

CoE HRTech – Cluster Verduurzaming Industrie

Warmtepompen

Van technologisch naar economische grenzen

Brendon de Raad & Gijsbert Korevaar

Contact: B.W.de.Raad@hr.nl

Juli 2026



**HOGESCHOOL
ROTTERDAM**

Toekomstmakers

Executive Summary

Industriële warmtepompen zijn in korte tijd geëvolueerd van nichetechnologie voor lage temperaturen naar een geloofwaardige oplossing voor industriële proceswarmte tot 160 °C en in specifieke toepassingen zelfs boven 200 °C. Waar warmtepompen enkele jaren geleden voornamelijk werden geassocieerd met restwarmtebenutting onder 100 °C, tonen recente demonstratieprojecten en commerciële ontwikkelingen aan dat de technologische grens snel opschuift.

De belangrijkste beperking ligt niet langer bij de technologie zelf. De bepalende factor voor industriële warmtepompintegratie verschuift steeds meer naar bedrijfskundige en economische overwegingen. Daarmee staat de verhouding tussen elektriciteits- en gasprijzen, de vereiste temperatuurlift en de investeringskosten centraal. Voor veel industriële bedrijven betekent dit dat de vraag verandert van:

“Is een warmtepomp toepasbaar in ons proces?”

naar:

“Welk strategisch voordeel kunnen wij behalen met een warmtepomp?”

Deze verschuiving heeft belangrijke implicaties. Toepassingen tot ongeveer 120 °C ontwikkelen zich richting standaardoplossingen en het bereik tussen 120 °C en 160 °C groeit snel uit tot een belangrijke investeringsmarkt voor industriële decarbonisatie. Temperaturen boven 200°C blijven voorlopig nichetoepassingen, maar haalbaar onder gunstige economische randvoorwaarden. Nationale uitdagingen zoals netcongestie zorgen voor complicaties, maar zijn zeker geen einde aan de verkenning van elektrificatie oplossingen. Goed inzicht en contact met de netbeheerder vormt hier een basis voor verdere detaillering.

Om warmte te produceren op steeds hogere temperaturen en het leveren van grotere vermogens wordt het mogelijk om warmtepompen een centrale rol te laten spelen in bestaande industriële warmtesystemen, zoals stoomnetten. Hierdoor verschuift de focus van unit- naar plantniveau en biedt de oplossing systeemvoordelen zoals verbeterde operabiliteit, flexibiliteit en lagere integratie kosten. Dit maakt dat een warmtepomp een centrale rol kan spelen in de verduurzaming van een fabriek.

Dit position paper werkt deze ontwikkeling uit langs drie lijnen: (1) de verschuivende technologische grenzen, (2) de economische randvoorwaarden en businesscase, en (3) de implicaties voor systeemintegratie op fabrieksniveau.

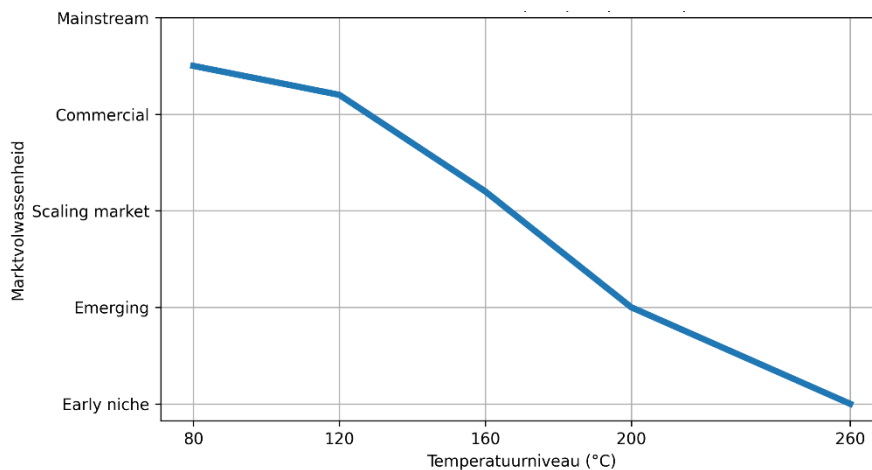
De economie van warmtepompen

1. De temperatuurgrens verschuift

Het beeld van industriële warmtepompen als technologie voor uitsluitend temperaturen onder de 100 °C is achterhaald. Nieuwe commerciële oplossingen en demonstratieprojecten tonen aan dat warmtepompen vandaag operationeel worden toegepast op temperaturen die enkele jaren geleden nog als onrealistisch werden beschouwd [1].

De sterkste marktgroei bevindt zich momenteel tussen 120 °C en 160 °C. In dit bereik verschijnen steeds meer commerciële oplossingen die zich onder andere richten op “eenvoudige” inpassing in bestaande systemen. Tegelijk groeit ook de schaal van toepassingen. Waar warmtepompen vroeger vooral werden ingezet op de schaal van honderden kilowatt, verschijnen vandaag installaties van meerdere megawatt die rechtstreeks gekoppeld worden aan industriële stoom- en warmtenetten.

De technologische evolutie volgt daarbij een duidelijk patroon, zoals weergegeven in figuur 1:



Figuur 1 Marktvolwassenheid van industriële warmtepompen

Ofwel;

- Tot 120 °C: commerciële standaardtechnologie
- 120–160 °C: snel opschalende groeiemarkt
- 160–200 °C: vroege commerciële toepassingen en demonstraties
- >200 °C: technisch haalbaar, economisch selectief

De belangrijkste conclusie is dat de technologische grens sneller opschuift dan de industriële perceptie. Veel bedrijven evalueren warmtepompen nog steeds vanuit het paradigma van lage temperatuurverwarming, terwijl de technologie vandaag steeds vaker rechtstreeks concurreert met industriële stoomproductie en een centrale rol kan spelen in de warmtevoorziening van de fabriek.

2. De economische grens van warmtepompen

Hoewel hoge temperatuurwarmtepompen technisch steeds beter worden, betekent dit niet automatisch dat elke toepassing economisch zinvol is. Warmtevraag op een hogere temperatuur vraagt immers om een hogere temperatuurlift, dit vraagt meer van de compressor wat leidt tot een lagere Coëfficiënt of Performance (COP) van de warmtepomp.

De economische haalbaarheid van een warmtepomp wordt bepaald door drie punten:

1. de vereiste temperatuurlift,
2. de verhouding tussen elektriciteits- en gasprijzen inclusief energie- en emissiebelastingen,
3. de investeringskosten van het systeem.

Net daar verschuift de strategische discussie. Doordat hogere temperatuurverschillen tussen de opgenomen en afgestane warmte (temperatuurlift) technisch mogelijk zijn komt het limiet meer te liggen op de operationele winsten door energiebesparing en de benodigde investering.

Hierdoor zijn hogere temperaturen zijn wel technisch mogelijk, maar economisch steeds moeilijker te rechtvaardigen. Deze logica verklaart waarom toepassingen tot ongeveer 120 °C zich vandaag snel commercialiseren: de efficiëntie blijft hoog genoeg om duidelijk voordeel te behouden tegenover fossiele warmte [2].

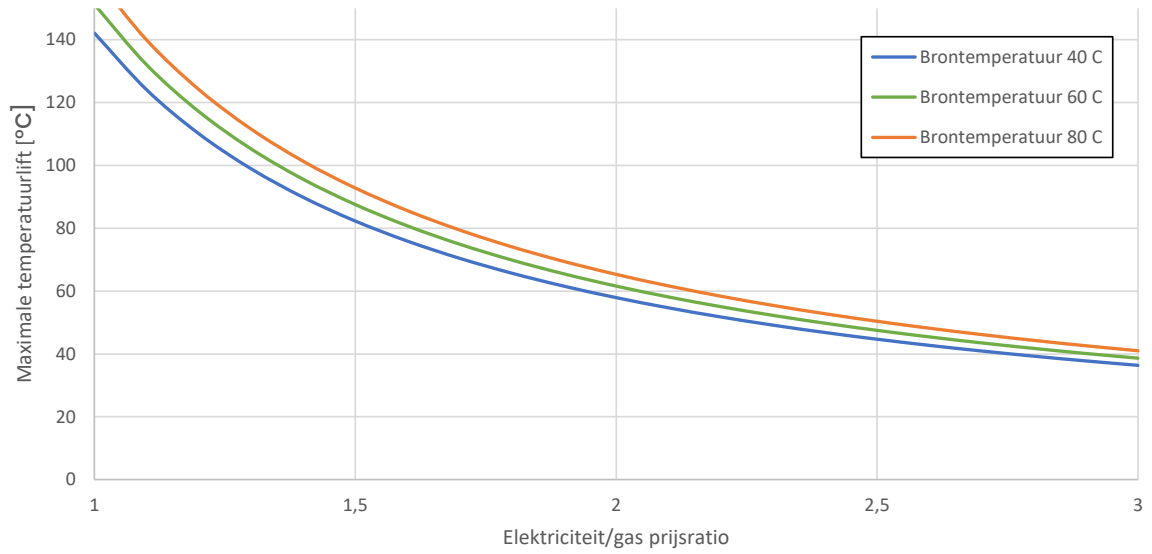
Tussen 120 °C en 160 °C ontstaat een overgangszone. Hier worden warmtepompen sterk afhankelijk van:

- energieprijzen & nettarieven,
- subsidies en belastingen (incl. CO₂-prijzen),
- type bedrijf (continue, aantal uren per jaar),
- bestaande warmte-infrastructuur.

Boven 200 °C verschuiven warmtepompen voorlopig naar nichetoeepassingen met:

- secundaire winsten (b.v. marktwaarde eindproduct)
- beperkte temperatuurlift
- goedkope elektriciteit,
- zeer hoge benuttingsgraad,
- sterke integratie in bestaande stoomsystemen en gebruikers op lagere temperaturen.

De implicatie is fundamenteel: De limiet van industriële warmtepompen wordt steeds minder bepaald door wat fysisch mogelijk is en steeds meer door de randvoorwaarden van de business case. Figuur 2 laat zien in welke gevallen een warmtepomp met een CapEx van 1500 €/kW_{th} economisch concurrerend kan zijn met een bestaande gasboiler, uitgaand van 50% efficiëntie ten opzichte van de ideale (Carnot) prestaties. Onder de huidige marktomstandigheden is het hierbij zeer interessant om te kijken naar het flexibel inkopen/bedrijven van de warmtepomp om zo de elektriciteit/gas prijsratio te drukken. De keuze voor een warmtepomp wordt hierdoor een strategische en bedrijfskundig vraagstuk.



Figuur 2 Maximaal economisch haalbare temperatuurlift op basis van de stroom/gasprijs ratio met een Investering = 1500 €/kW_{th}, Terug verdientijd = 5 jaar en vollasturen = 8760 h/jaar bij warmtebrontemperaturen van 40, 60 en 80 °C.

3. Economische optimalisatie

De combinatie van relatief hoge operationele en investeringskosten tezamen met een verwachting van een korte terugverdientijd vormen momenteel de grootste economische barrière. Om tot economisch haalbare oplossingen te komen worden de volgende strategieën gevolgd:

1. Reduceren investeringskosten

De investeringskosten voor een warmtepomp worden slechts deels bepaald door de kosten van de warmtepomp zelf. De warmtepompkosten zijn vaak slechts een deel (30-50%) van de totale projectkosten. Dus waar warmtepompleveranciers met grotere vermogen en standaardisatie inzetten om kosten van een warmtepompunit te drukken, kan slimme integratie in het systeem het verschil maken tussen een wel en niet haalbare oplossing [3].

De snelle ontwikkeling van warmtepompen in termen van vermogen en temperatuur maakt het mogelijk om op fabrieksniveau warmte te leveren. Of wel, direct aan het lage druk stoomstelsel te koppelen. Zo kan duurzame stoom kan in veel gevallen direct worden ingevoerd, wat zorgt voor een significante reductie in installatiekosten en een reductie in CapEx. Hierbij is het wel aan te raden om de druk in het stoomnet zo te kiezen dat de kosten voor warmtelevering worden geminimaliseerd.

2. Reduceren operationele kosten

De hoogste operationele besparingen met een warmtepomp oplossing worden behaald met een zo hoog mogelijke Coefficient of Performance (COP). Het COP van een warmtepomp is in te schatten door de temperatuur van de warmteafnemer te delen door het temperatuurverschil met de bron (beide in Kelvin) en met 50% verlies te rekenen. De presentaties van een warmtepomp worden gemaximaliseerd door de temperatuurlift tussen warmtebron en -afnemer zo klein mogelijk te maken. Pinch analyse helpt om deze temperaturen inzichtelijk te krijgen en is daarmee essentieel voor een solide warmtepomp businesscase.

Meer over Pinch analyse lees je in ons position paper: “Elektrificatie als maatwerk voor een duurzame industrie”.

Naast een effectieve integratie met het productieproces kan effectieve integratie met energiemarkten en bestaande equipment ook helpen om de operationele kosten omlaag te halen. De meest simpele vorm hierin is de hybride operatie van een warmtepomp met een bestaande gasboiler. In dat geval kan actief worden gekeken welke manier van stoomproductie het meest economische voordelig is. Voordeel halen uit dynamische energieprijzen is ook economisch haalbaar via de inzet van warmteopslag. Energieopslag in (warm)water is de meest kosteneffectieve optie en vele malen goedkoper dan de inzet van batterijen.

Met deze strategieën verschuift de uitdaging van het selecteren van een technologie naar het optimaliseren van een integraal energiesysteem waarin kosten, efficiëntie en inzetstrategie samenkomen.

4. Warmtepompen en netcongestie

Netcongestie wordt regelmatig opgeworpen als algehele stop voor elektrificatie projecten. Toch hoeft, zelfs lokale, netcongestie geen eindpunt te zijn voor de verkenning van elektrificatie opties. Netcongestie is dan ook een complex fenomeen dat sterk locatie, tijd en contractueel afhankelijk is. Voor industriële warmtepompen leidt netcongestie dan ook zelden tot een harde Go of No Go, maar veel vaker tot een optimalisatie. De volgende vier inzichten zijn essentieel om tot een echt optimum te komen:

1. Netcongestie als functie van plaats en tijd

Netcongestie treedt op binnen specifieke gebieden en tijdvensters door pieken op het stroomnet. Het is dan ook zeker geen verschijnsel dat zich het gehele jaar door voordoet. In veel gevallen zelfs een sterk beperkte duur in het jaar. Voor de extra belasting op het stroomnet door de inzet van warmtepompen is veelal dan ook wel ruimte te vinden in combinatie met flexibele operatie door de inzet van hybride operatie, energieopslag en load shifting.

2. Contractuele allocatie

Huidige contracten met netbeheerders zijn veelal tot stand gekomen uit een balans tussen wat er aan vermogen gevraagd werd, beschikbare netcapaciteit en hebben van een regelmarge. Op deze manier kan leveringszekerheid worden gegarandeerd onder “alle” bedrijfsomstandigheden. Door nauwere samenwerking met de lokale en landelijke netbeheerders is hier mogelijk, zonder netverzwaring, al meer mogelijk. Alternatieve TransportRecht (ATR) of TijdsDuurgebonden TransportRecht (TDTR)-contracten bieden een basis voor deze geïntensiveerde samenwerking.

3. Netefficiëntie: maximaliseren van wat beschikbaar is

Optimaal gebruikmaken van het stroomnet, vraagt niet alleen om tijdigheid, maar ook om doelmatig gebruik van de getransporteerde hoeveelheid energie. Warmtepompen leveren meerdere eenheden warmte per eenheid elektriciteit en leveren daarom in een tijd van schaarste een additionele meerwaarde door het maximaliseren van de geleverde energiedienst per aansluiting.

4. Netcongestie als transitieprobleem

Het verkennen van nieuwe contractvormen in samenspraak met netbeheerders en het in kaart brengen van de opties kost tijd. Veelal eerder in de vorm van jaren dan maanden. Een vergelijkbare tijdsduur aan de ontwikkeling van een elektrificatiestrategie en -oplossingen. Het is daarom belangrijk om vandaag nog te beginnen met het in kaart brengen van de opties en het gesprek aan te gaan. Netcongestie is een transitie probleem en daarmee inherent tijdelijk (in zijn vorm).

Afsluitend, netcongestie heeft geen fundamentele invloed op de businesscase van een warmtepomp en bepaald ook niet of een warmtepomp mogelijk is. Daarnaast is en blijft de warmtepomp één van de meest effectieve manieren om CO₂-emissies te verminderen.

5. Conclusie en aanbevelingen

De ontwikkeling van industriële warmtepompen bevindt zich op een kantelpunt. De vraag is niet langer of warmtepompen hoge temperaturen kunnen bereiken, maar welk strategisch voordeel er mee te halen is. De technologie toont vandaag overtuigend aan dat toepassingen tot 160°C snel commercialiseren en dat zelfs temperaturen boven 200°C technisch haalbaar worden.

Steeds meer worden economische meerwaarde en integratie op systeemniveau een beslissende factor. Daarmee worden aspecten als energie- & nettarieven (incl. koppeling met energie en capaciteitsmarkten), subsidies & belastingen, type bedrijf, bestaande warmte-infrastructuur en secundaire winsten als verhoging productwaarde drijvers bepalend voor het succes van een warmtepompproject en waar alternatieve oplossingen voorlopig relevant blijven.

Voor industriële bedrijven betekent dit dat concurrentiekracht niet enkel zal afhangen van technologiekeuze, maar vooral van de mate waarin warmte-integratie, energiestrategie en elektrificatie als één geïntegreerd systeem worden benaderd. De volgende generatie industriële energiesystemen komen dan ook tot stand door:

- Het proces als startpunt te nemen en met Pinch analyse mogelijke warmtepompintegraties te verkennen
- De businesscase te koppelen aan een energiemarktstrategie
- Vroegtijdig met netbeheerders in gesprek te gaan rondom de mogelijkheden

De volgende doorbraak in industriële warmtepompen zal daarom waarschijnlijk niet ontstaan uit nog hogere temperaturen alleen, maar uit slimmere integratie in industriële energiesystemen.

6. Vooruitblik

Naast de succesvolle uitrol van industriële warmtepompen onder de 100 °C, zoals de 22 MW warmtepomp in de mouterij van Holland Malt [4], experimenteert FrieslandCampina in Maasdam met een stoom-genererende warmtepomp (3,5 bar) in het pasteurisatieproces [5], draait bij DOW Chemical in Terneuzen sinds 2021 een stoomcompressiewarmtepomp (MVR) die LP-stoom levert en jaarlijks 13.500 ton CO₂ bespaart [6]. Ook buiten Nederland wordt deze techniek steeds meer de norm. Zo is door Spilling Technologies bij Smurfit Kappa in Tsjechië een gestandaardiseerde MVR geïnstalleerd die met voor toepassingen tot 6 bar, bij Stella Polaris in Noorwegen een 1.2 MW stoom-genererende warmtepomp geplaatst die stoom levert bij 4 bar, een 4 MW warmtepomp bij Tiense Suiker in België [7]. De toenemende inzet van hoge temperatuur warmtepompen sluit aan bij de ambities uit de 'Actieagenda Elektrische Industrie' van het Ministerie van Klimaat en Groene Groei [8] en wordt verder onderbouwd door de snel opvolgende internationale ontwikkelingen die het Internationaal Energieagentschap signaleert [9].

Deze projecten geven slechts een fractie van de technologische versnelling aan die momenteel gaande is. Graag verkennen wij samen wat Hogeschool Rotterdam en warmtepompen voor u kunnen betekenen.

Referenties

1. Zühlsdorf, B., Andersen, M. P., Tammone, C. et.al., *Industrial High-Temperature Heat Pumps. Task 1 – Technologies. Yearly Report 2025*. 2025, IEA Heat Pump Centre.
2. Bielefeld, S. de Raad. B, et al., *The impact of energy prices on the electrification of utility systems in industries with fluctuating energy demand*. Energy, 2025: p. 137679.
3. Bielefeld, S. de Raad. B., et al., *The Impact of Heat Pump Integration on the Electrification of Industrial Utility Systems*. Available at SSRN 5676534.
4. NPVI. *Holland Malt opent volledig elektrische mouterij*. 2024 [cited 2026 05/03].
5. NPVI. *Warmtepomp met stoom volgende stap in elektrificatie FrieslandCampina*. 2025 [cited 2026 05/03]; Available from: <https://www.verduurzamingindustrie.nl/inspiratie/2991161.aspx?t=Warmtepomp-met-stoom-volgende-stap-in-elektrificatie-FrieslandCampina>.
6. Experts, B.E. *Stoomcompressor bij DOW presteert energetisch beter dan verwacht*. 2021 [cited 2026 05/03]; Available from: <https://www.verduurzamingindustrie.nl/actueel/nieuws/2681522.aspx?t=Holland-Malt-opent-volledig-elektrische-mouterij>.
7. Arpagaus, C., *High-temperature heat pumps: market overview, state of the art, and application potential*. Clean Technologies and Environmental Policy, 2026. **28**(5): p. 148.
8. Groei, M.v.K.e.G., *Actieagenda Elektrificatie Industrie*. 2025.
9. Zühlsdorf, B., Andersen, M. P., Tammone, C. et.al. *State of the art and ongoing developments for systems and components*. 2025 [cited 2026 05/03]; Available from: <https://heatpumpingtechnologies.org/project68/task1>.