de totale warmtevraag hoger.

Ook tussen verschillende woningtypes bestaan grote verschillen. Bij woningtypes zoals meergezinswoningen en tussenwoningen is warmtevraag per aansluiting lager, maar de bebouwingdichtheid wel hoger. Kosten en warmteverliezen kunnen daardoor toch lager zijn.

Tabel 5.1 *Ontwikkeling warmtevraag voor ruimteverwarming na isolatie en gasvraag<sup>23</sup> per woning zonder Schoon&Zuinig beleid*

	Warmtevraag [GJ <sub>th</sub> /jaar]			Gasvraag [m <sup>3</sup> /jaar]		
	2005	2010	2020	2005	2010	2020
<i>Ruimteverwarming:</i>						
Vrijstaand	54	48	41	1.833	1.596	1.366
2/1-kap+hoekwoning	38	34	30	1.304	1.146	993
Rijteswoning	32	27	23	1.089	930	784
Meergezinswoning	23	21	19	815	728	645
-1930	45	40	36	1.477	1.320	1.180
1931-1959	39	36	32	1.304	1.169	1.055
1960-1980	38	35	33	1.313	1.183	1.096
1981-1995	27	25	22	943	856	747
Totaal voor 1995	37	34	31	1.256	1.129	1.021
Gebouwd na 1995	14	12	11	455	395	358
Nieuwbouwwoning	10	9	9	438	384	355
Bestaande woning	35	31	27	1.206	1.053	899
Particuliere koop	38	33	28	1.326	1.124	933
Particuliere huur	37	34	30	1.262	1.132	1.020
Sociale huur	26	23	21	897	798	710
<i>Ruimteverwarming gemiddeld</i>	<i>34</i>	<i>30</i>	<i>26</i>	<i>1.173</i>	<i>1.022</i>	<i>879</i>
<i>Warm tapwater gemiddeld</i>	<i>8,8</i>	<i>8,6</i>	<i>8,1</i>	<i>335</i>	<i>318</i>	<i>291</i>
<i>Koken gemiddeld</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,6</i>	<i>56</i>	<i>54</i>	<i>51</i>
<i>Totaal gemiddelde woning</i>	<i>44</i>	<i>39</i>	<i>35</i>	<i>1.565</i>	<i>1.394</i>	<i>1.221</i>

Bron: Menkveld et al, 2010.

Tegenover de hogere warmtevraag bij bestaande woningen staat wel dat de kosten van de aanleg van een warmtedistributienet in bestaande wijken veel hoger zijn. Bovendien vermijdt de aanleg van nieuwbouwwijken met warmtelevering allerlei kosten die bij bestaande wijken al gemaakt zijn, zoals een aardgasnet, en aanschaf en plaatsing van CV-ketels. Een ander nadeel bij bestaande wijken is dat vooral bij particuliere eigenaren een 100% dekkingsgraad zelden te realiseren is. Daarom ligt de aanleg van warmtedistributie in nieuwbouwwijken veel meer voor de hand dan bij bestaande bouw.

Voor de huishoudens zijn op basis van de beschikbare gegevens over de warmtevraag geen harde grenzen vast te stellen over de (on)mogelijkheid van warmtedistributie. Kosten en alternatieven zullen in de meeste gevallen bepalen waar warmtedistributie zinvol is.

Voor de woningbouw zijn op basis van landelijke gegevens verschillende cases gedefinieerd die onderscheidend zijn voor de mogelijkheden en kosten van warmtedistributiesystemen. Tabel 5.2 laat de verschillende cases zijn, met een schatting van aantallen woningen en warmtevraag. Het leeuwendeel van de warmtevraag komt uit de bestaande bouw met individuele verwarming, waar de overgang op warmtedistributie zeer ingrijpend en duur is. In de praktijk is toepassing van warmtedistributie hier vrijwel uitgesloten. Het meest aantrekkelijk is nieuwbouw in de buurt van bestaande warmtedistributie, gevolgd door grootschalige nieuwbouw niet in de buurt van bestaande warmtedistributie. De toepassingsmogelijkheden voor restwarmte hangen hierbij vooral af van de nabijheid van geschikte bronnen.

<sup>23</sup> Gemiddelde gasvraag van woningen gasgestookte verwarming, dus exclusief woningen op stadsverwarming, met oliekachels of elektrische hoofdverwarming.

Tabel 5.2 *Cases voor de woningbouw met score op kansen voor warmtelevering*

	Score kansrijk	Warmtevraag per woning	Aantal woningen	Totale warmtevraag casus
Casussen	*****	[GJ <sub>th</sub> ]	x1000	[PJ <sub>th</sub> ]
Nieuwbouw (periode 2010-2020) in de buurt van bestaande stadsverwarming	*****	17.6	352	6
Grootschalige nieuwbouw (periode 2010-2020) niet in de buurt van stadsverwarming	*****	17.6	312	5
Bestaande blokverwarming in de buurt van stadsverwarming (2010)	***	29.6	202	6
Bestaande blokverwarming niet in de buurt van stadsverwarming (2010)	**	29.6	303	9
Kleinschalige nieuwbouw (periode 2010-2020)	**	17.6	156	3
Bestaande bouw met individuele verwarming in de buurt van stadsverwarming (2010)	**	38.6	1909	74
Bestaande bouw met individuele verwarming niet in de buurt van stadverwarming (2010)	*	38.6	4587	177
<i>Totaal</i>		<i>189.2</i>	<i>7820</i>	<i>280</i>

### *Distributieverliezen*

Voor warmtelevering aan woningbouw is een relatief fijnmazig distributienetwerk vereist, waardoor de warmteverliezen relatief hoog zijn, circa 10 GJ per aansluiting bij levering op 120 graden, en 3 GJ bij 80 graden. Vooral voor nieuwbouwwoningen is de verhouding tussen geleverde warmte (ca 17 GJ) en verliezen ongunstig. Als voor de aftap en levering van restwarmte extra inzet van energie nodig is, kan de besparing van energie ten opzichte van de HR-ketel sterk afnemen.

### *Alternatieven*

Naast de HR-ketel als referentietechnologie kunnen diverse technieken als warmtebron optreden, al dan niet via distributiesystemen.

Zonneboilers kunnen voorzien in warmte voor warm tapwater, meestal in een systeem waarbij de zonneboiler voorgeschakeld is voor een systeem op aardgas.

Geothermie kan in de gebouwde omgeving wijken van warmte voorzien via een distributiesysteem. Bij bestaande distributiesystemen kan, bijvoorbeeld bij uitbreiding of het wegvallen van andere warmtebronnen, ook geothermie ingezet worden. Niet overal in Nederland is de ondergrond even geschikt.

Warmtepompen kunnen zowel in individuele als collectieve systemen worden toegepast, meestal in combinatie met hulpvermogen.

WKK kan distributiesystemen voorzien van warmte. Met warmteopslag kan de vraag ontkoppeld worden van de momenten waarop elektriciteitproductie plaatsvindt (zie ook glastuinbouw).

Micro-WKK is in te zetten bij individuele huishoudens, maar de kosten hiervan zijn vooralsnog hoog, en de energiebesparing beperkt.

### 5.2.2 Utiliteitsbouw

#### *Typering warmtevraag*

De warmtevraag in de utiliteitsbouw is grotendeels voor ruimteverwarming, en verder voor warm tapwater. De vraag is naar (ruimte)koeling is voor de utiliteitsbouw ook van belang; deze is via absorptiekoeling ook met warmtelevering in te vullen. De totale warmtevraag van de utiliteitsbouw bedraagt circa 180 PJ, de vraag naar koeling circa 15PJ.

#### *Referentietechniek*

Warmteopwekking met ketels is de meest toegepaste warmtetechniek in de utiliteitsbouw, zowel in de bestaande bouw als de nieuwbouw.

#### *Relevante aspecten*

In woonwijken is als vuistregel 10% van de warmtevraag afkomstig van utiliteitbouw, zoals winkels en scholen. Over heel Nederland is dit ca 30 PJ. Voor warmtedistributie lift deze utiliteitsbouw mee op de woningbouw. 150 PJ van de warmtevraag van de utiliteitsbouw bevindt zich op andere locaties, hoewel dit in veel gevallen wel nabij woningbouw zal zijn.

#### *Alternatieven*

Circa 10% van de nieuwbouw in de utiliteitsbouw past ondergrondse warmte-koudeopslag toe. Omdat deze zowel in de warmte- als de koudebehoefte voorziet, is dit financieel en energetisch aantrekkelijk in grote utiliteitsbouwcomplexen. Eveneens vooral in grote utiliteitsgebouwen is WKK gangbaar. In ziekenhuizen fungeert deze als noodaggregaat. Bij zowel WKK als WKO betreft het grote gebouwen die ook relatief aantrekkelijk zouden zijn voor aansluiting op warmtedistributie.

### 5.2.3 Glastuinbouw

#### *Typering warmtevraag*

De warmtevraag in kassen is vrijwel uitsluitend voor de verwarming van de kas. Warmteleveringsystemen kunnen daarom op een lager temperatuurniveau ontworpen worden als niet tevens warmtelevering voor warm tapwater aan woningen en utiliteitsbouw is voorzien<sup>24</sup>.

#### *Referentietechniek*

Momenteel meest toegepast en daarmee de facto de referentietechnologie is de gasmotor-WKK. Deze voorziet glastuinbouwbedrijven ook van elektriciteit voor assimilatiebelichting en CO<sub>2</sub> voor CO<sub>2</sub>-bemesting. Een overschot aan elektriciteit wordt verkocht.

Met de productie van elektriciteit vermijdt de gasmotor energiegebruik en emissies elders. Als deze op basis van een referentierendement van 50% verrekend worden met de brandstofinzet, is voor de productie van een GJ warmte door een grote gasmotor<sup>25</sup> 0,36 GJ brandstof nodig. Dit is hoeveelheid brandstof die per GJ levering van restwarmte ter plekke bespaard wordt. Omdat er ook energie nodig is om deze warmte te leveren en er verliezen optreden in het distributiesysteem, is de totale besparing in de praktijk kleiner. Warmtelevering vanuit elektriciteitscentrales levert ten opzichte van gasmotor-WKK helemaal geen energiebesparing op.

Door de toepassing van warmtebuffers kan een gasmotor-WKK elektriciteit en CO<sub>2</sub> produceren onafhankelijk van wanneer de warmte nodig is. Een glastuinder kan daardoor de elektriciteits-

---

<sup>25</sup> Referentiecase WKK-berekeningen, grote gasmotor met 41% elektrisch rendement en 49% thermisch rendement.

productie concentreren in de periodes met de hoogste prijzen. De gasmotor-WKK is daardoor voor de glastuinbouw economisch aantrekkelijk. Overgang op restwarmtelevering betekent het verlies van een inkomstenbron, bovendien moeten voor de levering van CO<sub>2</sub> en elektriciteit alternatieven gevonden worden.

#### *Relevante aspecten*

Per glastuinbouwbedrijf is de warmtevraag hoog. Er is daardoor een veel minder fijnmazig systeem nodig, waardoor verliezen klein zijn. Bovendien is glastuinbouw in een aantal gebieden geconcentreerd. De kosten per aansluiting zullen daarom veel lager zijn dan voor de woningbouw, en het verschil in kosten tussen nieuwbouw en bestaande bouw zal kleiner zijn.

#### *Alternatieven*

Geothermie is qua besparing vergelijkbaar met restwarmtelevering. Bij grote bedrijven of concentraties van glastuinbouwbedrijven is geothermie onder gunstige omstandigheden rendabel. Wel is vanwege het risico op misboren een garantiesysteem nodig<sup>26</sup>.

Nieuwe kasconcepten op basis van (semi) gesloten kassen met warmtekoedeopslag slaan een overschot aan warmte in de zomer ondergronds op, en gebruiken deze warmte voor verwarming in de winter. Er zijn momenteel twee demo-projecten.

---

<sup>26</sup> Er is niet met 100% zekerheid voor individuele boringen te garanderen dat de boring slaagt. Een verzekering voor misboren kan deze individuele risico's ondervangen.

## Referenties

- Buck, A. de, M.P.J. van Valkengoed, C. Leguijt (2009): *IPO Routekaart warmte, Provincies op weg naar effectieve benutting van warmte en koude*. CE Delft, Delft, 2009.
- CBS (2010b): *Statistiek Elektriciteit; productie en productiemiddelen*. CBS, 2010.
- Daniëls, B.W., H.E. Elzenga (coord.) (2010b): *Aanvullende beleidsopties Schoon en Zuinig*. ECN-E--10-015, 2010.
- Daniëls, B.W., S. Kruitwagen (coord.) (2010a): *Referentieraming energie en emissies 2010-2020*. ECN en PBL, ECN-E--10-004, 2010.
- Davies, G, P. Woods (2009): *The potential and costs of district heating networks*. Pövrý Energy Ltd, Oxford, April 2009.
- Deerns (2007): *Keuzewijzer voor koelinstallaties in de utiliteitsbouw*. Deerns en TNO, maart 2007.
- ECN (1999): *Warmte- en koudevraagpatronen in de utiliteitsbouw*. ECN, september 1999. ECN en PBL, ECN-E-10-015, 2010.
- Harmelink, M., L. Bosselaar, J. Rienstra (2009): *Uniforme Maatlat voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw, Een protocol voor het vergelijken van alternatieven voor dewarmtevoorziening op bouwlocaties*. Betaversie 2.1, Harmelink consulting, Utrecht, 2009.
- Harmsen, R., P. van Breevoort, W. Planje, E.-J. Bakker, P. Wagener (2009): *Energiebesparing- en CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel hybride lucht/water warmtepomp in de bestaande woningbouw*. Ecofys, TNO, ECN en BDH, 2009.
- Harmsen, R , M. Harmelink (2007): *Duurzame warmte en koude 2008-2020: potentiëlen,barrières en beleid*. Ecofys, 2007.
- Hers, J.S., W. Wetzels (2009): *Onrendabele top berekeningen voor nieuw WKK-vermogen 2009*, ECN-E-08-082, ECN, Petten 2009.
- Janssen, E.G.O.N., N.R. Bootsvelde, B. Knoll, H.F. de Zwart (2006): *Verbeterde (semi) gesloten kas*. 2005-BCS-R0245, TNO Bouw en Ondergrond, 2006.
- Jong, A. de, M. van Gastel, E.-J. Bakker, H. Jeeninga, J. Dam, H. van Wolferen (2008): *Energie- en CO<sub>2</sub>-besparingspotentieel van micro-wkk in Nederland (2010-2030)*. Update 2008. COGEN Projects, ECN, Ecofys en TNO, 2008. ECN-E--10-096 71 72 ECN-E--10-096.
- Klimaat- en Energieakkoord tussen Rijk en Provincies*. Interprovinciaal Overleg, Rijksoverheid Den Haag, 2009.
- Klimaataakkoord Gemeenten en Rijk, Samen werken aan een klimaatbestendig en duurzaam Nederland*.
- Knijff, A., J. van der, Benninga, C. Reijnders, J. Nienhuis (2006): *Energie in de glastuinbouw van Nederland, Ontwikkelingen in de sector en op de bedrijven tot en met 2004*. LEI, Den Haag 2006.

- Melick, M.A.J. van, A.G.M. van der Weiden (2007): *Warmteleveringssystemen voor Nederland, Verkennend onderzoek naar warmteleveringssystemen voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw naar kosten en milieuprestatie- Hoofdrapport (concept)*. SenterNovem, 2007.
- Menkveld, M.; J.M. Sipma, C. Tigchelaar, P. Vethman, C.H. Volkers (2010): *Referentieraming energie en emissies 2010-2020 Gebouwde Omgeving*. ECN-E--10-108, december 2010.
- Ministerie van Economische Zaken (2008): *Warmte op stoom, Werkprogramma voor verduurzaming van de warmte- en koudevoorziening*. Den Haag, 2008.
- Ministerie van Financiën (2009): *Beleidsinformatie 2010*. [www.minfin.nl/ejb2010](http://www.minfin.nl/ejb2010).
- MiniWKK (2010): <http://www.miniwkk.info>.
- Neelis, M.L., M.K. Patel, P.W. Bach, W.G. Haije (2008): *Analysis of energy use and carbon losses in the chemical and refinery industries*. UU/ECN, ECN-I--05-008, 2008.
- ROM Rijnmond R3 (2007): *Duurzaam economisch klimaat voor Rotterdam, Visie op het potentieel van CO<sub>2</sub> reductie*. Rotterdam, 2007.
- Rooijers, F.J. (2002): *Benutting restwarmte in de Rijnmond*. Opgesteld voor Energie Rijnmond, CE, Delft.
- Rotterdam Climate Initiative (2011): *Website*: <http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/documents/Persberichten/RCI-110607-Persbericht-DCMR.pdf>
- Schepers, B.L., M.P.J. Van Valkengoed (2009): *Warmtenetten in Nederland Overzicht van grootschalige en kleinschalige warmtenetten in Nederland*. CE Delft, Delft 2009.
- Seegers, R. (2009): *Het energieverbruik voor warmte afgeleid uit de Energiebalans*. CBS, Den Haag/Heerlen, 2009.
- Sektorakkoord Energie 2008-2020 (2008): *Convenant tussen Rijksoverheid en energiebranches in het kader van het werkprogramma Schoon en Zuinig*. 2008.
- Smit, P.X., N.J.A. van der Velden (2008): *Energiebenutting warmtekrachtkoppeling in de Nederlandse glastuinbouw*. LEI, Den Haag, 2008.
- Spoelstra, S. (2009): *Hoe kansrijk zijn warmtepompen in de Nederlandse procesindustrie*. RCC koude & luchtbehandeling, juni 2009 (ECN-V--09-023).
- Spoelstra, S. (2009): *Hoe kansrijk zijn warmtepompen in de Nederlandse procesindustrie?* ECN-V--09-023, ECN, Petten, 2009.
- Varwijk, J., E. den Dekker (2007): *Indicatie reductie CO<sub>2</sub>-emissies industrie Rotterdam Rijnmond, Versie 2.0*, Proces Design Center, Breda, 2007.
- Velden, N.J.A. van der, P. Smit (2009): *Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2008*. LEI, Den Haag, 2009.



Wetzels, W., B.W. Daniëls, A.J. Seebregts (2009): *WKK-potentieel in de chemische industrie*. ECN-E--09-064, ECN, Petten, 2009.

Wetzels, W., I. Blezer (Agentschap NL), J.M. Sipma (2011): *Beleidsstudie naar WKK- en warmtepomptechnologieën. Eindrapport 21 juni 2011*. ECN-E--10-096, ECN/AgNL Juni 2011.

## Bijlage A Beschikbare warmte

Tabel A.1 *Aanbod van warmte op 80 en 120 graden Celsius*

		Papier- en kartonindustrie	Voedings middelen	Overige industrie	Chemie	Raffinader ijen	Kolen centrales	Gascentrales	AVI's
120 graden	(Rook)gas	0,3	0,5	6,4	13	14			
	Damp			0,2					
	Droogluucht (dauwpunt)								
	Vloeistof				22	24			
	(Ventilatie)lucht/Ecentrale								
	Aftapwarmte						299	39	11
Rookgassen WKK					12	9			
80 graden	(Rook)gas	1,2	1,1	7,2	14	15			
	Damp		0,6	0,1					
	Droogluucht (dauwpunt)								
	Vloeistof				39	40			
	(Ventilatie)lucht/Ecentrale								
	Aftapwarmte						274	52	11
Rookgassen WKK					13	10			

## Bijlage B Aannames beperkingen

Tabel B.1 *Aannames voor de beschikbare warmte op 80 en 120 graden, de aansluiting tussen vraag en aanbod, en de beschikbaarheid van alternatieven*

	Papier- en kartonindustrie	Voedings- middelen	Overige industrie	Chemie	Raffina- derijen	Kolen centrales	Gas centrales	AVI's
Besparing (GJp/GJ <sub>th</sub> inzet)								
min	40%	40%	40%	40%	40%	18%	18%	18%
max	79%	79%	79%	79%	79%	72%	72%	72%
Beschikbare warmte								
Temperatuurniveau 120/80								
120	0.3	0.06	1.3	48	46	299	39	11
80	1.2	0.2	0.3	67	65	274	52	11
Technische benutbaarheid								
min	80%	80%	83%	70%	70%	100%	100%	100%
max	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Beschikbaarheid (restlevensduur & bedrijfstijd)								
min	70%	70%	70%	70%	70%	50%	20%	75%
max	85%	85%	86%	90%	90%	68%	50%	100%
Gelijktijdigheid								
min	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
max	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%
Afstand, dichtheid, schaal								
min	70%	70%	76%	75%	75%	40%	60%	90%
max	90%	90%	92%	90%	90%	60%	60%	90%
Alternatieven								
min	60%	60%	60%	60%	60%	20%	20%	30%
max	90%	90%	88%	80%	80%	75%	75%	80%

De percentages in de tabel geven wat de veronderstelde onder- en bovengrens is voor de hoeveelheid warmte die op basis van de betreffende factor overblijft voor restwarmtebenutting.

De tabel laat de aannames zien voor de verschillende beperkingen t.a.v. beschikbaarheid, gelijktijdigheid, etc. voor een aantal geaggregeerde sectoren uit industrie- en energiesector. Hoewel de tabel gerangschikt is naar de potentiële bronnen van restwarmte en aftapwarmte, houdt de inschatting van de verschillende beperkingen rekening met de aansluiting op de verschillende potentiële afnemers van warmte.

De hierna genoemde bandbreedtes houden er rekening mee dat het zeer onwaarschijnlijk dat tegelijkertijd alles mee of tegen zit, en zijn dus niet af te leiden door alle minimale respectievelijk maximale waarden uit de tabel op te tellen.

Voor de bronnen zijn meer gedetailleerde gegevens gebruikt dan hier getoond, maar deze zijn deels vertrouwelijk.

### *1 Potentiële besparing*

De potentiële besparing hangt af van de bron, het temperatuurniveau, en de diverse bestemmingen voor de warmte. De hier weergegeven besparing is de besparing op primaire brandstof per eenheid benutte warmte. Bij industriële restwarmtebronnen is de potentiële besparing hoger dan bij aftap van centrales en AVI's, omdat het energieverlies bij aftap van restwarmte lager is. De onderkant van de bandbreedte hoort bij inzet van de warmte op 120 graden voor woningbouw, en dan vooral nieuwbouw. De bovenkant van de bandbreedte hoort bij inzet van de warmte op lage temperatuur in utiliteitsbouw. De inzet in glastuinbouw, waar gegeven de referentietechnologie de inzet van restwarmte niet of nauwelijks besparing oplevert, is geen onderdeel van de bandbreedte.

### *2a en b Temperatuurniveau en technische benutbaarheid.*

De beschikbare warmte op 120 en 80 graden is het startpunt van de potentieelschatting. Op 120 graden is in het algemeen minder warmte beschikbaar dan op 80 graden.

In de aantal gevallen zal de hoeveelheid warmte die werkelijk gebruikt kan worden nog iets lager zijn door technische beperkingen. Bij condensatie in rookgassen kan bijvoorbeeld corrosie een probleem vormen. Voor de centrales is 100% benutbaarheid verondersteld, maar hiervoor zijn wel technische aanpassingen vereist.

De totale hoeveelheid warmte die op een voldoende hoog temperatuurniveau beschikbaar zou zijn is in 2020 naar verwachting zo'n 440 tot 480 PJ. Als dit allemaal ingezet zou kunnen worden levert dit 150 tot 310 PJ besparing op.

### *3 a en b Beschikbaarheid en gelijktijdigheid*

Om zinvol te kunnen worden benut moet de warmtebron nog voldoende lang blijven bestaan, en gedurende die periode ook voldoende beschikbaar zijn. De bedrijfstijd moet dus voldoende hoog zijn. Op basis van dit criterium valt met name bij de gascentrales een belangrijk deel af.

De belangrijkste factor hier is echter de gelijktijdigheid: van een volcontinu warmte leverende bron kan slechts 30-45% van de warmte benut worden doordat de warmtevraag niet continu is. De belangrijkste componenten aan de vraagkant zijn ruimteverwarming, warm tapwater en – bij de utiliteitsbouw - koelvraag. Warm tapwater is het hele jaar nodig, en vormt daarmee op een grotere tijdschaal een relatief stabiele component in de warmtevraag door huishoudens. In de utiliteitsbouw is warm tapwater meestal minder belangrijk. Wel kan koeling (door absorptiewarmtepompen) de bedrijfstijd vergroten. Om deze reden is in de benuttingsgraad niet uitgegaan van grote verschillen tussen woningbouw en utiliteit.

De precieze benuttingsgraad hangt af van aanbodpatroon, vraagpatroon, de dimensionering van vraag en aanbod, en de eventuele inzet van warmtebuffers. Een dimensionering gericht op een hogere benuttingsgraad betekent bij verder gelijkblijvende omstandigheden dat een groter deel van de warmte door een hulpketel moet worden geleverd. Hierdoor neemt de energiebesparing af.

Van de 440 tot 480 PJ die op een geschikt temperatuurniveau beschikbaar kan worden gemaakt komt op basis van de gelijktijdigheid en voldoende garanties voor de beschikbaarheid 90 tot 120 PJ in aanmerking. Hiermee kan 30 tot 70 PJ aan energie bespaard worden.

### *4 Afstand, dichtheid en schaal*

Afstand, dichtheid en schaal hebben een grote invloed op besparingen en de kosten. Onderling is er wisselwerking: bij grootschaliger projecten met een hoge warmtedichtheid is de maximale afstand tot de warmtebron waarbij projecten zinvol en kosteneffectief zijn groter.

Rekening houdend met de factor afstand, (ruimtelijke) dichtheid en schaal neemt de inzetbare restwarmte af van 90 tot 120 PJ naar 50 tot 75 PJ, en de te realiseren besparing naar 20 tot 45 PJ.

### *5 Alternatieven*

Alternatieven kunnen aantrekkelijker zijn dan restwarmtelevering, qua energiebesparing, emissies en/of kosten. Zowel aan de aanbodkant (CCS, energiebesparing) als aan de vraagkant (vraagvermindering, andere warmtebronnen) kunnen alternatieven een concurrent vormen voor restwarmte-inzet. Met name bij elektriciteitscentrales ligt bij hogere CO<sub>2</sub>-prijzen inzet van de warmte bij CCS voor de hand.

Rekening houdend met de beschikbaarheid van alternatieven neemt de zinvol inzetbare restwarmte af van 50 tot 75 PJ naar 25 tot 45 PJ, en de te realiseren besparing naar 10 tot 25 PJ.

## Bijlage C Aannames warmtedistributie

Voor deze rapportage is een Excel-model gebruikt waarmee verschillende combinaties van warmtebronnen, distributiesystemen en vraagsectoren aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Het model is bedoeld om indicatieve resultaten voor energiebesparing, emissiereductie en kosten te genereren, en om de invloed van verschillende aannames – aantallen woningen, afstand etc. – op deze resultaten in kaart te brengen.

Deze bijlage laat zien van welke aannames de berekeningen voor restwarmte en geothermie uitgaan. Zoals aangegeven zijn de berekeningen indicatief, en pretenderen ze zeker geen definitieve status te hebben. In het algemeen zijn de meeste en beste gegevens beschikbaar voor de huishoudens.

Voor de utiliteitsbouw en glastuinbouw is minder informatie beschikbaar, zijn gegevens onzekerder, en zijn bovendien meer soorten gegevens nodig voor een volledige berekening van met name de kosten. Bovendien is hier de variatie in individuele situaties groter. Dit geldt vooral voor de glastuinbouw, waar de referentietechnologie -WKK - in meerdere behoeften van het bedrijf voorziet. Voor utiliteitsbouw en glastuinbouw zijn de resultaten daarom minder robuust, hoewel de relatieve positionering ten opzichte van de huishoudens naar verwachting niet wezenlijk verandert bij meer een nauwkeuriger informatie.

De aannames voor de standaardcase zijn gebaseerd op een afstand tussen warmtebron en bestemming van 10 kilometer, en een warmtevraag corresponderend met die van 10000 nieuwbouwwoningen. Dit komt overeen met 4800 bestaande woningen, 200 utiliteitsgebouwen of bijna 6 glastuinbouwbedrijven. Waar andere aannames zijn gehanteerd wordt dit apart vermeld.

Tabel C.1 *Algemene referentiegegevens*

Item				
Referentierendement elektriciteitsopwekking	50%			
Commodityprijs elek	17	€GJ	6.2	ct/kWh
Commodityprijs gas	6	€GJ	20	ct/m <sup>3</sup>
Discontering	4%			
emfac gas	0.0561	kg/GJ		
emfac elek/GJp	0.07505	kg/GJp		
emfac elek/kWh	0.54036	kg/kWh		
Energiebelasting kleingebruiker	4.7	€GJ	15	ct/m <sup>3</sup>
Glastuinbouw	0.3	€GJ	1	ct/m <sup>3</sup>
Kantoor	3.8	€GJ	12	ct/m <sup>3</sup>

Tabel C.2 *Aannames warmtebronnen*

Bron warmte	Temperatuurniveau warmteaftap oC	Verlies elektriciteitsopbrengst [GJ <sub>e</sub> /GJ <sub>th</sub> ]	Inzet energie voor aftap [GJ <sub>p</sub> /GJ <sub>th</sub> ]	Inzet elektriciteit [GJ <sub>e</sub> /GJ <sub>th</sub> ]	Investeringskosten uitkoppeling bron [€kW]	Levensduur [jaar]
Restwarmte industrie	120	-	0.1	-	600	30
Restwarmte industrie	80	-	0.1	-	600	30
Centrale/AVI	120	0,18	-	-	300	30
Centrale/AVI	80	0,09	-	-	300	30
AVI	120	0,18	-	-	300	30
AVI	80	0,09	-	-	300	30
Geothermie	120	-	-	0,04	600	30
Geothermie	80	-	-	0,04	600	30

Tabel C.3 *Aannames distributiesysteem*

Temperatuurniveau oC	Pomp energie [GJ <sub>e</sub> /GJ <sub>th</sub> input]	Verlies hoofd leiding [%/km]	Verlies per aansluiting woning [GJ]	Hulpketel rendement [%]	Kosten hoofd leiding [€km]	Basis kosten wijk leiding [€m]	Basis kosten aansluit leiding [€m]	Aansluitset [€]	B&O [€woning/ jaar]	Investering hulpketel [€kWth]
120	0,018	0.75%	8	90%	1000000	191	106	1327	106	85
80	0,018	0.38%	3	95%	1000000	191	106	796	106	85

\* Cijfers naar SenterNovem, 2007 (niet gepubliceerd), aangevuld met ECN-inschattingen.

Tabel C.4 Aannames bestemmingen van warmte

Sector	Warmte vraag per aansluiting	Referentie techniek thermisch rendement	Referentie techniek elektrisch rendement	Investeringskosten per aansluiting referentie warmtetechniek	Levensduur	Vermeden investeringskosten gasnet per aansluiting	Leiding lengte wijkleiding per gebouw	Leiding- lengte woning- distributie leiding	Aansluit waarde	Kosten opslag wijk- distributie	Jaarlijkse netkosten	Jaarlijks ketel- onderhoud	Energie- belasting gas
	[GJ <sub>th</sub> ]	[%]	[%]	[€]	[jaar]	[€]	[m]	[m]	[kW]		[€/jaar]	[€/jaar]	[€/GJ]
Woningbouw nieuw	17	92%	-	2000	15	800	14	4	7	1	90	70	5
Woningbouw bestaand	44	97%	-	1250	15	0	14	4	9,2	1,5	90	70	5
Utiliteitsbouw	1250	90%	-	97000	15	40000	100	10	200	1	0	2860	4
Glastuinbouw	43200	49%	41%	1934531	15	0	0	0	4000	0	0	70286	0
Woningbouw nieuw (EPC 0,4)	15,4	98%	-	2000	15	800	14	4	4,7	1	90	70	5
Woningbouw nieuw (EPC 0)	12,8	98%	-	2000	15	800	14	4	4,7	1	90	70	5
Woningbouw bestaand (na rendabele besparing)	34	97%	-	1250	15	0	14	4	0	1,5	90	70	5

Toelichting:

- Kostencijfers voor utiliteitsbouw en glastuinbouw zijn onvolledig. Vanwege de geringe energiebesparing in de glastuinbouw zijn de kosten niet verder in kaart gebracht. Hierbij speelt dat WKK in de glastuinbouw voorziet in meerdere behoeftes van het bedrijf (warmte, elektriciteit, CO<sub>2</sub>), en dat de financiële voordelen hiervan zeer sterk variëren afhankelijk van de bedrijfseigenschappen. Voor de utiliteitsbouw zijn de kostencijfers ook incompleet; wel is robuust dat onder verder gelijke condities warmtelevering aan de utiliteitsbouw vrijwel altijd goedkoper is dan warmtelevering aan de woningbouw, in verband met de schaalgrootte.
- Berekeningen utiliteitsbouw gaan niet uit van levering koelvraag. In veel gevallen is er echter wel de mogelijkheid om koelvraag vanuit de warmtelevering te voorzien met een absorptie-warmtepomp. Wel gaat de berekening uit van een relatief gunstig afnameprofiel.



## Bijlage D Aannames individuele opties dienstensector en woningbouw

De resultaten voor individuele opties zijn ontleend aan (Wetzels et al, 2010). De aannames voor die berekeningen wijken op onderdelen af van die voor de restwarmtesystemen zijn gedaan.

### *Dienstensector*

De warmtevraag hangt onder meer af van het bouwtype. De hier getoonde gegevens gelden voor een typisch kantoor, verpleeghuis en school in 2020. Naast vraag naar ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit kan er in deze gebouwen ook een koelvraag zijn (Tabel D.1). Tapwater wordt elektrisch opgewekt. Voor alle technologieën wordt uitgegaan van een technische levensduur van 15 jaar en de verwachte stand van techniek en kosten in 2020.

Tabel D.1 *Energievraag utiliteitsgebouwen*

2020		Kantoor	School	Verpleeghuis
Bruto vloeroppervlak	[m <sup>2</sup> ]	6.000	9.600	4.800
Ruimteverwarming	[TJ]	1,8	2,4	2,7
Warm tapwater	[GJ]	9,9	16	85
Elektriciteit	[GWh]	0,45	0,36	0,26
Koeling	[TJ] <sup>27</sup>	1,5	1,3	0,48

- De HR-CV ketel is de referentietechniek voor ruimteverwarming in de dienstensector. Het rendement is 95%, de investeringskosten 100 euro/kW<sub>th</sub>.
- Warmte-koude opslag (WKO) benut grondwater als bron met een elektrisch aangedreven warmtepomp grondwater als bron. De kosten voor de warmtepomp bedragen 220 euro/kW<sub>th</sub>; die voor het WKO systeem 400 euro/kW<sub>th</sub> (Deerns, 2007). De Seasonal Performance Factor<sup>28</sup> (SPF) voor ruimteverwarming is 4,6, voor koeling 12,0.
- De WKK-gasmotor heeft een thermisch rendement van 55% en een elektrisch rendement van 35%. De investering - afhankelijk van de grootte van de installatie - varieert van 850 euro/kW<sub>e</sub> tot 1.250 euro/kW<sub>e</sub>.
- De compressie koelmachine heeft een SPF voor koeling van 3,0 en de kosten zijn 350 euro/kW<sub>th</sub> (Deerns, 2007).

### *Woningbouw*

De resultaten voor de woningbouw zijn voor een typische 2-onder-1-kapwoning en een moderne meergezinswoning. Alle technologieën hebben een technische levensduur van 15 jaar en de berekeningen gaan uit van de verwachte stand van techniek en kosten in 2020. De woningen hebben geen koelvraag.

Tabel D.2 *Uitgangspunten energievraag woningen*

		2-onder-1 kapwoning	Meergezinswoning
Ruimteverwarming	[GJ]	31	12
Tapwater	[GJ]	8,3	8,3
Elektriciteit	[MWh]	3,1	3,1

- De HR cv-ketel is de referentietechniek in de woningbouw, met een rendement ruimteverwarming van 105% op onderwaarde (Harmsen et al, 2009).

<sup>27</sup> Exclusief productkoeling.

<sup>28</sup> De SPF is de verhouding tussen de hoeveelheid afgegeven nuttige warmte of koude en de hoeveelheid benodigde finale elektrische energie (inclusief elektrische bijstook) in een jaar.

- Een micro-WKK Stirling motor (HR<sub>e</sub> ketel) wekt warmte en elektriciteit op, met een rendement voor ruimteverwarming van 80% en voor elektriciteit van 25% (de Jong et al, 2008). Een geïntegreerde cv-ketel levert warm tapwater.
- De lucht/water elektrische warmtepomp gebruikt buiten- en/of ventilatielucht als bron. In combinatie met elektrische bijstook kan dit gebruikt worden voor woningen voor ruimteverwarming, warm tapwater en koeling. De SPF voor ruimteverwarming ligt tussen 2,1 en 2,4.
- Een water/water elektrische warmtepomp gebruikt de bodem of het grondwater als bron, en kan worden gebruikt voor ruimteverwarming, warm tapwater en koeling. De SPF voor ruimteverwarming bedraagt 4,6.
- Een hybride warmtepomp is een combinatie van een elektrische warmtepomp en een cv-ketel. De warmtepomp gebruikt buitenlucht en/of ventilatielucht als bron. De cv-ketel springt bij indien nodig. De SPF voor ruimteverwarming ligt tussen 2,8 en 3,1.

De prijzen van warmtepompen zijn behoorlijk in beweging en bij projecten met meerdere woningen zijn de kosten vaak lager. De bandbreedte voor de kosten geeft dit weer – in overeenstemming met Wetzels e.a. (2011).