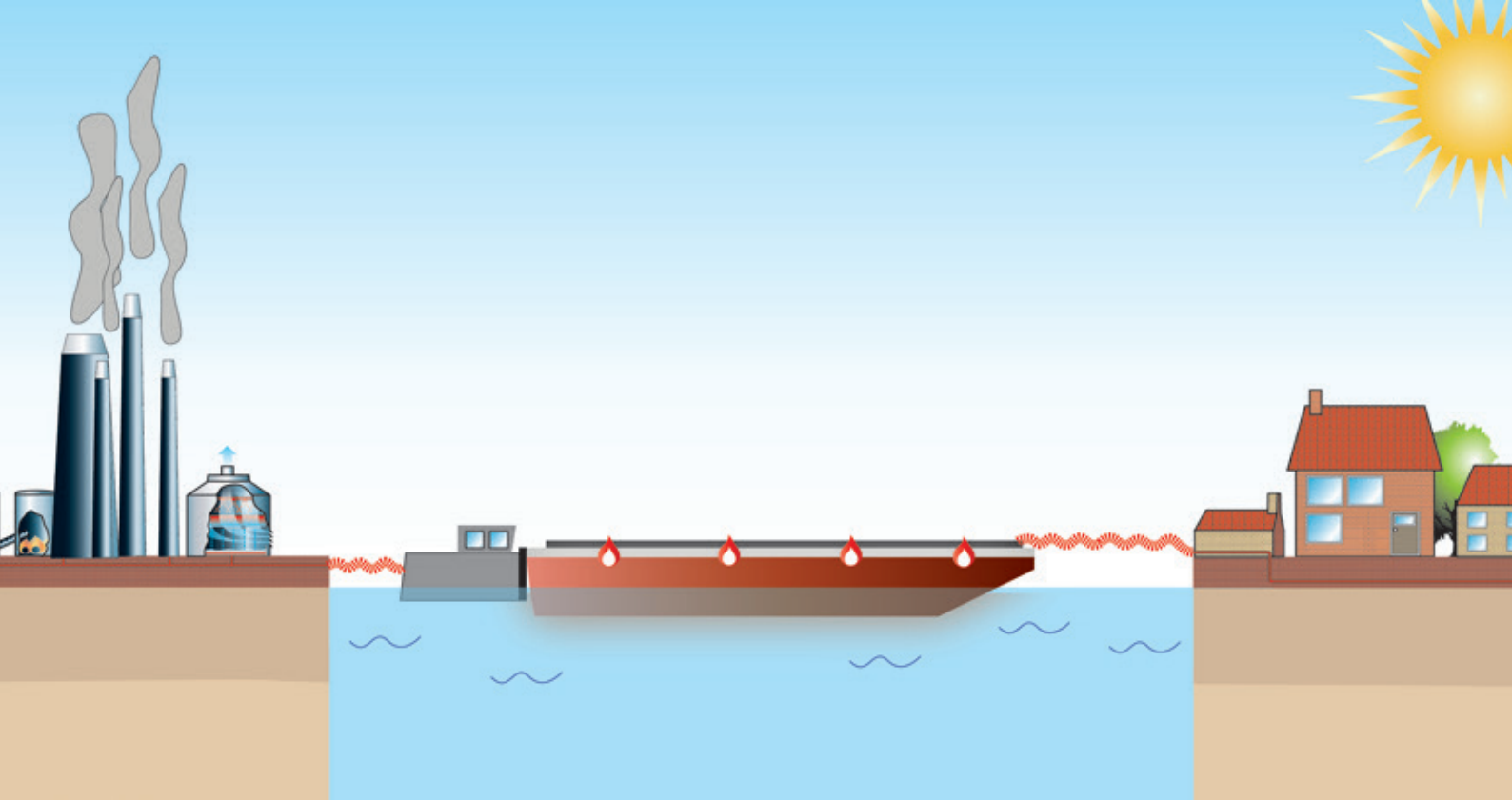




WHITEPAPER

VARENDE WARMTE



INDUSTRIAL ENERGY EXPERTS



INHOUD

1.	Inleiding	3
2.	Status quo energietransport	4
4.	Het idee: varende warmte	5
4.1	Het hoe van varende warmte	5
4.2	PCM's: zout, suikeralcoholen en vet	5
4.3	Warmtewisselaar	6
4.4	Transportmodaliteit	6
4.5	Het logistieke concept	6
6.	Toepassingen	8
7.	Toekomstperspectief in Nederland en daarbuiten	9
8.	Waar staan we?	10



INLEIDING

Zon en wind gooien hoge ogen als het gaat om duurzame energieopwekking. Een toepassing die ook resulteert in besparing van fossiele energie en reductie van CO₂-emissie, is restwarmte. Er kan veel winst worden geboekt met het benutten daarvan.

Restwarmte is het deel van de omgezette energie die verloren gaat in de vorm van warmte, zoals bij verbrandingsmotoren, energiecentrales en de industriële sector. Restwarmte uit industriële processen bevatten veel energie, die maar zelden wordt benut.

Industrial Energy Experts ontwikkelde een nieuw concept voor restwarmtebenutting: varende warmte. Dit concept beoogt de spelregels voor warmtetransport te veranderen, waardoor nieuwe vormen van restwarmtebenutting ontstaan. Vormen die eerder technisch en/of economisch niet haalbaar waren. In deze whitepaper wordt dit idee verder uitgewerkt.





STATUS QUO ENERGIETRANSPORT

De status quo van (fossiel) energietransport is dat we al millennia lang hout vervoeren, en meer dan tweehonderd jaar steenkool transporteren. Voor aardolie is dit honderd jaar, en voor gas een jaar of vijftig. Transport van warmte gaat tot op heden altijd per pijpleiding, met een maximale afstand van circa vijftien kilometer. Naast een kleinschalig concept van warmtetransport in containers bestaan er nauwelijks bewezen concepten voor de combinatie van grootschalige opslag en transport van warmte.

Restwarmte?

In Nederland is veel restwarmte beschikbaar, vooral bij de procesindustrie zoals de chemie en de petrochemie. Waarom wordt deze restwarmte nog niet massaal benut? Omdat in veel gevallen het warmteaanbod zich op dusdanige afstand bevindt van de warmtevragers, dat uitkoppelen via een transportleidingnet economisch niet haalbaar is. Daarnaast zijn restwarmteaanbieders meestal niet bereid een langdurige overeenkomst aan te gaan of te investeren in de uitkoppeling. Ook zijn er in de opstartfase van een dergelijk project onvoldoende garanties dat er voldoende warmteafnemers gevonden kunnen worden die de investering in een transportleiding rechtvaardigen, waardoor een bancaire financiering wordt belemmerd.

Voor duurzame energie en meer specifiek duurzame warmte, geldt dat ook daar de ongelijktijdigheid van vraag en aanbod uitdagingen biedt. Hier is niet de vraag van transporteerbaarheid het knelpunt, maar wel de overbrugging van de tijdsperiode tussen productie van duurzame energie en de vraag ernaar. Naarmate het opwekkingspotentieel aan duurzame energie groeit (vooral die vormen waarvan de opbrengst niet constant is, zoals zonne- en windenergie), wordt de behoefte aan opslag groter.

De uitdaging voor alle overschot aan warmte is een oplossing te bedenken waarmee de fysieke en tijdsafstand op een creatieve en veilige manier wordt overbrugd en waarbij de warmte op een hoog temperatuurniveau wordt vastgehouden.



HET IDEE: VARENDE WARMTE

Het idee van varende warmte ontstaat door het geschikt maken (opschalen) van bestaande technologie voor warmteopslag in combinatie met de voor Nederland meest kenmerkende infrastructuur: het water. Zoals het vervoer over water voor bulkgoederen de concurrent is van het transport per trein of vrachtauto, zo geldt dat ook voor warmte. De ver doorgevoerde planologie in Nederland helpt hierbij een handje. Concentraties van zware industrie met veel restwarmte, worden afgewisseld door woongebieden met stadsverwarming, veelal verbonden door groot open vaarwater. Dit zijn prima condities voor varende warmte.



>> [Bekijk film over de werking van varende warmte](#)

4.1 Het hoe van varende warmte

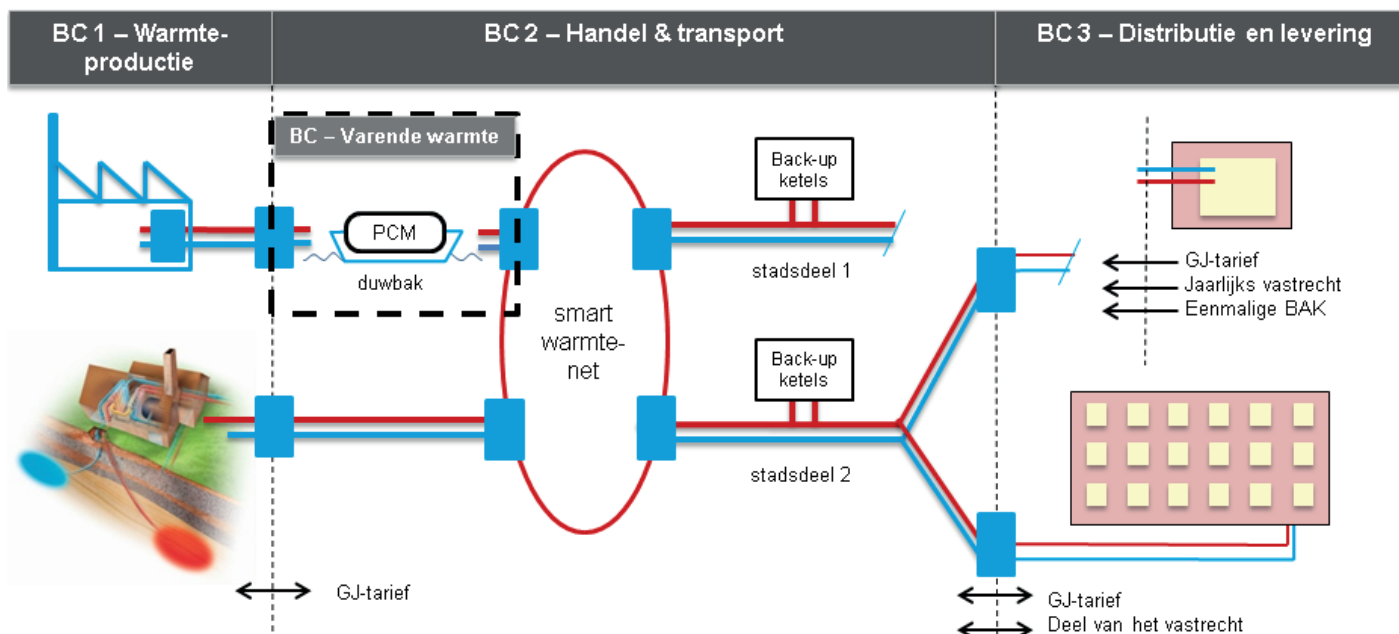
Hoe werkt het nu precies? Warmte verplaatsen? Iets wat warm is, koelt toch af? Nee, met zogenoemde faseovergangsmaterialen (Phase Change Material; PCM) die de eigenschap hebben dat ze warmte opnemen, vasthouden en weer afgeven is warmteverplaatsing mogelijk.

Je kunt het vergelijken met het opladen van een accu. Je laadt het materiaal als het ware op en de warmte blijft erin zitten; dagenlang, indien nodig. Het faseovergangsmateriaal zit in goed geïsoleerde tanks, die in schepen of een duwbak gemonteerd zijn zodat ze naar de plaats van bestemming kunnen varen: een stadswijk waar warmte nodig is. Daar gebeurt het omgekeerde. De warmte wordt weer aan het PCM onttrokken, waarbij de warmte op hetzelfde niveau blijft van bijvoorbeeld 90 graden Celsius. Die warmte gaat het warmtenet in.

Transport van warmte hoeft niet meer per pijpleiding en kan een grotere fysieke en tijdsafstand overbruggen dan tot op heden gebruikelijk. Industriële gebieden met restwarmte zijn vaak gelegen aan het water, vanwege de aanvoer van brandstof en grondstoffen, de afvoer van het product, en niet te vergeten de mogelijkheid om afvalwarmte op het water te lozen. Hierdoor openen zich perspectieven die eerder technisch en/of economisch niet haalbaar waren.

4.2 PCM's: zout, suikeralcoholen en vet

Faseovergangsmateriaal of PCM is een verzamelnaam voor onder meer zouthydraten, suikeralcoholen, vetzuren en paraffines. De meeste materialen hebben een natuurlijke oorsprong en zijn niet of weinig milieubelastend, met uitzondering van sommige zouthydraten. Een bekend voorbeeld is de faseovergang van water naar ijs. Omdat deze overgang bij 0 graden Celsius plaatsheeft, is ijs zeer geschikt voor koudeopslag. Bij Varende Warmte gaat het om materialen waarin er bij de overgang van de vaste fase naar de vloeistoffase (het smeltproces) veel warmte opgeslagen wordt. Tijdens het stollen treedt het omgekeerde proces op en komt de warmte weer vrij.



4.3 Warmtewisselaar

De opslagtank met daarin de geïntegreerde warmtewisselaar is het geheim van de smid. Warmtewisselaars voor kleinere PCM-opslagsystemen, zoals met natriumacetaat zijn reeds bekend. Voor varende warmte wordt een nieuw type opslagsysteem met geïntegreerde warmtewisselaar ontworpen, dat voldoet aan de eisen van een korte laad- en onlaadtijd, een eenvoudige constructie met lage productiekosten, en geschiktheid voor serieproductie. Daarnaast moet er een optimale samenhang zijn met het logistieke concept. Het principe is dat met een minimale investering zo veel mogelijk warmte (Gigajoules; GJ's) jaarlijks kunnen worden getransporteerd.

4.4 Transportmodaliteit

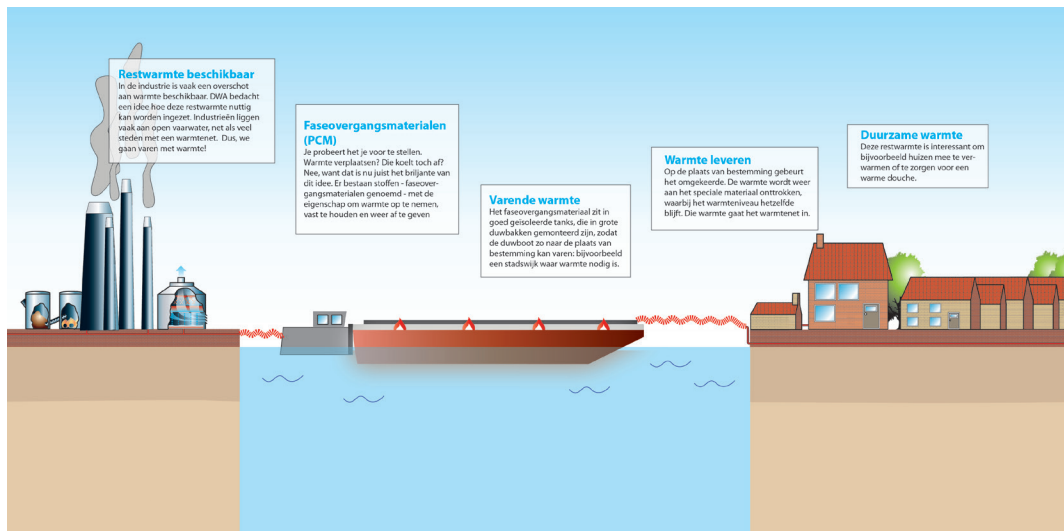
De transportmodaliteit is eigenlijk het eenvoudigste onderdeel van het concept. De basis is een duwbak, waarin de opslagtanks worden gemonteerd. Het alternatief hiervan is het gebruik van motortankschepen. Hoewel deze schepen in zowel aanschaf als exploitatie duurder zijn, speelt hierbij de overweging om gebruik te maken van de bestaande overcapaciteit in de tankvaart. Met beperkte aanpassingen kunnen bestaande tankschepen geschikt gemaakt worden voor vervoer van warmte. In beide gevallen wordt het schip geladen met warmte doordat de in de tank gemonteerde warmtewisselaar doorstroomd wordt met warm water. Hierdoor smelt het PCM. Het ontladen is het omgekeerde proces, en daarbij stolt het PCM in de tank.

4.5 Het logistieke concept

Laden en ontladen

De opslagtank en de zich daarin bevindende warmtewisselaar is het geheim van de smid. Het PCM bevindt zich in de tank. In deze tank bevindt zich ook de warmtewisselaar. Bij het laden wordt deze doorstroomd met heet water (bijvoorbeeld restwarmte uit de industrie), waardoor het PCM smelt en de gewenste eindtemperatuur bereikt.

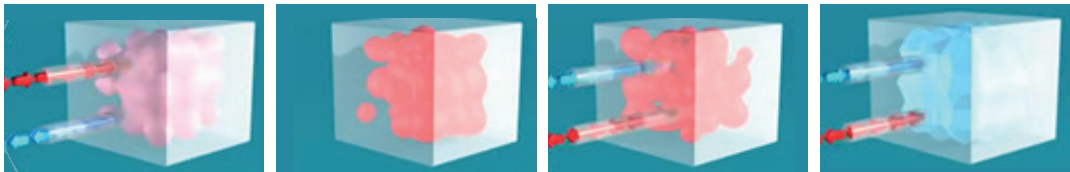
Bij het ontladen is het proces vergelijkbaar, maar andersom. De warmtewisselaar wordt doorstroomd met kouder water (dat terugkomt uit bijvoorbeeld een stadsverwarmingsnet). Het PCM stolt en geeft daardoor de stollingswarmte af aan het water, dat daardoor de gewenste temperatuur bereikt. Uiteindelijk is al het PCM gestold en is de 'warmteaccu' leeg. Op dat moment wordt een nieuwe warmteboot aangekoppeld of wordt de warmtelevering overgenomen door andere (tijdelijke) warmtebronnen.



Logistieke cyclus

Een complete cyclus bestaat uit de volgende fasen.

- Het laden van het schip (inclusief afmeren, aankoppelen, afkoppelen en ontmeren).
- Het varen naar de losplaats.
- Het ontladen van het schip; leveren van warmte (inclusief afmeren, aankoppelen, afkoppelen en ontmeren).
- Het varen naar het laadpunt.
- (Et cetera).



In het logistieke concept wordt 'het geld verdiend' met het afleveren van warmte. Hoe vaker per jaar een cyclus wordt doorlopen, hoe rendabeler varende warmte is. Om deze reden moeten de vaartijden en de laad- en loscycli zo kort mogelijk gehouden worden in combinatie met een groot laadvermogen (ordegrootte 1 TJ). Een van de gevolgen hiervan is dat de hoge specifieke laad- en losvermogens (kW per GJ opslag) hoge eisen stellen aan zowel de thermische eigenschappen van het PCM als de vermogens van de warmtewisselaar.



TOEPASSINGEN

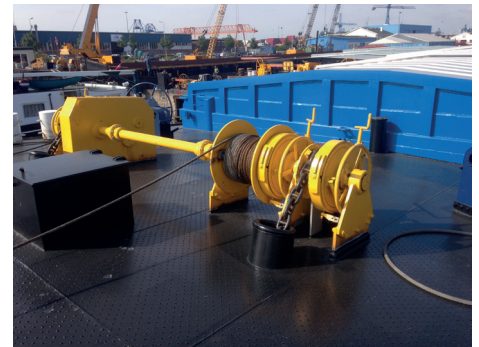
Een verkennende studie die Industrial Energy Experts medio 2013 in opdracht van de Provincie Zeeland uitvoerde, heeft aangetoond dat varende warmte bestaansrecht heeft. Vanaf ruim drieduizend woningequivalenten is het transporteren van warmte met een duwbak economisch haalbaar. Gelet op de toepassing – verwarming in de bestaande bouw – is smelttemperatuur vereist van het PCM van minimaal 80°C, en bij voorkeur hoger, zeg 120°C. Een duwbak kan circa 800 Gigajoule aan warmte vervoeren. Een vast leidingnet met een afstand van 15 kilometer tussen vraag en aanbod, wordt pas attractief vanaf circa 15.000 woningequivalenten.

In de loop van de ontwikkeling van het concept van varende warmte openen zich steeds meer perspectieven voor toepassingen. Waar het concept aanvankelijk alleen gericht is op toepassing van (mobiele) warmte voor de gebouwde omgeving, blijkt dat het concept vanuit de industrie ook op veel belangstelling kan rekenen. Dit geldt zowel mobiele (varende) als statische (optimalisatie van de warmtehuishouding bij batchprocessen. Dit zijn processen waarbij iedere keer een bepaalde hoeveelheid (charge) geproduceerd of behandeld wordt; niet continu dus. Denk bijvoorbeeld aan het branden van koffiebonen.

Toepassingen

Zonder compleet te willen zijn, kunnen de volgende potentiële toepassingen worden genoemd:

- Restwarmte uit de industrie koppelen aan stadsverwarmingsnetten
- Piekcentrale in een stadsverwarmingsnet
- Tijdelijke centrale in een (nieuw) stadsverwarmingsnet (uitstellen van investering in leidingnet)
- Combinatie met geothermie; pieklevering
- Afvalverbranders en biomassacentrales: optimalisatie rendement en subsidie
- Warmteoptimalisatie in industriële batchprocessen
- Duurzame warmte voor de industrie
- Optimalisatie van warmtekrachtcentrales
- Tuinbouwsector (in combinatie met duurzame warmte)
- Power to heat (indien overschot aan duurzame elektriciteit uit wind of zon)





TOEKOMSTPERSPECTIEF

De doelstelling van varende warmte is het dusdanig ontwikkelen en optimaliseren van transport van warmte per schip dat het in 2016 zowel technisch als financieel haalbaar is voor toepassing in de Nederlandse markt.

Het concept van varende warmte en het verder uitwerken daarvan biedt grote kansen en voordelen. In de eerste plaats genereert het kennis op een gebied van energie-efficiencyverbetering en duurzame energie. Ook is deze kennis herbruikbaar in landen met een vergelijkbare economie en infrastructuur (Duitsland, Zweden, Denemarken, United Kingdom, België, voormalig Oostblok, USA). Ook wordt kennis ontwikkeld op het specifieke gebied van warmteopslag. Al deze activiteiten leveren ook blijvende werkgelegenheid op, zowel als gevolg van het bouwen en onderhouden van 'warmteschepen', als door het exploiteren van deze schepen.

Er ontstaan exportmogelijkheden van zowel kennis als producten. Daarnaast kan de chemische industrie en haar toeleveranciers hiermee hoogwaardige producten ontwikkelen en leveren (PCM's, warmtewisselaars).

De potentie voor varende warmte voor de gebouwde omgeving in de komende tien jaar wordt voor Nederland ingeschat als:

- Tot 2019: vijf projecten met een omvang van minimaal 3.500 woningen
- Na 2019: per jaar minimaal twee projecten met een omvang van minimaal 3.500 woningen

Uiteraard is dit een grove inschatting; deze wordt op dit moment verfijnd door het onderzoek naar het marktpotentieel van varende warmte. In deze inschatting is nog geen rekening gehouden met andere (industriële) toepassingen die hierboven genoemd zijn.



WAAR STAAN WE?

Dankzij de recent toegekende Topsector Energiesubsidie, is de ontwikkeling van varende warmte in september 2014 gestart. In het consortium dat werkt aan de ontwikkeling is ECN gestart met het selecteren en karakteriseren van het meest geschikte PCM.

Industrial Energy Experts voert een verdiepend onderzoek uit naar het marktpotentieel en Bronswerk Heat Transfer gaat daarna in samenwerking met ECN de warmtewisselaar modelleren en ontwerpen. De ontwikkeling moet eind 2015 zover gevorderd zijn, dat het realiseren van een pilot haalbaar is.

Inmiddels haken meer (markt)partijen aan bij het concept van varende warmte, waaronder Havenbedrijf Amsterdam en een scheepvaartonderneming. Hierdoor is in het consortium alle kennis die nodig is voor de ontwikkeling geborgd. Met potentiële investeerders wordt op dit moment overleg gevoerd. Opvallend is de brede reactie uit de markt: er is veel interesse in dit grensverleggende concept.

Consortium

Het consortium dat het concept varende warmte ontwikkelt, bestaat uit de volgende leden:

- Industrial Energy Experts (concept, toepassingen, business case)
- ECN (PCM-onderzoek, modellering)
- Bronswerk Heat Transfer (ontwerp warmtewisselaar en tank)
- HVC (warmtebedrijf)
- Visser & Smit Hanab (infra, business case)
- Stemat (maritieme kennis)

Het kernteam bestaat uit Industrial Energy Experts, ECN en Bronswerk.

Partijen die geïnteresseerd zijn in dan wel actief betrokken zijn bij het project zijn:

- DOW Chemical: kennis van PCM's; restwarmtebenutting in batchprocessen
- Deen Shipping
- INB
- Havenbedrijf Amsterdam (Port of Amsterdam)

Subsidie TKI-EnerGO

Het project wordt uitgevoerd met Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken.



Contact

Ziet u als industriële partij, warmtebedrijf of adviesbureau toepassingskansen? Neem dan contact op met Egbert Klop van Industrial Energy Experts, egbert.klop@ieexperts.nl of 088 – 520 04 02. Contactpersoon bij ECN is Robert de Boer, r.deboer@ecn.nl of 088 – 515 48 71.