



Industriële Warmtepompen

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken

*>> Duurzaam, Agrarisch, Innovatief
en Internationaal ondernemen*

Warmtepompen kunnen met behulp van hoogwaardige energie lage temperatuur (bron)warmte opwaarderen naar warmte op een hogere, bruikbare temperatuur. Hierdoor wordt een netto temperatuurlift gecreëerd, waarvan de efficiëntie wordt uitgedrukt in de 'Coefficient of Performance' (COP). De COP is een verhouding tussen de hoeveelheid geleverde thermische energie ten opzichte van de hoeveelheid (thermische of elektrische) energie die nodig is voor aandrijving van de warmtepomp. Industriële warmtepompen gebruiken als bronwarmte vrijwel altijd (proces)restwarmte, die anders weggekoeld of geloosd zou worden. Hiermee kan voorheen onbruikbare warmte worden opgewaardeerd en opnieuw worden ingezet in industriële processen binnen het bedrijf waardoor energie- en CO²-besparingen ontstaan.

Geschikt voor opwekking:

- X elektriciteit
- √ lage temperatuur warmte (< 120 °C)
- √ midden temperatuur warmte (> 120 °C - <200 °C)
- X hoge temperatuur warmte (> 200 °C) In de nabije toekomst mogelijk tot 250 °C
- √ koude (warmtepomp als koelmachine)

Sectoren:

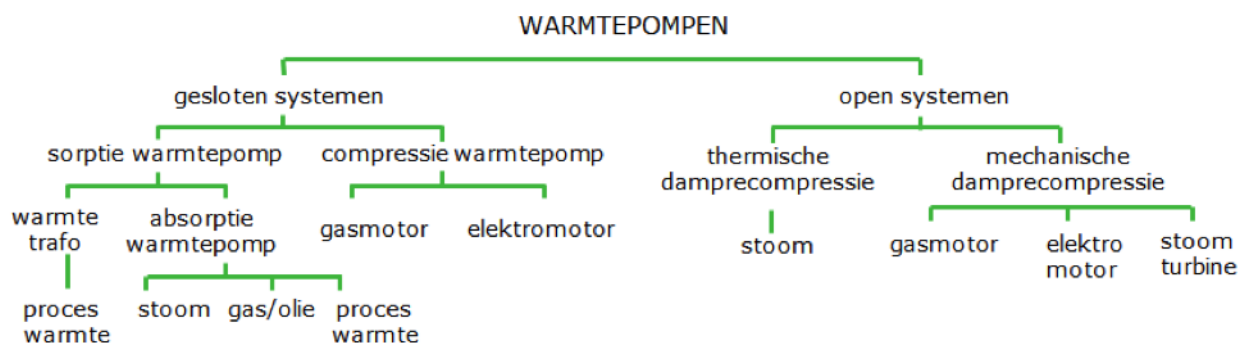
- Chemie (distillatie, verdampen)
- Voedings- en genotmiddelen (sproeidrogen, distillatie, wassen, verdampen)
- Papier (drogen)
- Glastuinbouw (ruimteverwarming, rendementsverbetering WKK)
- Alle sectoren (ruimteverwarming)

Waarom doen?

- Optimaliseren van de warmtehuishouding is goed voor het milieu en de portemonnee
- De energie-efficiëntie wordt flink verhoogd door hergebruik van (gratis of in het geval van weg-koelen geld kostende) afvalwarmte
- Er zijn relatief veel draaiuren (vullasturen) in de industrie hetgeen de rentabiliteit ten goede komt

Wanneer doen?

- Wanneer restwarmte aanwezig is binnen het bedrijf, en deze niet direct gebruikt kan worden binnen het proces
- Wanneer temperatuurniveaus van warmtevraag en restwarmte-aanbod niet te ver uit elkaar liggen. De temperatuurlift ligt idealiter zo laag mogelijk (hoge COP) en ligt gemiddeld tussen de 10 en 50 °C. Voor een gedetailleerde lijst zie ook kopje "stappenplan uitvoering"
- Wanneer, door de aanscherping van F-gassen regelgeving (zie paragraaf regelgeving), bestaande warmtepompen of koelinstallaties moeten worden aangepast of vervangen.



Vergroot slaagkans met:

- Goede afstemming van de temperatuurniveaus voor warmte en koude d.m.v. een 'pinch'-analyse. Deze methode helpt de warmtestromen in kaart te brengen, en bepaalt daaruit de optimale warmte-uitwisseling zonder en met warmtepompen

Faalfactoren:

- Slechte systeemoptimalisatie
- Weinig inzet (laag aantal vollasturen). Benodigde aanpassingen om proces met warmtepomp te kunnen verwarmen zijn te kostbaar
- De benodigde temperatuurlift is te groot (lage COP en dus inefficiënter systeem).
- Benodigde aanpassingen om restwarmte uit te kunnen koppelen zijn te kostbaar

Technieken en kerngegevens:

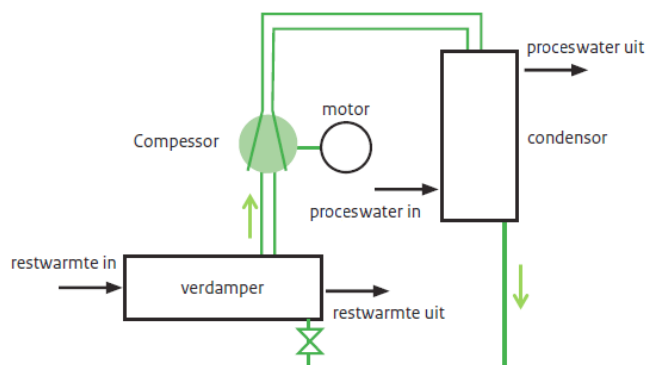
Er kunnen globaal vier soorten bronnen voor warmtepompen worden onderscheiden:

- Restwarmte
- Lucht (ventilatielucht, omgevingslucht of een combinatie hiervan)
- Bodemwarmte (zie factsheet wko)
- Natuurwater (water uit rivieren, meren en de zee)

Industriële warmtepompen gebruiken vrijwel altijd restwarmte (stoom of warm water) als bron; daarom richt deze factsheet zich daarop. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen **open** en **gesloten** systemen. Het kenmerk van de open systemen is dat er voor het warmtepompproces gebruik wordt gemaakt van de in het proces voorkomende damp, vaak waterdamp. De functie van de warmtepompcyclus is daarbij om de verdampingswarmte van die damp op een nuttig temperatuurniveau terug te winnen. In een gesloten systeem wordt gebruik gemaakt van een tussenmedium. In bovenstaande figuur¹ is een overzicht gegeven. Hieronder worden de meest gebruikte warmtepompen in de industrie verder toegelicht.

Gesloten compressiewarmtepomp

In deze warmtepomp wordt aan de ene zijde restwarmte van lage temperatuur gebruikt om een koudemiddel te verdampen bij een relatief lage druk. Dit koudemiddel wordt via compressie in druk verhoogd, waardoor zijn temperatuur stijgt, en staat zijn warmte af in een condensor op een hoger, bruikbaar temperatuurniveau. Compressoren kunnen zowel mechanisch (gasmotor of elektromotor) of thermisch (sorptie warmtepomp) worden aangedreven. De thermische compressor wordt hieronder separaat behandeld bij 'Sorptiewarmtepompen'.



Technische gegevens

- Temperatuur warmtebron: 0 - 100 °C
- Temperatuur output: max 110 °C
- COP: 4 - 7
- Vermogen: 50 - 2 000 kWth
- Energie-/CO₂ besparing: 30 - 70 %²

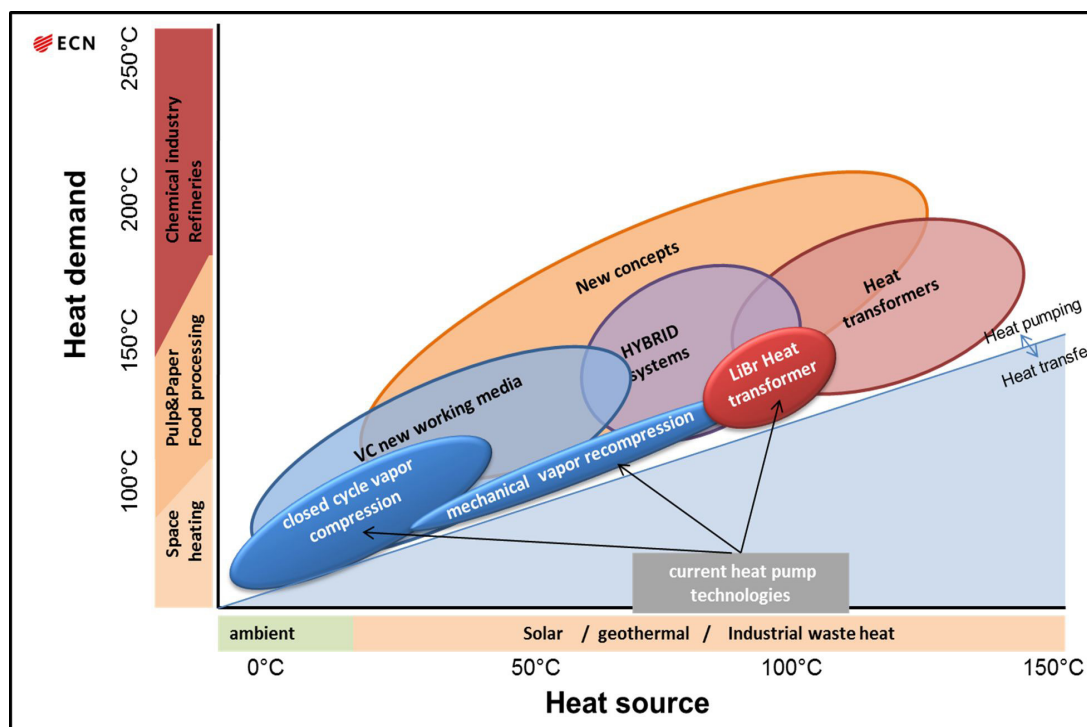
Financiële gegevens:

- Investing: € 300 - 500 per kWth (exclusief EIA)
- Jaarlijkse besparing € 30 - 140 per kWth (inclusief elektriciteitsverbruik³)
- Vollasturen: 5 000 - 8 000 uur per jaar
- Subsidies: Energie Investering Aftrek (EIA)
- Simpele terugverdientijd: 2 - 15 jaar (sterk afhankelijk van vollasturen en COP)

¹ Op basis van: ir. H. Boot e.a (1998); Handboek Industriële Warmtepompen; Kluwer Techniek, 1998 ISBN: 9789055761395

² Ten opzichte van referentieketel met 90% rendement op onderwaarde NL gas en gemiddeld rendement Nederlandse elektriciteitsproductie van 42%

³ Uitgaande van €80/MWh kostprijs elektrisch, € 0,25/Nm³ gas



Huidige en toekomstige warmtepomp technologieën met op de x-as bronwarmte en op de y-as temperatuurbereik.

Bron: ECN (2014) R&D on Industrial Heat Pumps, ECN-M--14-039

Mechanische damprecompressor (MDR) en thermische damprecompressor (TDR)

In open systemen wordt damp uit een industrieel proces gecompri-meerd tot hogere druk en temperatuur en gecondenseerd in hetzelfde proces. In semi-open systemen zit hier nog een warmtewisselaar tussen. Doordat er een of twee warmtewisselaars minder nodig zijn (verdamer en/of condensor) en doordat de temperatuursprong relatief klein is, heeft dit type een hoog rendement. Water is het meest gebruikte medium (d.w.z. gerecomprimeerde procesdamp), alhoewel ook andere stoffen in dampfase in (met name petrochemische-) industrie worden gebruikt. Bij thermische damprecompressie (TDR) wordt hogedrukstoom gebruikt als drijvende kracht om vacuümstoom in druk te verhogen tot lagedrukstoom. De vacuümstoom wordt opgewekt door restwarmte.

Technische gegevens

- Temperatuur warmtebron: vanaf 70 °C
- Temperatuur output: 110 – 150, max. 200 °C
- Temperatuursprong: 5 – 30 °C
- COP:
 - MDR: 10 – 30
 - TDR: ~1,1
- Vermogen: 200 kWth – 100 MWth
- Energie-/CO₂ besparing⁴:
 - MDR: 80 – 90 %
 - TDR: 10-50%

Financiële gegevens:

- Investering:
 - MDR: € 250 per kWth (exclusief EIA)
 - TDR: € 100 per kWth (exclusief EIA)
- Jaarlijkse besparing:
 - MDR: € 110 – 220 per kWth (inclusief elektriciteitsverbruik)
 - TDR: € 15 - 25 per kWth (inclusief stoomverbruik)
- Draaiuren: 5 000 – 8 000 uur per jaar
- Subsidies: Energie Investering Aftrek (EIA)
- Simpele terugverdientijd: 1 – 6 jaar

Sorptiewarmtepompen

Onder sorptie verstaat men het fysisch-chemisch processen waarbij hetzij een vloeistof, hetzij een gas door een andere vloeistof wordt opgenomen (absorptie) of aan het oppervlak van een vast lichaam wordt vastgehouden (adsorptie). Huidige systemen gebruiken vaak een mengsel van water en lithiumbromide als werkvloeistof. Het grote voordeel van sorptiewarmtepompen is dat deze over het algemeen een veel grotere temperatuursprong kunnen leveren, en dat het rendement nauwelijks afneemt bij een dergelijke grotere temperatuursprong. Bovendien lenen sorptiewarmtepompen zich goed voor gecombineerde verwarmings- en koelingsdoeleinden. Sorptiewarmtepompen worden niet vaak toegepast in de industrie (er zijn vaak efficiëntere warmtepompen in te zetten). Er zijn enkele toepassingen bekend, bijvoorbeeld in Zweden en Denemarken die warmte hergebruiken uit verbrandingsinstallaties.

⁴ Ten opzichte van stoomketel met 90% rendement, op onderwaarde NL gas

Technische gegevens

- Temperatuur warmtebron: vanaf 30 °C
- Temperatuur output: max. 100 °C
- Temperatuursprong: tot 65 °C
- COP: 1.2 – 1.4
- Vermogen: 50 – 500 kWth
- Energie-/CO₂-besparing: 25 – 35 %

Financiële gegevens:

- Investering: € 250 - 350 per kWth (exclusief EIA)
- Jaarlijkse besparing € 25 – 75 per kWth (inclusief gasverbruik)
- Vollaasten: 5 000 – 8 000 uur per jaar
- Subsidies: Energie Investering Aftrek (EIA)
- Simpele terugverdientijd: 3 – 14 jaar

Vooruitblik

De toepasbaarheid van warmtepompen neemt sterk toe als het temperatuurbereik en de temperatuurlift toeneemt; daarom richt de nieuwe generatie warmtepompen zich daarop. Onderstaande figuur laat een aantal mogelijke concepten zien die dit kunnen bewerkstelligen, waardoor naast grotere energiebesparingen ook de voordelen van economische schaalgroottes voor de warmtepomp-industrie behaald kunnen worden.

Naast de werktemperaturen onderscheiden deze technologieën zich ook op het gebied van technologische rijpheid. Hierna volgt een korte beschrijving van enkele nieuwe generatie industriële warmtepompen.

Mechanische-damp-compressie-systemen met nieuwe werkvloeistoffen

De ontwikkeling van alternatieve werkvloeistoffen is in volle gang. Werkvloeistof LG6 heeft bijvoorbeeld een experimentele COP van 4,8 bij een temperatuurlift van 50 °C laten zien.

Thermo-akoestische warmtepomp (TAP)

Met restwarmte op een lage temperatuur wordt een geluidsgolf opgewekt, die op een hoger temperatuurniveau een nuttig temperatuurverschil creëert. De temperatuurlift die hiermee gemaakt kan worden is 50-100°C waardoor temperatuurbereik van 150-250 °C behaald wordt. Op dit moment is de schaalgrootte in de orde van enkele kW. Op de langere termijn wordt verwacht een vermogen van enkele honderden kW te bereiken.

Thermo-chemische warmtepomp

De werking van de thermo-chemische warmtepomp is gebaseerd op de reversibele vorming van een chemische verbinding tussen een metaalzout en ammoniakdamp. De temperatuurlift die hiermee gemaakt kan worden is 50-100 °C waardoor temperatuurbereik van 150-250 °C behaald wordt. Op dit moment is de schaalgrootte in de orde van enkele kW. Op de langere termijn wordt verwacht een vermogen van enkele honderden kW te bereiken. Business cases met industriële eindgebruikers in de (petro-)chemische industrie en raffinaderijen laten zien dat er positieve resultaten haalbaar zijn.

Compressie-resorptie warmtepomp

Een compressie-resorptie warmtepomp is vergelijkbaar met een conventionele gesloten dampcompressiecyclus, met als verschil dat de warmteafgifte plaatsvindt als een ammoniakdamp geabsorbeerd en gedesorbeerd wordt in een ammoniak-water-oplossing. Voor hoge-temperatuurapplicaties heeft dit type warmtepomp de potentie om circa 20% beter te presteren dan een gesloten conventionele dampcompressie-warmtepomp.

HIDiC (Heat Integrated Distillation Columns)

Bij een HIDiC wordt warmteoverdracht en scheiding in één apparaat gecombineerd. Het theoretische voordeel van HIDiC ten opzichte van een dampcompressiekolom (MDR) is dat de compressor in een HIDiC met een lagere compressieverhouding kan opereren, resulterend in een lager benodigd compressorvermogen. De HIDiC heeft de potentie om in 25% tot 35% lagere utiliteitskosten dan een MDR te resulteren. Hoewel het HIDiC concept al werd geïntroduceerd rond 1970, is het nog steeds niet industrieel toegepast vanwege het complexe ontwerp en het ontbreken van experimentele data op voldoende grote schaal aan te tonen. De laatste jaren is de TU Delft bezig met een nieuw ontwerp voor de HIDiC.

Relevante parameters:

Zeer relevant - Relevant - Minder relevant

Uitzoeken bij verkenning:

Technische inpasbaarheid

Voor een correcte en gedegen toepassing van warmtepompen in industrie is het nodig dat processen zijn geoptimaliseerd en geïntegreerd. Een belangrijk hulpmiddel hiertoe is pinch analyse, een technologie om warmtestromen uit processen te karakteriseren en mogelijkheden voor warmte-integratie te identificeren. Dergelijke mogelijkheden bestaan bijvoorbeeld uit verbeterde netwerken van warmtewisselaars, co-generatie en warmtepompen. Met name voor grote, complexe processen met meerdere operaties is pinch analyse een goed instrument om mogelijkheden voor warmtepompen te identificeren.

Samenhang met energie-efficiëntie-maatregelen

Het is nodig om maatregelen die het thermische rendement van een (reeks) proces(sen) verbeteren af te stemmen met het ontwerp van mogelijke warmtepomp-toepassingen. De beschikbare hoeveelheid en kwaliteit van de (rest)warmte uit processen is namelijk bepalend voor het ontwerp van een warmtepomp in de industrie (tezamen met het nuttige gebruik van de warmte op hogere temperatuur).

Ruimtelijk

Er moet ruimte zijn binnen het industriële proces of bedrijf om een warmtepomp te plaatsen.

Uitzoeken bij business case:

Regelgeving en vergunning:

- Bij gebruik van F-gassen (gefluoreerde broeikasgassen) als koudemiddel is de Europese F-gassenverordening van toepassing die gericht is op het uitfasen van f-gassen. In Nederland is de regelgeving uitgewerkt in het Besluit gefluoreerde broeikasgassen milieubeheer.
- Hierin worden regels gesteld met betrekking tot lektheid, het gebruik, de terugwinning en de vernietiging van die gassen. Tevens zijn regels opgenomen welke en op wat voor manier F-gassen worden uitgefaseerd. Meer informatie op: <http://www.rwsleefomgeving.nl/onderwerpen/f-gassenverordening/>

Subsidies:

- fiscale maatregelen (Energie Investeringsaftrek, EIA)
- groenfinanciering: Via de Regeling groenprojecten is het mogelijk een "groenverklaring" te verkrijgen waarmee een groenfinanciering kan worden afgesloten. Met een groenfinanciering kunt u met lagere kosten uw groenproject financieren (minimaal 1% rentekorting).

Gevoeligheid van de techniek voor veranderende omstandigheden:

- temperatuurniveaus (verwarming en koeling)
- afname koude-/warmtevraag op jaarbasis (zie energie efficiëntie hierboven)
- energietarieven

Potentiële organisatie- en financieringsvormen:

Gezien de verregaande integratie in de processen zijn alternatieve financieringsvormen als een Energy Service Company (ESCO) niet logisch voor de industriële warmtepomp.

Stappenplan uitvoering

Om een project te kunnen realiseren kunnen we de volgende 4 stappen definiëren:

1. Bepaal – op basis van een gedegen studie van uw warmtehuishouding (waarin ook de opties om de warmtevraag van het proces zelf te verminderen goed zijn meegenomen) - of warmtepompen de warmtehuishouding kunnen verbeteren door gebruik te maken van uw beschikbare (rest)warmte.
2. Maak een initiële selectie van het type warmtepomp.
3. Voer een voorlopige kosten-baten analyses uit;
4. Maak een gedetailleerde haalbaarheidsstudie om het betrouwbaarheidsniveau van de kosten en baten van voldoende hoog niveau te krijgen voor een investeringsbeslissing.

Voor de eerste twee stappen wordt hieronder nog meer informatie gegeven.

Wanneer kan een warmtepomp worden toegepast?

Er is niet één sluitend antwoord hierop te geven, maar het is wel mogelijk om een lijst te geven van kenmerken cq. omstandigheden die een warmtepompinstallatie helpen kosteneffectief te zijn. Dit kan het geval zijn bij een of meer van de volgende situaties:

Er zijn één of meer processen waar verdamping plaats heeft.
Er zijn warmtestromen van 70 tot 105 °C die worden gekoeld of geloosd.
Water, lucht of andere processtromen worden vanaf buitentemperatuur naar 65 tot 125 °C opgewarmd met stoom of brandstof.
Lage-druk-stoom wordt afgeblazen of gecondenseerd.
Er zijn één of meer processen waar destillatie plaats heeft met een relatief klein temperatuurverschil tussen reboiler en condensor.
De hoeveelheid terugwinbare restwarmte is meer dan circa 150 kWth.
De warmtebron is een schone vloeistof of condensaat.
Er is sprake van relatief continue processen met veel draaiuren per jaar.
Elektriciteit is goedkoop vergeleken met brandstof (bijvoorbeeld de verhouding van de prijs van elektriciteit t.o.v. de prijs van brandstof is kleiner dan 3 op energiebasis).
Zowel elektriciteit als brandstof zijn relatief duur.
Beperking van gebruik van stoom of brandstof voor proceswarmte heeft geen effect op de elektriciteitsproductie op het terrein.

Welke warmtepomp past het beste in mijn bedrijf?

Het type warmtepomp heeft een direct effect op de investeringskosten en operationele kosten. Typisch hangt de keuze voor het type warmtepomp af van:

- Het type warmtebron (bijvoorbeeld vloeistof, gas, condenserende damp)
- Het type koellichaam (bijvoorbeeld vloeistof, gas, kokende vloeistof)
- De benodigde temperatuurlift

Op de volgende pagina worden enkele richtlijnen gegeven voor het kiezen van het juiste type warmtepomp.

Deze richtlijnen geven een startpunt voor het bepalen van operationele kosten, besparingen en investeringen. Meerdere typen warmtepompen kunnen haalbaar zijn voor een bepaalde toepassing, waarbij de uiteindelijke keuze afhangt van economische afwegingen.

Meer informatie:

- [Energie Investerings Aftrek \(EIA\)](#)
- [Praktijkvoorbeelden DE in de industrie RVO](#)
- [Praktijkvoorbeelden industrial heatpumps](#)

Temperatuurlift	Type warmtebron	Type warmtevraag	Voorgesteld type warmtepomp
< 40 °C	(Voelbare) koeling vloeistof	- (Voelbare) verwarming gas/vloeistof	1. Gesloten compressie
	Partiële condensatie van vloeistof uit damp	- Vloeistof koken	2. Absorptie (LiBr/water)
	Condenserende stoom	- Verdamping van water	1. Open cyclus mechanisch (single-stage) (MDR) 2. Thermo-compressor (TDR)
	Condenserende damp (stoom of anders)	- (Voelbare) verwarming gas/vloeistof - Vloeistof koken	1. Semi-open cyclus mechanisch (single-stage) (MDR met warmtewisselaar)
> 40 °C	Alle, behalve stoom	Alle, behalve stoom	1. Absorptie (hoge lift werkvloeistof) 2. Gesloten compressie (multi-stage)
	Lagedrukstoom	Hogedruk-stoompijp	1. Open cyclus mechanisch 2. Absorptie (hoge lift werkvloeistof) 3. Gesloten compressie (multi-stage)

Aan de factsheet kunnen geen rechten worden ontleend. Hoewel de factsheet met de grootst mogelijke zorg is samengesteld, kunnen Rijksdienst voor Ondernemend Nederland en Ecofys niet in staan voor de volledigheid, de juistheid en/of de geschiktheid van de gegevens en informatie. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland en Ecofys aanvaarden dan ook geen enkele aansprakelijkheid voor enigerlei directe of indirecte schade, van welke aard dan ook die voortvloeit uit of enigerlei verband houdt met (het gebruik van) de factsheet.

Deze factsheets zijn te vinden op:

<http://www.rvo.nl/onderwerp/duurzame-energie-o>,
alwaar doorgelinkt kan worden op de links.

Nationaal Expertisecentrum Warmte (NEW)

Het NEW (www.rvo.nl/new) verzamelt en verspreidt kwalitatieve, betrouwbare en objectieve informatie over het verduurzamen van de warmte- en koudevoorziening. Het NEW focust op alle vormen van warmte- en koude voorziening en maakt een transparante vergelijking mogelijk van de verschillende opties. Het NEW is bereikbaar via www.rvo.nl/new of op werkdagen tussen 9.00 en 12.00 uur op telefoonnummer 088- 602 92 00.

Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Croeselaan 15 | 3521 BJ Utrecht
Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht
T +31 (0) 88 042 42 42
F +31 (0) 88 602 90 23
E klantcontact@rvo.nl
www.rvo.nl/

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken.

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | december 2015

Publicatienummer: RVO-246-1501/FS-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken.