

FKZ: 03EN2107A-C

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ex-post-Evaluation zur Wirksamkeit der FuE-Forschungs- förderung der Hochtemperatur-Wärmepumpe

Studie im Rahmen der Begleitforschung EE4InG 2 zum For-
schungsnetzwerk Industrie und Gewerbe

Karlsruhe, Aachen, Bensheim

24. April 2026

Präambel

Das Begleitforschungsvorhaben EE4InG2 im Überblick

Projekthintergrund

Die **Energieforschungsförderung** orientiert sich an den energie- und klimapolitischen Zielen der Bundesregierung. Hauptziel ist dabei Klimaneutralität bis 2045 unter anderem durch höhere Energieeffizienz und den Ausbau erneuerbarer Energien. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) flankiert diese Ziele durch **Forschungsförderung der angewandten Energieforschung** im Rahmen des **Energieforschungsprogramms**. Ein Fokus liegt dabei auf der Energie- und Ressourceneffizienz in Industrie und Gewerbe. Das **Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe** fördert den Austausch von Experten in diesen Bereichen. Das BMWE prüft die Wirksamkeit des Energieforschungsprogramms und dessen zukünftige Entwicklung durch **Begleitforschung**. Die Begleitforschung dient schließlich als Instrument zur Bewertung und Weiterentwicklung der Forschungsförderung.

Projektziele

Das Verbundvorhaben EE4InG2 wurde konzipiert als **Begleitforschungsprojekt** für das **Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe (FNW IuG)**. Ein zentrales Projektziel ist die **wissenschaftliche Querauswertung der angewandten Energieeffizienzforschung und -förderung** durch das Energieforschungsprogramm im Hinblick auf Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Ein weiteres Projektziel ist die **Förderung des Austausches zwischen relevanten Akteuren des Innovationssystems** (Industrie, Wissenschaft, Politik), koordiniert durch eine im Projekt zu schaffende Koordinierungsstelle für das Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe. Das Projekt knüpft an die inhaltlichen Vorarbeiten des vorausgegangenen Verbundvorhabens "EE4InG: Forschungsnetzwerk Energie in Industrie und Gewerbe – Vernetzung und Begleitung der FuE-Aktivitäten sowie Beschleunigung der Ergebnisverbreitung" (FKZ: 03ET1630A-B) an.

Projektpartner: IREES, IOB/RWTH Aachen, ETA-Solutions

Kontakt: projektleitungEE4InG2@irees.de

Projekthomepage: <https://ee4ing2.de/>

Projektpartner



IREES – Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien GmbH

**RWTH Aachen University
Institut für
Industrieofenbau
und Wärmetechnik (IOB)**

ETA-Solutions GmbH

Durlacher Allee 77
76131 Karlsruhe
Ansprechpartnerin:
Dr. Heike Brugger

Kopernikusstr. 10
52074 Aachen
Ansprechpartner:
Felix Kaiser

Darmstädter Str. 239
64625 Bensheim
Ansprechpartnerin:
Juliane Heydemann

Tel.: +49 721 9152636-0
E-Mail: h.brugger@irees.de

Tel.: +49 241 80 26068
E-Mail: kaiser@iob.rwth-aachen.de

Tel. +49 6251 82555 42
E-Mail: heydemann@eta-solutions.de

Hinweise

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben „EE4InG2 – Begleitforschung für Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe 2.0“ wurde mit Mitteln des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen FKZ 03EN2107A-C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt ausschließlich bei den Autoren.

Vorschlag zur Zitation dieses Dokuments:

Decker, Alexandra; Lösch, Oliver; Maertens, Robert; Jochem, Eberhard (2026): Ex-post-Evaluation zur Wirksamkeit der FuE-Forschungsförderung der Hochtemperatur-Wärmepumpe. Hg. v. IREES GmbH, RWTH Aachen (IOB), ETA-Solutions GmbH. Karlsruhe, Aachen, Bensheim.

Korrespondenz an:

Dr. Robert Maertens, IREES GmbH, E-Mail: r.maertens@irees.de

Inhaltsverzeichnis

Präambel.....	2
1 Executive Summary	5
2 Methodisches Vorgehen.....	6
3 Status-Quo der HT-Wärmepumpe.....	8
3.1 Funktionsweise und Stand der Technikentwicklung.....	8
3.2 Anwendungsbereiche der HT-Wärmepumpe.....	9
3.3 Technische Herausforderungen	10
4 Förderung der HT-Wärmepumpe im Energieforschungsprogramm	13
4.1 Fokus der vergangenen EFP auf die HT-Wärmepumpe.....	13
4.2 Förderung der FuE-Arbeiten im EFP	17
5 Innovationssystem der HT-Wärmepumpe in Deutschland.....	26
6 Hemmnisse	29
7 Fazit und Ergebnisse der Befragungen	31
7.1 Verlauf der Projektförderung	31
7.2 Technikentwicklung nach der EFP-Förderung	33
7.3 Vernetzung und Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie	34
7.4 Einfluss der Förderung auf die Durchführung von Projekten	36
7.5 Empfehlungen aus Sicht der FuE	39
8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	41
Literaturverzeichnis	43
Abkürzungen.....	46
Abbildungsverzeichnis	47
Tabellenverzeichnis	48
Anhang.....	49

1 Executive Summary

Im Energieforschungsprogramm (EFP) wurden seit dem Jahr 2000 insgesamt 14 Projekte zu Hochtemperatur-Wärmepumpen (HT-WP) mit Industriebezug gefördert. Besonders in den 2010er Jahren waren diese Projekte erfolgreich, und einige geförderte Unternehmen sind mittlerweile etablierte Hersteller. Eine kontinuierliche Förderung ist essenziell, um den TRL zu erhöhen und die Technik nachhaltig im Markt zu etablieren. Die Projektförderung im Verbund von Forschungseinrichtungen, Herstellern und Anwendern hat sich bewährt. Innovationsverbünde mit wiederkehrenden Partnern können dabei eine besondere Rolle spielen. Die Entwicklung von HT-WP hat inzwischen Senktemperaturen von 120 °C bis 150 °C erreicht, mit einer erwarteten Steigerung bis 200 °C. Technische Herausforderungen bestehen insbesondere beim Verdichter, der Wahl des Kältemittels und der WP-Auslegung.

Die Entwicklungsschwerpunkte in den aufeinanderfolgenden EFP zeigen, dass neben der Programmstruktur auch ausreichende Fördermittel entscheidend sind. Das 8. EFP strebt Prozesswärmepumpentemperaturen von über 300 °C bis 2030 an. Dieses Ziel erfordert erhebliche zusätzliche FuE-Anstrengungen sowie eine verlässliche öffentliche Förderung. Obwohl das Innovationssystem für HT-WP aktiv ist, bestehen weiterhin Hemmnisse wie Platzmangel, Sicherheitsstandards und fehlendes Wissen über WP-Funktionen und Anwendungen. Eine gezielte technikspezifische Förderung ist notwendig, um eine wettbewerbsfähige nationale Herstellerlandschaft aufzubauen.

Die Ex-post-Evaluation zeigt die Bedeutung einer engen Zusammenarbeit zwischen Herstellern, Anwendern, Energieplanern, politischen Entscheidungsträgern und Forschungseinrichtungen. Diese Kooperation ist essenziell, um die Potenziale der HT-WP voll auszuschöpfen. Erfolgsfaktoren sind die Akzeptanz durch Anwender und klare Anwendungsmöglichkeiten durch Hersteller. Das EFP unterstützt technologische Innovationen, minimiert finanzielle Risiken und fördert Partnerschaften. Befragte betonten die Relevanz der richtigen Partnerwahl und empfahlen Verbundprojekte gegenüber Einzelprojekten. Ein klarer Arbeitsplan mit definierten Randbedingungen hilft, Verzögerungen zu vermeiden.

Die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie wurde grundsätzlich positiv bewertet trotz der Zielkonflikte zwischen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Interessen. Die thematische Ausrichtung des EFP wurde als passend zur Energiewende empfunden, die Förderquoten als angemessen. Vorteile sind die iterative Antragsgestaltung, Projektflexibilität und niedrighschwellige Antragstellung. Herausforderungen bestehen in hohem bürokratischen Aufwand, langen Bewilligungszeiten und Unsicherheiten in der Planung. Insbesondere in einem dynamischen Markt wie HT-WP können lange Zeiträume zwischen Antragstellung und Projektstart Innovationshemmnisse sein. Eine stabilere Forschungsfinanzierung würde mehr Kontinuität ermöglichen. Insgesamt ist die gezielte Technikförderung für HT-WP im Rahmen des EFP vielversprechend, um neue Technologien zur Marktreife zu bringen und die industrielle Dekarbonisierung voranzutreiben.

2 Methodisches Vorgehen

Definition des Untersuchungsrahmens

Zu untersuchen gilt die Förderung der Forschung und Entwicklung (FuE) einer Einzeltechnik im Rahmen von Förderprogrammen auf deutscher und europäischer Ebene mit besonderem Fokus auf dem Energieforschungsprogramm des BMW. Dabei liegt der Untersuchungszeitraum und -rahmen auf Projekten ab 2000. Somit bezieht sich die Evaluation auf die 4. bis 8. EFP (Übersicht aller EFP Tabelle 5 im Anhang).

Die untersuchte Technik ist gemäß der Definition der Internationalen Energieagentur (IEA) die Hochtemperatur-Wärmepumpe (HT-WP), die einen Teil ihrer nutzbaren Energie (Exergie) bei Vorlauftemperaturen über 100 °C abgibt. Zudem soll die Anwendung im industriellen Bereich liegen, sodass höhere Kapazitäten gefragt sind (derzeit ab 200 kW bis ca. 10 MW).

Zielsetzung der Untersuchung

Die staatliche Förderung von Techniken im EFP soll am konkreten Beispiel auf Effizienz und Wirksamkeit evaluiert werden. Aus der Evaluation werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, damit die Forschungsförderung einer Einzeltechnik zielgerichtet bleibt und neue Förderthemen in dem Technikbereich erschlossen werden. Zudem können Lehren gezogen werden für zukünftige begleitende und vorausschauende Maßnahmen im Forschungsnetzwerk (z.B. in Bezug auf die Transformation mit veränderten Produktionsstrukturen).

Die Ex-post Evaluation betrachtet die Vergangenheit und Gegenwart einer Technik, in einer separaten Technikanalyse werden im Vergleich dazu Gegenwart und Zukunft der Technik betrachtet. Die Technikanalyse wurde bereits veröffentlicht (Decker et al. 2025). Als Brücke zwischen beiden Untersuchungen, Ex-post Evaluation und Technikanalyse, steht folgende zentrale Frage: Gibt es einen Zusammenhang zwischen FuE-Förderung und Erfolg der Technik (Markteintritt und -diffusion)?

Fragestellungen der Evaluation

- Gibt es einen Zusammenhang zwischen der FuE-Förderung und dem Erfolg der Technik (Markteintritt und -diffusion)?
- Welche Faktoren beeinflussen den Erfolg einer Effizienztechnik bzw. eines Themenfeldes?
- Welche Hemmnisse, Co-Benefits und Wechselwirkungen traten während der Förderung auf? Welchen Einfluss hatte die Förderung darauf (z.B. Lösung von Hemmnissen)?
- Wie ist die Einschätzung der geförderten Technik in Bezug auf Außensicht und globalen Wettbewerb?

- Welche Rolle nehmen die Forschungsnetzwerke und Austauschmöglichkeiten in der Projektförderung ein (können sie z.B. bei der Lösung von Hemmnissen helfen)?
- Welche Empfehlungen können aus den Analysen und Befragungen für eine verbesserte Forschungsförderung abgeleitet werden?

Methoden zur Umsetzung

Zuerst wurde die FuE-Phase der Technik analysiert. Als Datenquellen dienten Projektdaten, die vorrangig aus der enArgus Projektdatenbank des BMW und öffentlich zugänglichen Projektberichten entnommen wurden, sowie hinzugezogene Dateien von FuE-Projekt-Beschreibungen des Projektträger Jülich (PtJ) (Stand Dez. 2023). Letztere dienten vor allem für die Einordnung des Projektes in das Forschungsnetzwerk Energie in Industrie und Gewerbe sowie für die Kontaktherstellung zu ehemaligen Projektbeteiligten zur Durchführung von Befragungen. Zudem wird das Innovationssystem zu der Technik aufgezeigt.

Die Darstellung der FuE der Technik wurde durch vier Interviews abgerundet. Die Befragungen der ehemaligen Projektleiter der geförderten FuE-Projekte, zwei auf wissenschaftlicher sowie zwei auf industrieller Seite, dienten zur Einschätzung des Erfolges der damaligen Arbeiten, sowie zu Hemmnissen und Co-Benefits als auch zu Wechselwirkungen mit anderen Techniken anhand eines zuvor erarbeiteten und geprüften Gesprächsleitfadens.

3 Status-Quo der HT-Wärmepumpe

3.1 Funktionsweise und Stand der Technikentwicklung

Industrielle Wärmepumpen (WP) nutzen Abwärmeströme als Wärmequellen und heben diese auf nutzbare Prozesswärmemetemperaturen an, sodass die Wärme in denselben oder in andere Prozesse am Standort oder auch in Wärmenetze (Wärmesenke) zurückfließen kann. Für den Temperaturhub (Differenz zwischen Senktemperatur und Quelltemperatur) wird hochwertige Exergie benötigt, wie Strom oder Wärme auf noch höheren Temperaturniveaus. Dabei wird der Coefficient of Performance (COP) als Effizienzkennwert genutzt, der das Verhältnis aus abgegebener Wärme zu aufgewandter Energie (Strom) bildet. Das Prinzip einer industriellen Wärmepumpe ist in Abbildung 1 gezeigt.

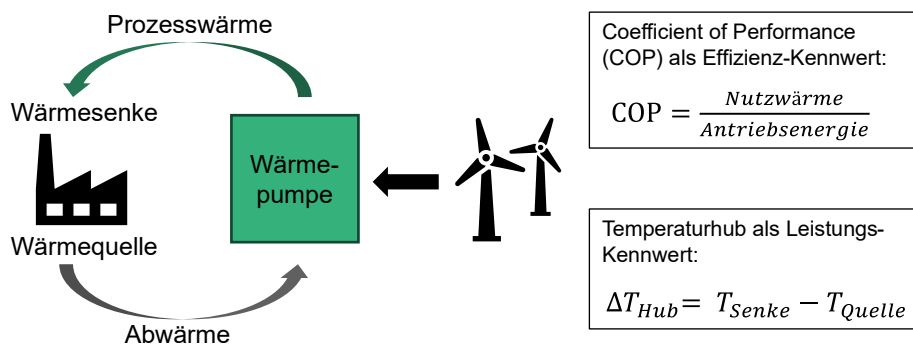


Abbildung 1: Funktionsweise einer industriellen Wärmepumpe und wichtige Kennwerte

Quelle: eigene Darstellung

Die Internationale Energieagentur (IEA) definiert Hochtemperatur-Wärmepumpen (HT-WP) dadurch, dass sie einen Teil ihrer nutzbaren Energie (Exergie) bei Vorlauftemperaturen $>100\text{ °C}$ abgeben. Eine Wärmepumpe für die Erwärmung von Wasser von 70 °C auf 110 °C , zählt demnach zu den HT-WP. Industrielle WP werden meist mit einer Heizleistung von mehr als 100 kW eingesetzt.

Der Annex 58 des TCP *Heat Pumping Technologies* (HPT) der IEA schätzt die Entwicklung des Technologie-Reifegrads (TRL) der HT-WP differenziert nach Temperatur der Wärmesenke und Heizleistung ein (siehe Abbildung 2). Demnach sind derzeit bereits HT-WP bis 120 °C zwischen $0,2\text{--}10\text{ MW}$ bei mehreren Herstellern verfügbar, werden aber voraussichtlich erst in den kommenden Jahren eine breitere Anwendung erfahren. Für den Temperaturbereich 120 °C bis 160 °C wird derzeit die Entwicklung vieler Prototypen und ihr Einsatz in diversen Branchen in größeren Demonstrationen abgeschlossen und diese werden zu marktreifen Technologien weiterentwickelt, oft im Rahmen von geförderten FuE-Projekten. Durch den großen Bedarf an Dekarbonisierungsoptionen für die Prozesswärme und der Schlüsselrolle von HT-WP im unteren bis mittleren Temperaturbereich wurde ihre Entwicklung durch den Marktdruck in den letzten Jahren beschleunigt. Im Bereich über 160 °C ist die Entwicklung ähnlich, jedoch mit deutlich geringerer Anzahl an Projekten in der Forschung und Entwicklung (FuE), sodass sich ihr Markteintritt laut IEA auf die Jahre 2026-2028 verschiebt. (Zühlsdorf et al. 2023)

Heating Capacity	Temperature	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
200 kW to 10 MW	< 120 °C	Prototypes available	Demonstrators available	Commercial roll-out	Established as preferred technology							
		Prototype developments	Technology advancement, upscaling	Optimization of efficiency, cost, ...	Standardization, further improvements and novel applications							
		Test and demonstration of prototypes	Full-scale demonstrations in industrial environment	Commercial deployment of systems								
	120-160 °C	Prototypes available	Demonstrators available	Commercial roll-out	Established as preferred technology							
		Prototype developments	Technology advancement, upscaling	Optimization of efficiency, cost, ...	Standardization, further improvements and novel applications							
		Test and demonstration of prototypes	Full-scale demonstrations in industrial environment	Commercial deployment of systems								
> 160 °C	Prototypes available	Demonstrators available	Commercial roll-out	Established as preferred technology								
	Prototype developments	Technology advancement, upscaling	Optimization of efficiency, cost, ...	Standardization, further improvements and novel applications								
	Test and demonstration of prototypes	Full-scale demonstrations in industrial environment	Commercial deployment of systems									
>10 MW	< 120 °C	Technology transfer & commercial project sales	Demonstrators available	Established as preferred technology								
		Technology transfer to HP applications	Technology advancement, upscaling	Optimization of efficiency, cost, ...	Standardization, further improvements and novel applications							
		Integration studies with end-users	Full-scale demonstrations in industrial environment	Commercial deployment of systems								
	> 120 °C	Technology transfer & commercial project sales	Demonstrators available	Established as preferred technology								
		Technology transfer to HP applications	Technology advancement, upscaling	Optimization of efficiency, cost, ...	Standardization, further improvements and novel applications							
		Integration studies with end-users	Full-scale demonstrations in industrial environment	Commercial deployment of systems								

Abbildung 2: Entwicklung der verschiedenen Techniken der HT-Wärmepumpe bis 2030

Quelle: (Zühlsdorf et al. 2023)

Bei größeren Leistungen über 10 MW könnten bereits ab dem Jahr 2025 einige Anlagen bis 120 °C in den Markt kommen, während sie sich bei über 120 °C noch in der Entwicklung befinden und erste große Demonstrationsprojekte danach erwartet werden. Bis zum Jahr 2030 werden HT-WP vermutlich in allen genannten Temperatur- und Leistungsbe- reichen die bevorzugte Technologie werden. (Zühlsdorf et al. 2023)

3.2 Anwendungsbereiche der HT-Wärmepumpe

Mögliche Anwendungen finden sich in verschiedenen Branchen und Prozessen:

- Kurz und mittelfristig in der **Nahrungsmittelindustrie bei 100 °C-200 °C** (Sterilisieren, Trocknen, Pasteurisieren, Eindampfen, ...) oft zusammen mit Kühlbedarf
- Kurz bis mittelfristig in der **Textilindustrie unter 120 °C** (Waschen, Trocknen, Färben)
- Kurz bis langfristig in der **Chemieindustrie in diversen Temperaturbereichen**, oft in Kombination mit Brüdenverdichtern (Kurzfristig: Sieden und Aufkonzentrieren, Langfristig: Destillieren und Thermoformen)
- Mittel und langfristig in der **Papierindustrie bei 100 °C und höher** (Bleichen, Kochen, Trocknen), oft in Dampfprozessen
- Kurzfristig für **Trocknungsprozesse zwischen 100 °C-160 °C** in den Branchen Metallverarbeitung, Gummi und Kunststoff, Holzindustrie sowie Maschinenbau

>10 MW) das bevorzugte Kühlmittel Dampf (R-718) (Zühlsdorf et al. 2023). Gleichzeitig müssen mit natürlichen Mitteln ebenfalls die wichtigen Aspekte Dichtigkeit und Brennbarkeit neben der THG-Neutralität und der Erfüllung aller (zukünftiger) Sicherheits- und Umweltstandards abgedeckt werden (Hirzel 2017). Dabei gibt es kein Kältemittel, das für alle Anwendungen geeignet ist, weshalb Verdichter auf verschiedene Kältemittel ausgelegt werden können, um die Wahl des Kältemittels als Designelement für den konkreten Einsatz zu nutzen. Dennoch wird die breite Anwendung von Kältemitteln im internationalen Handel durch regionale Unterschiede in den Sicherheitsbestimmungen und Genehmigungsverfahren erschwert, vor allem im Bereich der toxischen Kältemittel (ACEEE 2024). Daher sind internationale Übereinkommen sowie eine Vereinheitlichung der Kältemittel essenziell für den Außenhandel der deutschen WP-Technologien.

Beim optimierten Design ist die gemeinsame Auslegung verschiedener WP-Komponenten wie Wärmetauscher und Kältekreisconfigurationen wichtig, sowie ihr Zusammenspiel in der Anlagenkonstruktion. Auch hier gilt es die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Gesamtanlage zu erhöhen, sowie eine Verbesserung der Leistungszahl und eine Erhöhung des Temperaturhubs zu erreichen. Dabei ist das hydraulische Design für eine optimale Druck- und Temperaturnutzung im Gesamtsystem essenziell, vor allem in komplexeren Systemen wie mehrstufigen WP-Anlagen für hohe Temperaturspreizungen über 100K oder Hybridwärmepumpen mit einer Kombination aus Kompression und Sorption, sodass hohe Drücke und Kältemittelverlust vermieden werden. Bei der Prozessintegration und Optimierung der Steuerung können Flexibilisierungskonzepte wie Automatisierung, Integration in Lastmanagementsysteme, dynamisches Verhalten oder auch die Einbindung in den Systemverbund (Bindeglied Wärmequelle - Wärmesenke) verfolgt werden. Dabei sind die Entwicklung von HT-WP für die Dampferzeugung sowie mehrstufige WP-Systeme besonders vielversprechend für eine breitere industrielle Nutzung. (Hirzel 2017)

Insgesamt gilt es neben neuen Senktemperaturen auch höhere Temperaturhübe und Leistungszahlen zu erreichen, sowie Einzelkomponenten zu verbessern und das Gesamtsystem zu optimieren. Gleichzeitig wird es aufgrund der Lebensdauer von HT-WP von 15 Jahren zum Ende der 2030er eine erste Austauschwelle von derzeit eingebauten WP-Anlagen gegen effizientere Systeme geben. Dadurch wird der Druck auf die Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit von WP-Komponenten steigen.

4 Förderung der HT-Wärmepumpe im Energieforschungsprogramm

Zu unterscheiden gilt zwischen länger zurückliegenden FuE-Phasen (in den 2000er Jahren) versus kurzfristig zurückliegenden (in den 2010er Jahren). Insgesamt wurden seit 1990 im Bereich der Energieforschung 76 Projekte zu HT-WP gefördert, 75 vom BMW und eines vom BMBF⁴. Dabei zeigt sich eine eher kurzfristig zurückliegende FuE-Phase mit einem großen Anstieg der Projektzahlen ab den 2010er Jahren. Gleichzeitig wurden in den Forschungsrahmenprogrammen der EU seit 1984 laut der Forschungsdatenbank CORDIS⁵ 169 Projekte zu HT-WP gefördert, wobei auch auf europäischer Ebene ein Anstieg der Projekte ab den 2010er Jahren abzulesen ist. Dabei zeigt sich eine hohe Beteiligung Deutschlands an den Projekten, sodass Deutschland als wichtiger Forschungspartner in der Entwicklung der HT-Wärmepumpe etabliert ist. Eine genauere Darstellung der allgemeinen FuE-Phase der HT-WP in Deutschland und der EU wird in einer separaten Technikanalyse folgen.

Es gab lange keine feste Definition zu dem Temperaturbereich der HT-WP und auch derzeit wird die IEA-Definition (HT-WP für Nutzwärme ab 100 °C) oft nicht genutzt. Daher adressieren einige WP-Projekte Gebäude- statt Industrierwärme oder sind auf Temperaturbereiche deutlich unter 100 °C ausgelegt, auch wenn die Begriffsnutzung in ihrer Projektbeschreibung eine industrielle HT-WP suggeriert. Würde man somit die genannten Projekttreffer auf die enge Definition der IEA eingrenzen, wird ein Großteil der Projekte sowohl auf europäischer als auch auf deutscher Ebene aufgrund niedrigen Nutzttemperaturen und/oder nicht-industriellem Einsatz wegfallen. Daher wird im folgenden Unterkapitel der Fokus auf die Förderung im Rahmen des EFP gelegt und nach einer Übersicht einige Fokusprojekte diskutiert, die größtenteils von der IEA-Definition abgedeckt sind.

4.1 Fokus der vergangenen EFP auf die HT-Wärmepumpe

Die verschiedenen Energieforschungsprogrammen wurden in Zusammenarbeit mehrerer Bundesministerien erstellt. Dabei wechselte die Federführung ab dem 4. EFP vom Forschungsministerium zum Wirtschaftsministerium. In den 5. Und 6. EFP wurden getrennte Programmschwerpunkte von den beteiligten Bundesministerien ausgewiesen. Im 7. EFP geschah dies gemeinsam ohne eine Schwerpunktsetzung einzelner Ministerien in Abgrenzung voneinander. Im 8. EFP werden keine Bundesministerien neben dem BMW mit

⁴ Gezählt wurden die Treffer in der enArgus Projektdatenbank des BMW, die das Stichwort „Hochtemperatur-Wärmepumpe“ in ihrer Beschreibung enthalten. Die Projektdatenbank enArgus des BMW zeigt alle öffentlich geförderten Projekte rund um das Thema „Energieforschung“ auf. Dort sind die Verbände als Einzelprojekte pro Verbundpartner hinterlegt. Daten mit Stand März 2024: <https://www.enargus.de/>.

⁵ Forschungsdatenbank CORDIS der EU-Kommission mit Projekten der Forschungsrahmenprogramme, zuletzt Horizon 2020 von 2014-2020 mit ca. 80 Mrd. € und aktuell Horizon Europe von 2021-2027 mit 95,5 Mrd. € Gesamtvolumen, Daten mit Stand Juni 2024: <https://cordis.europa.eu/projects/de>.

einer Beteiligung am Programm und seiner Ausgestaltung genannt. Siehe auch Tabelle 5 im Anhang mit einer Übersicht über alle EFP.

Dieses Kapitel stellt den Blick auf die HT-WP in den vergangenen EFP seit dem Jahr 2000 (4. bis 7. EFP) und den Wandel der Förderschwerpunkte in Bezug auf die Technik dar und wird in Abbildung 5 zusammengefasst.

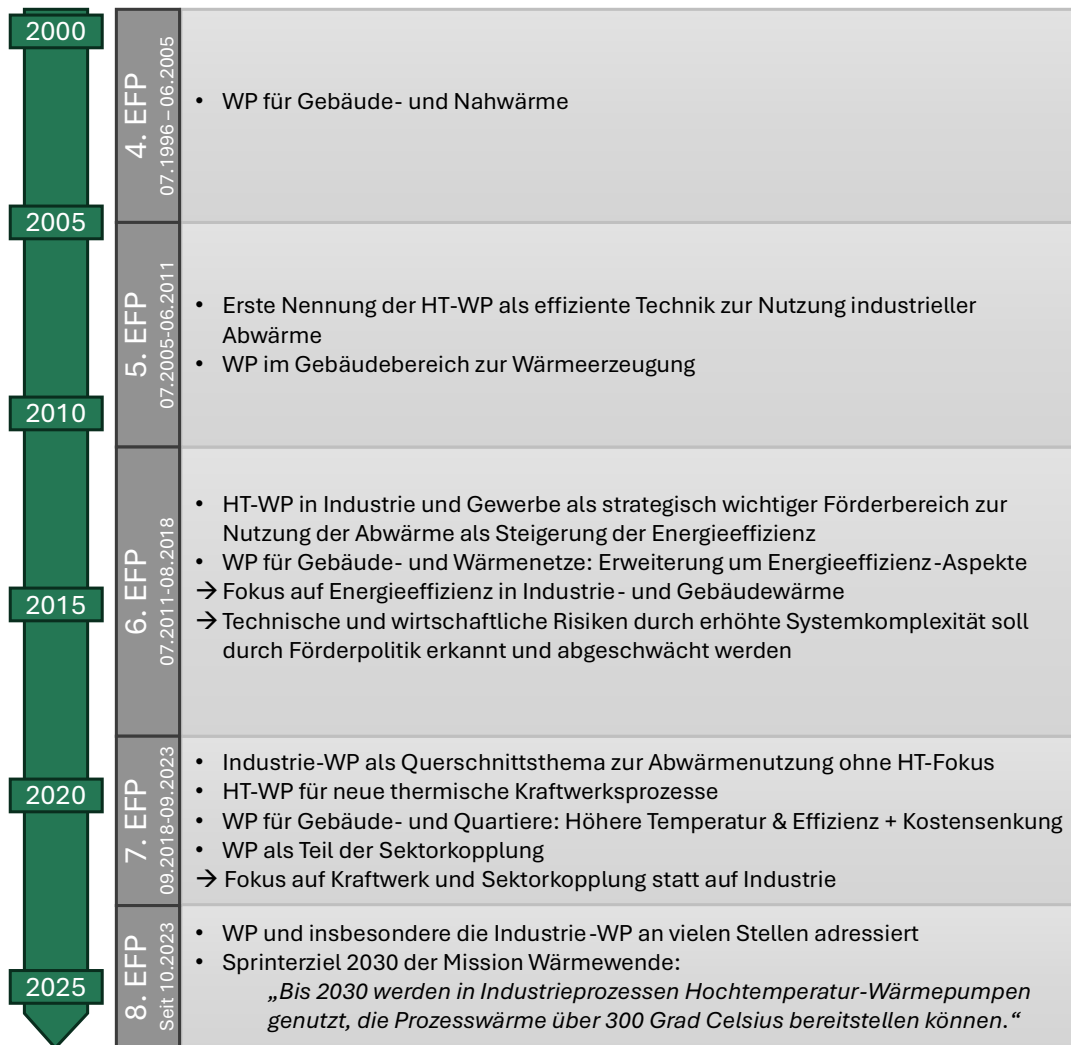


Abbildung 5: Verlauf der WP-Themen in den EFP seit 2000 mit wachsendem Fokus in den Gebäude- und Industrie-Wärmebereichen

Quelle: eigene Darstellung

Die Wärmepumpe wird im **4. EFP** generell als eine der neuen Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien bei der Bereitstellung von Wärme (z.B. Solarthermie, Wärmepumpen, Biomasse) genannt. In den Programmschwerpunkten tauchen verschiedene Wärmepumpen-Konzepte im Gebäudebereich auf (elektrische, verbrennungsmotorische und absorptive) sowie Gaswärmepumpen in Nahwärmekonzepten. Eine Nennung von Wärmepumpen erfolgt weder im industriellen Bereich noch im HT-Bereich. (BMW 2017)

Im **5. EFP** wird die HT-WP zum ersten Mal in einem EFP genannt, als Teil der Programmschwerpunkte der Energieforschung des damaligen BMWA zur rationellen Energieumwandlung zur Steigerung der Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe. Dort werden

effizientere Techniken zur Nutzung industrieller Abwärme (wie neuartige Wärmetauscher, Hochtemperaturwärmepumpe und Wärmespeicher) als Bestandteile der Schwerpunkte der Förderpolitik des 5. EFP genannt. Auch in den Bereichen energieoptimiertes Bauen und geothermische Technologien werden WP als innovative Konzepte der Wärmeerzeugung und -verteilung erwähnt, letztere als Teil der BMBF-Forschung. (BMW 2017)

Der Gebäudebereich für WP-Techniken wird im **6. EFP** erweitert um Energieeffizienzaspekte im Rahmen von effizienten Lüftungs- und Wärmepumpentechnologien. Auch im Energiesektor wird Effizienz im Rahmen von dezentralen Energiesystemen durch den Einsatz von Großwärmepumpen in der Fernwärme als auch durch thermisch angetriebene Wärmepumpen in der Abwärmenutzung und in der Fernkälte großgeschrieben. Statt der Geothermie wird nun in der Forschungsförderung des BMU jedoch die Niedertemperatur-Solarthermie in Verbindung mit der WP gebracht.

Im Bereich der Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe steigt die Nutzung der Prozessabwärme zum Schlüsselement zur Steigerung der Energieeffizienz auf. Dafür soll die ungenutzte Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau zu einer alternativen Energiequelle werden, und durch örtliche Speicher gespeichert, mittels WP aufbereitet oder in elektrische Energie umgewandelt werden. Dabei erkennt das Programm die erhöhte Komplexität in Konzeption, Aufbau und Betrieb der Anlagen an, um bis dahin ungenutzte Restenergie optimalerweise in einer „Energiekaskade“ zu Nutzenergie zu wandeln: *„Es gehört zu den zentralen Aufgaben der Förderpolitik, bei der Umsetzung der vorgegebenen Energieeinspar- und Klimaschutzziele solche technischen und wirtschaftlichen Risiken zu erkennen und abzufedern.“* (6. EFP). Somit werden die neuen Techniken zur Nutzung von Abwärme (HT-WP, Wärmespeicher und ORC) in den branchenübergreifenden strategisch wichtigen Förderbereichen aufgezählt. (BMW 2017)

Während des 6. EFP wurden die Forschungsnetzwerke Energie (FNE) als Teil der Energieforschung geschaffen, um wichtige Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zusammenzubringen. Im Jahr 2014 wurde das erste *Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren*⁶ gegründet. Das *Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe*, in dem auch die industriellen WP angesiedelt sind, wurde im Juni 2016 initiiert. Ziele des FNW IuG sind unter anderem Impulse für zukünftige Förderstrategien, Identifikation von Schlüsselthemen und Ideengebung an Politik und Forschung durch die breit aufgestellte Expertise der Kurator*innen von verschiedenen Forschungsfeldern. (FNW IuG 2017)

Das **7. EFP** erwähnt die WP nur generell als Querschnittsthema in Industrie und Gewerbe als weiterzuentwickelnde Technik zur Nutzung der Abwärme. Dazu sollen jedoch nicht nur Wärmepumpen, Wärmenetze und Wärmespeicher erforscht werden, sondern auch

⁶ <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/Monatsbericht/Monatsbericht-Themen/07-2015-forschungsnetzwerk-energie.pdf?blob=publicationFile&v=3> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

Verfahren zur Umwandlung der Abwärme in elektrische Energie. Der HT-Bereich der WP-Technologien wird nicht explizit erwähnt und es rücken andere Technologien in den Fokus der Abwärmenutzung.

Im Bereich der Wärme und Kälteversorgung von Gebäuden und Quartieren wird für WP Forschungsbedarf für neue Temperaturniveaus, weitere Effizienzsteigerungen und Kostensenkung identifiziert, auch in Verbindung mit Geothermie. Die dadurch entstehende zusätzlichen Stromnachfrage wird im Bereich der Windenergie gesehen und ein großer Ausbaubedarf an erneuerbaren Energien erkannt. Die einzige Erwähnung der HT-WP erfolgt im Bereich der Energieerzeugung als eines der zentralen Forschungsthemen von thermischen Kraftwerken, wo HT-WP neben großen thermischen Energiespeichern und innovativer Prozesstechnik einen wichtigen Beitrag zu bestehenden und neuen Infrastrukturen zur Wärmeversorgung leisten können.

Durch die Sektorkopplung in der Gebäudewärme von Strom zu Wärme über WP, rückt die WP-Technik auch dort in den Fokus. Es gilt die Technologien zur Sektorkopplung so zu entwickeln, dass die Stabilität des Energiesystems erhöht und die Kosten der Energiewende gesenkt werden. Dafür sollen einzelne Techniken wie WP, Bioenergieanlagen oder Speicher, auf einen flexiblen Einsatz in einem digital vernetzten Energiesystem vorbereitet werden. Die Sektorkopplung soll vor allem zu Synergien gegenüber dem getrennten Ausbau von Energieinfrastrukturen führen. Dadurch rückt der Fokus auf WP und HT-WP als Teil der Sektorkopplung in der Gebäudewärme sowie für neue Kraftwerksprozesse. Die Bereitstellung von Prozesswärme in Industrie und Gewerbe verliert im 7. EFP an Gewicht, während ihr Einsatz in Gebäude- und Quartierswärme stetig ausgebaut wird. (BMWi 2018)

Im neuen **8. EFP** sowie in der zugehörigen Förderbekanntmachung wird die WP und insbesondere die Industrie-WP an vielen Stellen adressiert. Während die Förderung der WP im Gebäudebereich etabliert ist, soll sie im 8. EFP auch in der Industrie eine breite Anwendung in verschiedenen Temperaturbereichen finden. Für die HT-WP ist ein explizites Sprinterziel 2030 in der Mission Wärmewende definiert. (BMWK 2023)

„Bis 2030 werden in Industrieprozessen Hochtemperatur-Wärmepumpen genutzt, die Prozesswärme über 300 Grad Celsius bereitstellen können.“

- Förderbekanntmachung zur angewandten Energieforschung im Rahmen des 8. Energieforschungsprogramms (BMWK 2024)

Dieses Sprinterziel ist jedoch ambitionierter als die aktuelle FuE-Entwicklung. Zu diesem Schluss kommt ebenfalls eine Studie des Fraunhofer ISI, laut der marktreife HT-WP bis zum Jahr 2035 wahrscheinlich Temperaturen bis 300 °C erreichen werden und HT-WP-Systeme bis 200 °C mit knapp 40 MW existieren können (Fraunhofer ISI 2024). Verlässlichkeit im Hinblick auf das Vorhandensein öffentlicher FuE-Förderung über ein individuelles Verbundvorhaben hinaus ist in diesem Kontext wichtig.

Das DLR-Institut für CO₂-arme Industrieprozesse hat im Projekts CoBra⁷ erfolgreich eine reverse Brayton-HT-WP in einer Pilotanlage mit trockener Luft als Arbeitsmittel getestet und dabei ein Temperaturniveau von 300 °C für eine Wärmeleistung von ca. 200 kW erreicht. Bis die Technik in den Markt kommt, werden weitere Jahre und Fördermittel benötigt. Das Projekt zeigt jedoch, welche zukünftigen Temperaturbereiche mit HT-WP abgedeckt werden könnten. Daher bleibt eine gezielte Technikförderung der HT-WP weiterhin vielversprechend. Bei Querschnittstechnologien gilt es zudem eine stärkere Marktdiffusion in weiteren Branchen zu erreichen. Besonders angewandte Förderprogramme wie das EFP können neue Technologien aus dem Forschungsstadium in die Marktreife bringen. Dies wurde mithilfe von Befragungen genauer untersucht (siehe Kapitel 7).

4.2 Förderung der FuE-Arbeiten im EFP

Im Rahmen des EFP zeigt die Darstellung der anteiligen Förderung der FuE-Arbeiten zu HT-WP mit Industriebezug einen stetigen Zuwachs an Projekten. Folgender Graph zu industriellen HT-WP in der EFP-Förderung verdeutlicht, dass die Fördermittelbeträge eher klein ausfallen und sich meist im Bereich von 100 bis 500 Tsd. € bewegen. Gleichzeitig erhielten einige wenige Projekte mehrere Mio. €, sodass verschiedene Scale-ups der Technik in den Projekten zu erwarten ist, von Labormaßstab über Pilotanlagen bis hin zu Demonstrationsprojekten. Gleichzeitig ist eine steigende Anzahl an Projekten zu beobachten, wobei immer größere Verbünde entstehen. Allerdings gibt es auch einzelne Projektnehmer und kleine Mikroprojekte⁸, die von diesen Fördermitteln profitieren.

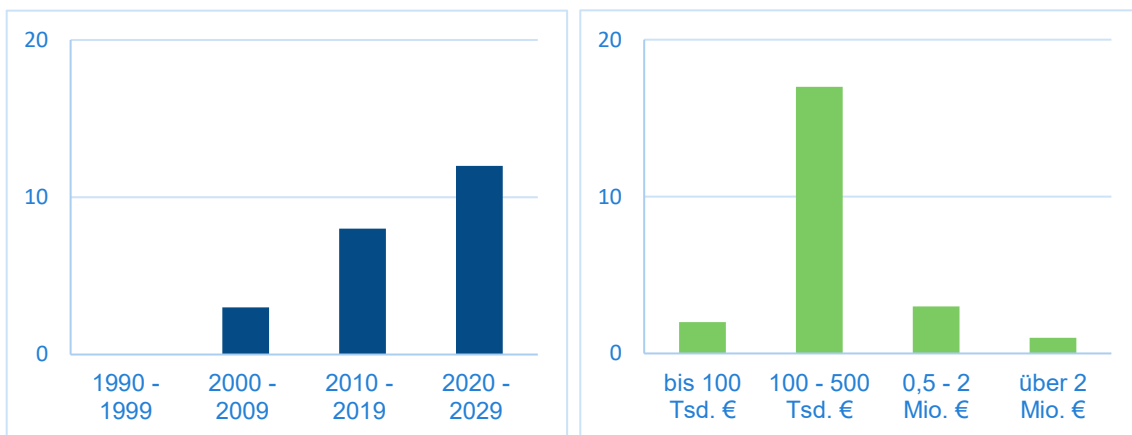


Abbildung 6: Anzahl der Förderprojekte zu HT-Wärmepumpen im Energieforschungsprogramm aufgeteilt nach Jahrzehnten (links) und nach Fördersummen (rechts)

Quelle: eigene Darstellung ausgewählter PtJ-Projektdatei zu HT-WP im EFP in Industrie und Gewerbe (Stand November 2023)

⁷ <https://www.dlr.de/de/aktuelles/nachrichten/2022/03/cobra-unterstuetzt-waermewende-in-der-industrie> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

⁸ Mikroprojekte können als Vorprojekte mit einer Laufzeit von 6 Monaten in einem einstufigen Verfahren beantragt werden, um beispielsweise Innovationsideen und größere Verbundprojekte vorzubereiten: <https://www.energieforschung.de/foerderung/foerderangebote/foerderkonzept-mikroprojekte> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

Auch hier sind einige Projekte eher dem Gebäudebereich zuzuordnen oder haben Nutzttemperaturen weit unter 100 °C. Eine Auswahl der Projekte, die gemäß der IEA-Definition den HT-WP zugeordnet werden können, reduziert die Projekte auf insgesamt 14. Eine tiefere Analyse dieser Projekte, basierend auf den veröffentlichten Projektberichten, liefert zusätzliche Einblicke in die spezifischen Ergebnisse.

4.2.1 Förderung in den 2000er Jahren

Ein Auftragen der Projekte über die Zeit, wie in Abbildung 7, zeigt die Förderung der Projekte zu HT-WP in den verschiedenen EFP. Die ersten drei Projekte zwischen den Jahren 2001-2003 zeichneten sich im weiteren Verlauf als nicht erfolgreich ab und die beteiligten Firmen wie FKW und Verum GmbH haben sich in den nachfolgenden Jahren aufgelöst. Dies kann auch an dem fehlenden Fokus des 4. EFP liegen, das WP nur im Gebäude- und Fernwärmebereich erwähnt und somit weder den HT-Bereich noch die industrielle Nutzung explizit förderte.

Anschließend kam es zu einer größeren Lücke in der Förderung der HT-WP zwischen 2004-2009, obwohl die HT-WP als Technik zum ersten Mal im 5. EFP erwähnt wird und dort ihr aussichtsreicher Einsatz in der Nutzung industrieller Abwärme erkannt wird. Jedoch fielen gerade in den 2000er Jahren die vorhandenen Förderbudgets im Effizienzbereich sehr gering aus (Lösch et al. 2024). Somit konnte trotz des absehbaren Potenzials der industriellen WP, die Technologie aufgrund knapper Fördermittel möglicherweise erst gegen Ende des 5. EFP weiter gefördert werden.

Eine lückenlose und kontinuierliche Förderung einer einzelnen Technologie kann der TRL dieser vorantreiben und dabei unterstützen, sowohl Technologie als auch FuE-Beteiligte nachhaltig im Markt zu etablieren. Gleichzeitig ist nicht nur die Struktur des EFP und sein Fokus auf bestimmte Techniken entscheidend, sondern auch ein entsprechend großer Fördermitteltopf, mit dem alle aussichtsreichen Techniken angemessen gefördert werden können. Die negative Entwicklung der genannten Firmen könnte sich auch aus der nachfolgenden schlechten Wirtschaftsentwicklung sowie geringen Gaspreisen und fehlenden Effizianzanreizen ergeben haben oder auf internes Missmanagement bzw. andere Faktoren zurückzuführen sein. Dies gilt es durch Interviews tiefergehend zu untersuchen.

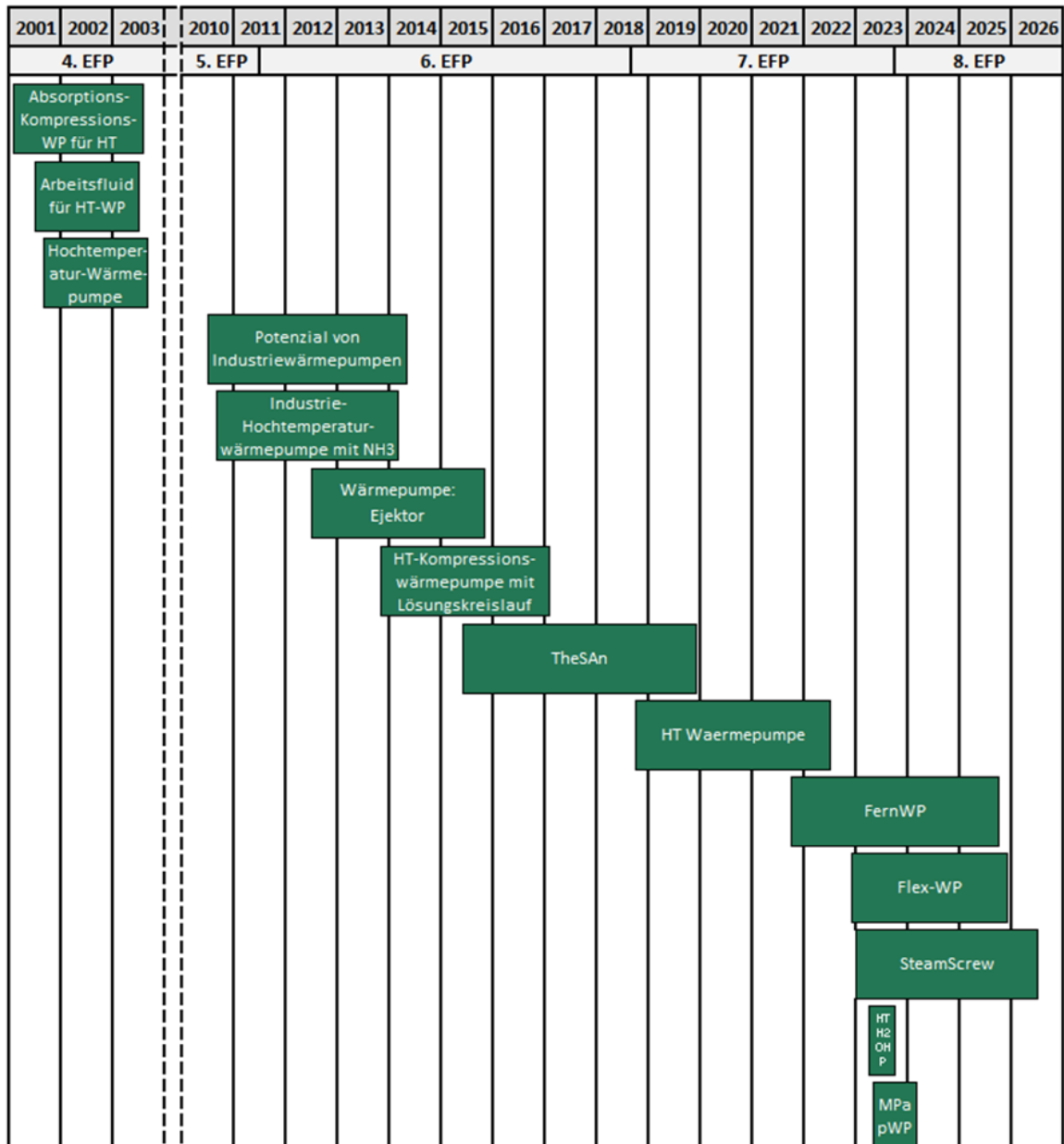


Abbildung 7: Übersicht & Zeitachse geförderter FuE-Projekte im EFP zu HT-WP

Quelle: eigene Darstellung ausgewählter PtJ-Projektdateien zu HT-WP im EFP in Industrie und Gewerbe (Stand November 2023)

4.2.2 Förderung in den 2010er Jahren

Nachfolgend ist in Tabelle 1 beispielhaft ein Projektsteckbrief zur *Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH₃* für den Förderzeitraum der 2010er Jahre gezeigt. Weitere exemplarische Projektsteckbriefe für andere Förderzeiträume befinden sich im Anhang.

Im Vergleich zu den 2000er Jahren war die Förderung in den 2010er Jahre erfolgreich (*Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH₃* (2010-2014) und *Wärmepumpe: Ejektor* (2012-2015)), sodass die beteiligten Firmen wie ENGIE (vormals thermea) und SHRT mittlerweile WP im höheren Temperaturbereich vermarkten. GEA hat auf Basis seiner etablierten Schrauben- und Kolbenverdichter ebenfalls WP-Systeme entwickelt. Zudem

kamen von den wissenschaftlichen Projektpartnern einige Veröffentlichungen auf Basis der Projektergebnisse zustande, insbesondere der TU Braunschweig sowie der Universität Hannover.

Das 6. EFP bezeichnete die HT-WP in Industrie und Gewerbe als strategisch wichtigen Förderbereich zur Nutzung der Abwärme und zur Steigerung der Energieeffizienz (siehe Kapitel 4.1). Zudem werden in diesem EFP die Unsicherheiten und Risiken dieser neuen Technik durch ihre erhöhte technische Systemkomplexität erwähnt, die durch eine passende Förderpolitik erkannt und abgeschwächt werden sollen. Damit könnte das 6. EFP die Grundlage für eine angemessene Förderung der HT-WP gelegt haben, sodass sich die HT-WP als Effizienztechnik etabliert hat.

Das 7. EFP sieht die Industrie-WP als Querschnittsthema für die Abwärmenutzung, ohne jedoch einen HT-Bereich explizit zu erwähnen. Dieser taucht stattdessen im Bereich der thermischen Kraftwerksprozesse auf. Dies kann ein Grund sein, warum nur ein Projekt zur industriellen HT-WP am Anfang des 7. EFP gefördert wurde (*HT Waermepumpe* von AGO, siehe Projektsteckbrief in Tabelle 8 im Anhang). Dieses verlief jedoch sehr erfolgreich und AGO konnte mehrere Patente anmelden und die HT-WP als weiteres Standbein (Marke *Calora*) etablieren, mit positiver Marktentwicklung durch viele Anfragen von Industrie und Stadtwerken. Dabei sind die WP der Serie *AGO Calora* Industrie-, Groß- und HT-Wärmepumpen mit 500-10.000kW Leistung, die Wärmequellen bei Temperaturen von -10 °C bis 90 °C auf Senktemperaturen von 50 °C bis 150 °C erhöhen können.

Veröffentlichungen und Patente könnten ein Indikator für den Erfolg eines Projekts sein. Dabei ist zu beachten, dass diese oft erst im Nachgang des Projekts entstehen. Damit kann die Förderung als Anschub der wissenschaftlichen Forschung und industriellen Innovation gesehen werden, um neue Ideen in die Anwendung zu bringen. Die anschließende Verwertung der Ergebnisse in Veröffentlichungen, Patenten und Vermarktungen geschieht dann ohne zusätzliche Finanzierung, da der potenzielle wirtschaftliche Wert der ursprünglich unsicheren Idee mittlerweile klarer geworden ist. Dies soll in einer zukünftigen Technikanalyse zur HT-WP mit Hilfe von Patent- und Publikationsanalysen genauer untersucht werden.

Tabelle 1: Projektsteckbrief zum EFP-Verbundprojekt HT-Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreislauf von SHRT, IFT-Hannover, FKW und Continental

Hochtemperatur-Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreislauf			
Verbund	STEFFEN HARTMANN RECYCLINGTECHNOLOGIEN GMBH (SHRT) im Lead mit Institut für Thermodynamik der Leibniz-Universität Hannover (IFT-Hannover) und Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH (FKW) sowie Anwender Continental GmbH im Unterauftrag		
	11.2013 – 01.2017	50 % FQ	746.043€ FS
Ziel	Attraktive WP mit Nutztemperatur zwischen 80-110 °C und hohem Temperaturhub (Quelle zw. 40-60 °C) mit 100 kW Heizleistung und COP 3-4 bei Verwendung eines natürlichen Kältemittels und Standardkomponenten Bestimmung optimaler Zusammensetzung des Ammoniak-Wasser-Öl Gemischs und Verhalten des Öls (Schäumung, Alterung) für HT-WP mit Nutztemperaturbereich von 80-100 °C und 100kW Leistung		
Wärmepumpe	WP aus Standardkomponenten wie Schraubenverdichter und Flüssigkeitspumpe (Hybrid-Prozess aus Kompressions- und Absorptionskreislauf) mit natürlichem Kältemittel für breite Anwendungsbereiche		
Hersteller	SHRT: Pilotanlage im Demonstrationsprinzip		
Anwender	SHRT statt bei ursprünglich geplantem Industriepartner Continental, um Aufwendungen zu sparen: Demonstrationsanlage im Technikumsmaßstab mit ca. 100 kW thermischer Leistung → Erprobung bei Continental jedoch nachholend vorgesehen		
Technische Daten⁹	Temperatur: 80-110 °C	Kältemittel: Ammoniak-Wasser mit Schmierstoff	COP: 3-4 Leistung: 100 kW
Ergebnis	Auslegung des Konzepts auf Kunden im KMU-Bereich ohne Subventionen der Energiepreise mit schwankenden Quellen und Senken wie (z.B. Recyclinganlagen) → Flexibilität und Energieeffizienz zeigen für Wirtschaftlichkeit Neues Schmiermittel als geeignetes Öl für Verdichter mit verbessertem Verdichter-/Abscheiderkonzept erfolgreich erprobt; Ausführung einiger Komponenten für höhere Druckstufe als geplant; sicherheitstechnische Einordnung durch Ammoniak Einsatz erforderten aufwendige Steuerungskorrekturen → Grundlagen geschaffen eine Anlagen-generierung von HT-WP für Industrie 4.0 mit Sicherheitsstandards und modularem Aufbau für absehbare hohe Bedeutung der HT-WP		
Publikationen	Kabelac, S; Hartmann, K.-H.; Kruse, H.; Tokan, T.; Loth, M.; Stegmann, J.; Markmann, B. (2018): Experimental Results of an Absorption-Compression Heat Pump using the Working Fluid Ammonia/Water for Heat Recovery in Industrial Processes. International Journal of Refrigeration. 99. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.10.010		
Entwicklung	SHRT bietet aktuell industrielle Kühlung und Wärmepumpentechnik an ¹⁰		

Quelle: (Hartmann et al. 2017), Nachfolgende Entwicklung auf Basis eigener Internet-Recherchen

⁹ Genaue Daten sind vertraulich und nicht im öffentlichen Projektbericht aufgeführt

¹⁰ <https://www.steffenhartmann.info/de/das-unternehmen.html> (Stand Juni 2024)

4.2.3 Förderung in den 2020er Jahren

Für neuere Projekte sowie laufende Vorhaben liegen noch keine Ergebnisse in Form von Berichten oder Produkten vor. Jedoch laufen zurzeit drei größere Verbundprojekte, so dass ein weiterer Sprung in der Entwicklung zu höheren Temperaturbereichen und Leistungen zu erwarten ist. Dabei setzt das 8. EFP im Vergleich zum 7. EFP wieder einen stärkeren Fokus auf den HT-Bereich der industriellen WP und formuliert dafür ein klares Sprinterziel für die HT-WP.

Die Übersicht in Tabelle 2 zeigt die Entwicklung der Technik über die letzten zwei Jahrzehnte im Rahmen des EFP. Dabei ist ein stetiger Anstieg des Temperaturbereichs und der Leistungen abzulesen. Das laufende Projekt SteamScrew möchte bereits Senktemperaturen bis 200 °C und Leistungen bis 10 MW erreichen. Zudem sind im Jahr 2024 die Projekte WinPro und IndHP2Chem gestartet, die beide die Integration von industriellen (HT-)WP in der Chemieindustrie erzielen möchten. Das neue Projekt E-Fryer möchte die Abwärme von industriellen Fritteusen mit integrierten HT-WP (COP 2,5) auf Prozesswärme von 190 °C für die Fritteusen aufwerten¹¹. Alles sind Verbundvorhaben aus Forschungsinstitutionen und Industrieunternehmen. Weitere Projekte setzen den Fokus auf Teilkomponenten der WP, wie das Verbundvorhaben HoVAG, in dem die Effizienz von Rohrbündelverdampfern für (HT-)WP großer Leistung erhöht werden soll. Im Projekt CHASE die Kombination von HT-WP mit Latentwärmespeichern untersucht.

Tabelle 2: Verlauf der Projekte in Bezug auf Temperaturbereich, Temperaturhub, Leistung und COP

Ausgewählte Projekte	Laufzeit	Quell-T [°C]	Senk-T [°C]	T-Hub [K]	Leistung	COP	Quelle
Absorptions-Kompressions-WP für HT	02.2001-07.2003	42	70	28	27 kW	4,2	Abschlussbericht (FKW GmbH 2003)
Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH ₃	09.2010-02.2014	31,6	70,8	39	430 kW	4,2	Abschlussbericht (Brauer et al. 2014)
HT-Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreislauf	11.2013-01.2017	-	80-110°C	-	100 kW	3-4	Abschlussbericht, genaue Daten vertraulich (Hartmann et al. 2017)
HT Waermepumpe	10.2018-06.2022	-	bis 140	-	ca. 1 MW	-	Abschlussbericht, weitere Werte geheim (Ramming 2022)
SteamScrew	01.2023-06.2026	80-100	bis 200	bis 120	bis 10 MW	-	Ziel-Werte aus Projektantrag ¹²
Mikroprojekt: HT-H ₂ O-HP	04.2023-09.2023	45-80	200-250	150-200	-	2-6	Ziel-Werte aus Projektantrag ¹³

Quelle: Abschlussberichte bei abgeschlossenen Projekten und enArgus bei laufenden Projekten

¹¹ <https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/?op=enargus.eps2&q=%2201276595/1%22> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

¹² <https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/?op=enargus.eps2&q=steamscrew&v=10&id=20290808> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

¹³ <https://www.enargus.de/detail/?id=26468524> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

4.2.4 Übersicht der geförderten Hersteller

Tabelle 3 gibt, zusammenfassend aus den Projektsteckbriefen, eine Übersicht über sechs geförderte Hersteller aus insgesamt sieben abgeschlossenen EFP-Projekten zu HT-WP, ihre Fördersummen (FS) und -Förderquoten (FQ) sowie ihren aktuellen Stand bzgl. WP-Serien im HT-Bereich. Dabei ist zu sehen, dass es bereits mit geringen Fördersummen zwischen 150-750 Tsd. € gelungen ist, die Überführung einer spezifischen Technik in die Anwendung zu unterstützen und langfristig neue Produktserien in den Markt zu bringen.

Tabelle 3: Ausgewählte Hersteller aus abgeschlossenen EFP-Projekten mit Vorhabenbeginn in den Jahren 2000-2018 und ihr aktueller Stand (Juni 2024) bzgl. HT-WP

Hersteller	Projekttitle	Laufzeit	Förder-summe	Aktueller Stand
Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH (FKW)	Absorptions-Kompressions-WP für HT	02.2001 – 07.2003	172.155 €	FKW wurde 2009 Teil der FH Hannover und 2020 aufgelöst (evtl. anderes Institut)
	Arbeitsfluid für HT-WP	07.2001 – 06.2003	131.184 €	
Verum GmbH	Hochtemperatur-Wärmepumpe	09.2001 – 08.2003	255.208 €	Verum wurde 2013 aufgelöst
Dürr thermea GmbH (heute: ENGIE)	Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH ₃	09.2010 – 02.2014	250.201 €	thermeco ₂ -Wärmepumpenserie für HT-Bereich ¹⁴
	Wärmepumpe: Ejektor	07.2012 – 10.2015	203.508 €	
GEA Refrigeration Germany GmbH (GEA)	Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH ₃	09.2010 – 12.2013	283.839 €	WP-Serie GEA Grasso XHP mit GEA-Verdichtern ¹⁵
STEFFEN HARTMANN RECYCLINGTECHNOLOGIEN GMBH (SHRT)	HT-Kompressions-Wärmepumpe mit Lösungskreislauf	11.2013 – 01.2017	746.043 €	Angebot an industrieller Kühlung und WP-Technik ¹⁶
AGO AG Energie + Anlagen (AGO)	HT Waermepumpe	10.2018 – 06.2022	483.109 €	WP-Serien Calora ¹⁷ (HT)
6 geförderte Hersteller	7 Projekte zu HT-WP und ihre Bestandteile	3 – 4 Jahre	150.000 – 750.000 €	Mehrere WP-Serien

¹⁴ <https://www.engie-refrigeration.de/de/waerme/thermeco2-hochtemperaturwaermepumpen> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

¹⁵ <https://www.gea.com/de/news/trade-press/2022/gea-at-chillventa-grasso-l-xhp-v-xhp/> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

¹⁶ <https://www.steffenhartmann.info/de/das-unternehmen.html> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

¹⁷ <https://www.ago-energie.de/thermotechnik/ago-caldora-industriewaermepumpe/> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

Quelle: eigene Darstellung, IREES, ausgewählte PtJ-Projektdateien zu HT-WP (Stand November 2023) sowie eigene Internet-Recherchen zum aktuellen Stand der Hersteller (Stand Juni 2024)

In den 2010ern geförderte Unternehmen sind mittlerweile erfolgreiche Hersteller im Wärmepumpenbereich und erschließen kontinuierlich immer höhere Prozesswärmebereiche. So wird durch die Energietechnologie HT-WP nicht nur ein immer größeres Effizienzpotenzial durch Abwärmenutzung erschließbar, sondern auch perspektivisch die Dekarbonisierung der Energieversorgung in Branchen mit Wärmebedarfen bis 200 °C signifikant unterstützt. Die Projektförderung im Verbund von Forschungseinrichtung, Hersteller und Anwender hat sich somit als erfolgreiches Konzept erwiesen, um den wissenschaftlichen und innovativen Fortschritt voranzutreiben und einen Markteintritt zu ermöglichen.

4.2.5 Entstehung von Innovationsverbänden

Im Laufe der Jahre haben sich von den insgesamt 14 betrachteten Projekten einige FuE-Beteiligte an mehreren Projekten zusammen beteiligt, wodurch verschiedene Innovationsverbände entstehen konnten:

- Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH (FKW) & Institut für Thermodynamik der Bundeswehr-Universität Hamburg (IfT-Hamburg)
 - Absorptions-Kompressions-WP für HT (2001-2003)
 - Arbeitsfluid für HT-WP (2001-2003)
- Dürr thermea GmbH (heute ENGIE) & GEA Refrigeration Germany GmbH
 - Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH₃ (2010-2014)
 - Wärmepumpe: Ejektor (2012-2015) – Projekt nutzt GEA-Verdichter (indirekte Beteiligung)

Anfang der 2000er Jahre waren insbesondere FKW und das IfT-Hamburg zusammen aktiv. FKW wurde im Jahr 2009 Teil der Fachhochschule Hannover (FHH)¹⁸ und führte ein weiteres Projekt zur *HT-Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreislauf* von 2013-2017 durch. Im Jahr 2020 wurde FKW aufgelöst oder evtl. Teil eines anderen Instituts – der Werdegang des Forschungszentrums ist unklar¹⁹.

Anfang der 2010er Jahre traten Dürr thermea und GEA als bedeutende Akteure gemeinsam auf. Erst in dem gemeinsamen Projekt *Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH₃* und anschließend nutzte das Projekt *Wärmepumpe: Ejektor* einen GEA-Verdichter ohne dass GEA direkt in dem Projekt beteiligt war. ENGIE Refrigeration übernahm im Jahr 2018, die CO₂-Hochtemperatur-Wärmepumpen-Aktivitäten von Dürr thermea, nachdem

¹⁸ <https://www.diekaelte.de/sonstiges-thema/neues-institut-der-fachhochschule-hannover-fkw-hannover-als-institut-uebernommen> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

¹⁹ <https://www.northdata.de/Forschungszentrum+f%C3%BCr+K%C3%A4ltetechnik+und+W%C3%A4rme-pumpen+GmbH,+Hannover/HRB+1821> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

diese kurzzeitig der Hafner-Muschler Kälte- und Klimatechnik GmbH übertragen wurden²⁰. Nach der Übernahme kam es in den 2020er Jahren bisher zu keinen weiteren Überschneidungen an EFP-Projekten zwischen ENGIE und GEA. Jedoch vermarkten beide Unternehmen mittlerweile eigene HT-WP-Serien, sodass sie sowohl voneinander als auch von Fördermitteln unabhängig geworden sind und möglicherweise eher in Konkurrenz zueinander stehen.

Die Förderung von mehreren Projekten gleichzeitig zu einer Technologie hat sich bewährt, um so ihre Entwicklung effizient voranzutreiben. Dies kann jedoch nur nachhaltig geschehen, solange es zu keinen Förderlücken wie zwischen den Jahren 2004-2009 kommt, da sich die Anfang der 2000er Jahre geförderten Unternehmen nicht im Markt etablieren konnten und sich später auflösten. Die Förderlücken betreffen sowohl die strategisch ausgewiesenen Techniken eines EFP als auch passende Fördermittelsummen. Dabei könnten eingespielten Verbünde wie Dürr thermea und GEA, die in mehreren Projekten zusammen und mit weiteren Partnern arbeiteten, eine Schlüsselrolle zukommen. Beide Unternehmen konnten zusammen eigene WP-Serien entwickeln und vermarkten, wobei die HT-WP-Sparte von Dürr thermea erfolgreich bei ENGIE eingegliedert wurde.

Auch zukünftig sollten Verbünde gefördert werden, die mittels anwendungsnaher FuE höhere Nutztemperaturbereiche und/oder neue Anwendungen sowie Branchen erschließen möchten, um die Marktdiffusion der Technologie zu erhöhen und ihre Effizienzpotenziale auszunutzen. Das Sprinterziel des 8. EFP zum Erreichen von Prozesswärme von 300 °C durch HT-WP bis 2030 ist sehr ambitioniert und kann nur mit erheblichen zusätzlichen FuE-Anstrengungen möglicherweise erreicht werden. Daher müssten auch konkret für diesen Bereich entsprechende Fördermittel vorgehalten werden. Neben der Förderung der HT-WP als Gesamtkonzept, ist auch die Weiterentwicklung essenzieller Komponenten wie Verdichter und Kältemittel erforderlich. Verlässlichkeit im Hinblick auf das Vorhandensein öffentlicher FuE-Förderung über ein individuelles Verbundvorhaben hinaus ist in diesem Kontext wichtig.

²⁰ https://www.kka-online.info/artikel/kka_CO2-Anlagen_tech_nik_von_Duerr_thermea_uebernommen-2996989.html & <https://www.engie-refrigeration.de/de/presse/engie-refrigeration-staerkt-position-im-bereich-der-waermenutzung> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

5 Innovationssystem der HT-Wärmepumpe in Deutschland

Das Konzept des Technik-Innovationssystems zeigt auf, dass der Technologie- und Informationsfluss zwischen Menschen, Unternehmen und Institutionen der Schlüssel zu einem innovativen Prozess ist. Es umfasst die Interaktionen zwischen den erforderlichen Akteuren, um eine Idee in eine Technologie oder ein Verfahren auf dem Markt umzusetzen. (Carlsson und Stankiewicz 1991)

Das Innovationssystem der HT-WP ist in Tabelle 4 gezeigt. Die HT-WP hat den Eintritt in viele Erstanwendermärkte in Deutschland gefunden, nachdem ihre *Forschung und Entwicklung* durch BMW, BMBF und EU vorangetrieben wurde (vgl. Kapitel 3.1 und 3.2). Insbesondere durch das EFP wurde in Verbundprojekten mit Konsortien aus angewandten Forschungsinstituten, Herstellerunternehmen und potenziellen Anwendern eine Reihe von Pilotanlagen und ersten kommerziellen Anlagen gefördert. (vgl. Kapitel 3.2 und 3.3). Zudem hat der Bundesverband Wärmepumpen e.V. HT-WP in seinen Kompetenzbereich eingegliedert. Mittlerweile haben einige *Hersteller*, sowohl KMU als auch Großkonzerne, die Technologie in ihre Produktion aufgenommen, wie ENGIE und Siemens Energy, sodass zukünftig ein Kosten- und Entwicklungswettbewerb zu erwarten ist.

Durch die gestiegenen Energiepreise gibt es mehr Anreize für *Anwender*, am Standort anfallende Abwärme vor Ort zu nutzen, da Abwärme vermehrt wirtschaftlich nutzbar wird und HT-Wärmepumpen somit in Deutschland ein großes Marktpotenzial verleihen. Dennoch konnten bis ins Jahr 2023 erst 60 MW Leistung an Großwärmepumpen (WP mit mind. 500 kW pro Einheit) installiert werden, aufgrund von umfassenden Planungs- und Genehmigungsverfahren sowie Fehlanreizen wie durch das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) und weiteren Gesetzen sowie höhere Abgaben auf Strom im Vergleich zu Erdgas²¹. Diese Fehlbegünstigungen bremsen den Markthochlauf, jedoch könnten sie durch eine Reform der Förderlandschaft und durch gezielte Maßnahmen und Anreize beseitigt werden, um die Nachfrage und somit ebenfalls die Marktdiffusion zu erhöhen. (Agora Energiewende und Fraunhofer IEG 2023; Agora Industrie und FutureCamp 2022).

Der *Ordnungsrahmen* für die Diffusionsförderung durch Aufnahme in Policy-Kontexten ist angelaufen, u. a. in Form von Investitionsförderprogrammen des Bundes. Die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) zählt explizit Wärmepumpen als Fördergegenstände in Industrie und Gewerbe auf und die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) fördert Großwärmepumpen für die Fernwärme.

²¹ KWK-Anlagen profitieren auch nach der Abschaffung der allgemeinen EEG-Umlage und den KWK- sowie Offshore-Umlagen für WP weiterhin von mehreren Steuerbefreiungen im Vergleich zu WP-Anlagen: Steuerentlastungen für in KWK-Anlagen eingesetztes Erdgas oder andere Brennstoffe (§53a EnStG), Befreiungstatbestände bei der Stromsteuer für mit KWK erzeugten Strom (§ 9 StromStV), Förderung für KWK-Strom für den Eigenverbrauch oder die allgemeine Netzversorgung (§ 7 KWKG), Eigenverbrauchsstrom wird von Netzentgelten und Netzzulagen weitgehend befreit und zum Teil für die vermiedene Netznutzung vergütet (§ 18 StromNEV), während hocheffiziente KWK-Anlagen vollständig von Energiesteuern befreit sind. (Agora Industrie und FutureCamp 2022).

Tabelle 4: Auswahl zentraler Akteure im Bereich HT-WP in ihrem Innovationssystem

Forschungsförderung und Diffusionsförderung (Auswahl) <ul style="list-style-type: none"> • BMW-Energieforschungsprogramm mit Forschungsfeld zu Wärmepumpen- und Kältetechnik im Forschungsnetzwerk Energie in Industrie und Gewerbe (FNW IuG) • Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) für KMU bei der AIF • EU-Kommission Forschungsrahmenprogramm (Horizon 2020, jetzt Horizon Europe) • DFG-Forschungsförderung • Bundesförderprogramme für Energieeffizienz-Investitionen, z.B. für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) und für effiziente Wärmenetze (BEW) 	
Wissenschaft und angewandte Forschung (Auswahl) <ul style="list-style-type: none"> • DLR-Institute für Technische Thermodynamik und für CO₂-arme Industrieprozesse • Fraunhofer-Institute für Energieinfrastrukturen und Geothermie (Fh IEG) und für Solare Energiesysteme (Fh ISE) • TU Dortmund, Universität Stuttgart, KIT Karlsruhe, RWTH Aachen • Hochschule Karlsruhe (HKA) 	
Hersteller von HT-WP (Auswahl) Konzerne, Großunternehmen <ul style="list-style-type: none"> • Siemens Energy • Atlas Copco Mittlere, spezialisierte Hersteller <ul style="list-style-type: none"> • ENGIE • GEA Refrigeration Germany • AGO GmbH Energie + Anlagen 	Intermediäre (Auswahl) <ul style="list-style-type: none"> • Normung durch DIN und VDI-Richtlinien (z.B. DIN EN 378) • Contracting-Unternehmen wie Uniper, ENGIE, Iqony und ICS Cool Energy • Risikokapital-Unternehmen • Fortbildungs-Institutionen wie VDI
Anwender von HT-WP (Auswahl) Industriebranchen und branchenspezifische Anwendungen: <ul style="list-style-type: none"> • Nahrungsmittelindustrie (Sterilisieren, Trocknen, Pasteurisieren, Kochen, Eindampfen) • Papierindustrie (Bleichen, Kochen, Trocknen) • Chemieindustrie (Sieden, Aufkonzentrieren, Destillieren, Kochen) • Textilindustrie (Waschen, Trocknen, Färben) • Holzindustrie (Pressen, Trocknen) • Trocknungsprozesse in Metallverarbeitung, Gummi und Kunststoff sowie Maschinenbau 	

Quelle: eigene Darstellung, IREES

Auch *Intermediäre* wie Normungsgeber, Risikokapital- und Contracting-Unternehmen sind aktiv, befinden sich aber weiterhin im Aufbau, um höhere Temperaturbereiche abzudecken. Der VDI hat eine neue Richtlinie für Großwärmepumpen für Gewerbe, Industrie und Quartiere im Entwurf veröffentlicht (VDI 4646 E)²². Zudem gibt es ein wachsendes Angebot an *Fortbildungen* zu Industrie-WP z.B. beim VDI. Zudem wurde die Technik in die Inhalte von Industrieabwärme-Beratungen und -Weiterbildungen aufgenommen.

Gleichzeitig sind auch andere Industrieländer stark in der Entwicklung von WP-Technologien vertreten und bauen ihren HT-Bereich aus. Insbesondere Japan, Norwegen und

²² <https://www.vdi.de/news/detail/grosswaermepumpen-fuer-gewerbe-industrie-und-quartiere> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

Frankreich zeigen starke Herstellerlandschaften (siehe Kapitel 4.2). Somit ist auch auf globaler Ebene ein Wettbewerb zu erwarten. Dieser wird jedoch durch internationale Unterschiede in den Sicherheitsbestimmungen und Genehmigungsverfahren erschwert, vor allem aufgrund toxischer Kältemittel (ACEEE 2024). Daher sind internationale Übereinkommen sowie Vereinheitlichungen (z.B. zu Kältemitteln) essenziell für den Außenhandel und die globale Entwicklung der deutschen WP-Technologien.

Neben dem neuen 8. EFP wird die HT-WP auch im kombinierten Förderprogramm *Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft* von BAFA und KfW im Rahmen der Förderung des *Modul 4: Energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen – Premiumförderung und Dekarbonisierungsbonus*²³ gefördert. Somit wurde ihre Schlüsselrolle und ihr Potenzial für eine Dekarbonisierung der Prozesswärme erkannt. Daher gilt es eine steigende Zahl an Projekten zu fördern, die die Nutzttemperaturen der HT-WP erhöhen und ihre Anwendung in weiteren Branchen ermöglichen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Zahl der Hersteller- und Anwenderunternehmen in Deutschland stetig ansteigt. Gleichzeitig wachsen auch die Intermediäre und der Ordnungsrahmen mit, während Wissenschaft und Forschung kontinuierlich neue Temperaturbereiche erreichen. Das Zusammenspiel der Akteure ist exemplarisch in Abbildung 8 aufgezeigt. Somit ist das Innovationssystem bereits aufgebaut und aktiv, befindet sich jedoch weiterhin in der Entwicklung, um zusätzliche Anwendungen und Temperaturen zu erschließen. Weiterhin ist es essenziell, Resilienz durch Technologieinnovationen aufzubauen und den technischen Entwicklungsvorsprung zu bewahren und weiter auszubauen, um im globalen Wettbewerb bestehen zu können.

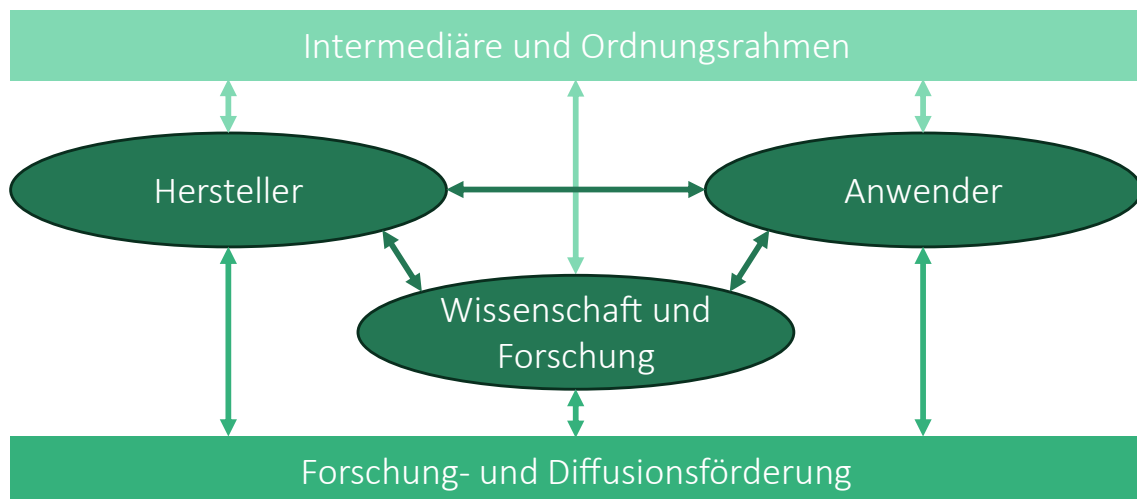


Abbildung 8: Vernetzung und Zusammenspiel der Akteure für Innovationsfortschritt

Quelle: eigene Darstellung, IREES

²³ https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/Modul4_Energiebezogene_Optimierung_Premiumfoerderung/modul4_energiebezogene_optimierung_premiumfoerderung_node.html (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

6 Hemmnisse

Die Anwendung von HT-WP erfolgt oft in Industrieprozessen mit bestehenden Strukturen, die bislang mit der Produktion wuchsen und ausgelegt wurden. Dabei treten neben technischen oft auch infrastrukturelle Hemmnisse wie Platzmangel sowie Hygiene- und Sicherheitsstandards (vor allem im Lebensmittel- und Pharmabereich) auf. Zudem müssen externe Restriktionen in Bezug auf die Netzversorgung und die Emissionswirkung des noch zu dekarbonisierenden Stroms überwinden werden.

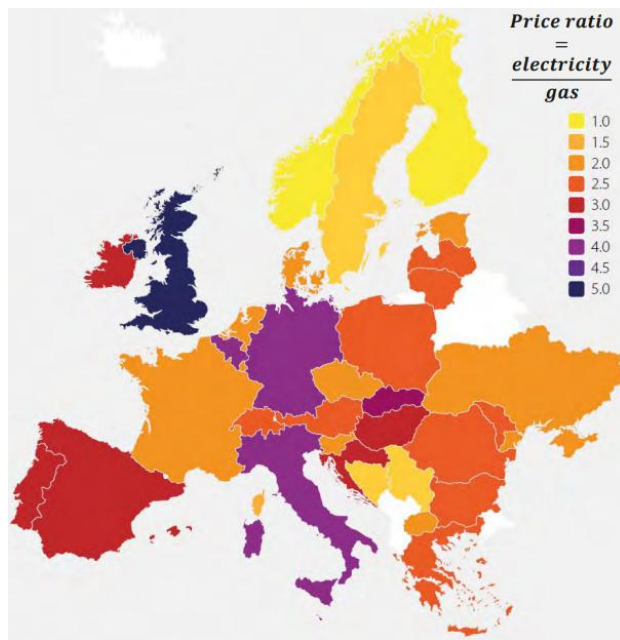


Abbildung 9: Vergleich des Stroms zu Gaspreisverhältnis in verschiedenen Europäischen Ländern für kleinere industrielle Unternehmen

Quelle: (Sintef 2020)

In der Auslegung von HT-WP können Wärmequellen mit hohen Temperaturen effizienter, d.h. mit höheren Leistungszahlen genutzt werden, da der Temperaturhub geringer ist. Jedoch hängt die Marktattraktivität auch vom Kostenverhältnis zwischen Strom und Gas ab, wobei günstige Bedingungen in Ländern mit niedrigen Stromkosten herrschen, siehe Abbildung 9. Dort sind somit größere Temperaturhübe wirtschaftlich attraktiv. In der Schweiz ist zum Beispiel ein Temperaturhub von 70 K noch wirtschaftlich, während es in Deutschland eher 40-50 K sind (Arpagaus et al. 2024). Dies kann durch eine entsprechende Preispolitik (Strom- vs. Gaspreis) oder entsprechende Förderprogramme gesteuert werden.

Neben technischen und infrastrukturellen Hemmnissen kann die Diffusion der HT-WP durch größere Wissenslücken gebremst werden. Die Integration in einer bestimmten Industriebranche erfordert Kenntnisse sowohl über die WP als auch über die betroffene Anwendung. Derzeit gibt es nur wenige Entscheidungsträger und technische Fachkräfte, die dieses kombinierte Wissen besitzen. Gleichzeitig fehlt vielen Anwendern das Verständnis über ihren Wärmebedarf, was die Identifizierung von möglichen Einsätzen von WP in ihren Systemen als zeitaufwendig gestaltet oder gar verhindert. Dabei muss das gesamte Innovationssystem zusammenspielen, da nicht nur Fortbildungsinstitutionen, FuE und Unternehmen gefragt sind, sondern entsprechendes Wissen auch bei Intermediären wie Normengeber und Kapitalstellern vorhanden sein muss, damit eine Technik in die Breite diffundieren kann.

Bislang existieren nur wenige Pilot- und Demonstrationsprojekte, in denen die Zuverlässigkeit neuartiger HT-WP in einer industriellen Umgebung bei einem bislang nicht etablierten hohen Temperaturbereich nachgewiesen wurden. Zudem erschweren Unsicherheiten zu den zukünftigen Entwicklungen von Gas-, Strom- und CO₂-Preisen den Entscheidungsprozess bei der Einführung einer neuen Technik, was den finanziellen Nachteil von WP bezüglich Kapitalkosten und zum Teil auch von Energiekosten erschwert.

Verschiedene Industriezweige sind in ihren Hemmnissen sehr unterschiedlich, vor allem in ihrer Struktur und ihren Betriebskosten. Gleichzeitig erwarten alle Branchen von HT-WP eine hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit bei gleichzeitig geringen Amortisationszeiten. Zusätzlich fallen komplexe und langwierige Planungs- und Genehmigungsverfahren für industrielle WP an. Dabei haben Großindustrie und Industriecluster oft Vorteile durch bestehende Genehmigungen und Erfahrung mit komplexen Großprojekten (Arpagaus et al. 2024). Für kleine und mittelständige Betriebe fallen jedoch externe Beratungskosten und/oder längere Planungsphasen an, um die größeren wissensbasierten und wirtschaftlichen Hemmnisse zu überwinden. Dies gilt es durch eine gezielte Förderung auszugleichen.

7 Fazit und Ergebnisse der Befragungen

Es wurden insgesamt vier Interviews mit Projektbeteiligten von abgeschlossenen EFP-Projekten zu HT-Wärmepumpen anhand eines Leitfadens durchgeführt. Dabei wurde versucht den zentralen Punkt dieser Ex-post Evaluation nachzugehen: *Gibt es einen Zusammenhang zwischen der FuE-Förderung und dem Erfolg einer Technik (Markteintritt und -diffusion)?*

Dies kann nach wenigen Interviews von sehr unterschiedlichen EFP-Projekten nur im Ansatz beantwortet werden und es bedarf einer tiefergehenden Analyse, um die Frage vollumfänglich zu beantworten. Jedoch konnte viele weitere wichtige Aspekte der Projektförderung und der Technikentwicklung mit Hilfe der Interviews herausgearbeitet werden. Diese werden in den folgenden Unterkapiteln zusammenfassend dargestellt.

7.1 Verlauf der Projektförderung

Ziele und Perspektiven der Projekte zur Hochtemperatur-Wärmepumpe (HT-WP)

Die untersuchten Projekte im Rahmen der Forschungsförderung des Energieforschungsprogramms hatten unterschiedliche Zielsetzungen und Herangehensweisen. Manchmal lag der Fokus auf der Grundlagenforschung, ohne dass am Ende des Projekts ein marktreifes Produkt stand. Ein zentraler Aspekt war dabei der Austausch mit Forschungseinrichtungen, um Anwendungsfälle zu definieren und darauf basierend Konzepte zu entwickeln sowie die Funktionalität und Kosten zu bewerten. Die Wirtschaftlichkeitsabschätzungen erfolgten dabei auf Basis der damaligen Energiepreise.

Ein zentrales Ziel für Herstellerunternehmen war die Entwicklung eines neuen HT-WP-Produkts mit einem spezifischen Kältemittel, wobei bereits Know-how aus anderen Produkten vorhanden war. Die Perspektive war, dass HT-WP in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen werden. Die Entwicklung sollte direkt auf den industriellen Maßstab ausgelegt werden, da kleinere Maßstäbe oft mit einem längeren und aufwendigeren Entwicklungsprozess verbunden sind.

Auch seitens der wissenschaftlichen Einrichtungen wurde das Ziel verfolgt, erste Erfahrungen mit HT-WP und dem gewählten Kältemittel zu sammeln. Die theoretischen Konzepte für den Kreislauf mit diesem Kältemittel und der HT-WP waren in diesem Fall bereits seit längerem bekannt. Der TRL der untersuchten Technologie sollte von 3 auf 6 gesteigert werden, um Anfragen aus der Industrie bedienen zu können bzw. den Industriepartner in die Lage zu versetzen, HT-WP potenziellen Kunden anzubieten. Eine Demonstrationsanlage war hierbei von hoher Bedeutung, um die Funktionsfähigkeit der beworbenen Anlage zu belegen. Dies wurde insbesondere für den Industriepartner als entscheidend angesehen. Nach eigener Aussage war das Projekt damals technologisch sehr vorausschauend ausgerichtet.

Zusammenhang zwischen FuE-Förderung und Erfolg der Technik (Markteintritt und -diffusion)

Einige Projekte wurden als erfolgreich bewertet, wenngleich nicht immer primär aus wirtschaftlicher Sicht, da sich die Investitionen nicht innerhalb von zwei bis drei Jahren amortisierten. Bei Projekten mit niedrigem TRL wurden jedoch wichtige Erkenntnisse für Analysen und weitere Berechnungen sowie zu den Chancen der Technologie gewonnen.

Ein zentraler Aspekt für die Projekte mit Markteinführung war die direkte Entwicklung im industriellen Maßstab, um eine potenzielle Produktleistung in entsprechenden Temperatur- und Leistungsbereichen zu gewährleisten. Die Marktanalyse war hierfür ein wesentlicher Bestandteil. Obwohl die angestrebten Temperaturen in manchen Fällen nicht vollständig erreicht wurden, war die erzielte Referenzanlage von hoher Bedeutung für den Markteintritt. Ohne eine solche Referenz hätten weder neue Kunden Vertrauen in das Produkt gefasst noch eine Vermarktung stattfinden können. Dies unterstreicht die Relevanz der Förderung von Demonstrationsvorhaben.

Erfolgsfaktoren

Mehrere Faktoren wurden als wesentlich für den Erfolg der Projekte identifiziert:

- Die Motivation und enge Zusammenarbeit der Projektpartner, insbesondere zwischen Industrie und Forschung. Vertrauen zwischen den Partnern wurde als essenziell für den Projekterfolg angesehen.
- Eine effektive Kommunikation mit dem Projektträger.
- Der organisatorische Rahmen des Verbundprojekts.
- Die erfolgreiche Hochskalierung und Umsetzung, insbesondere bei Demonstrationsvorhaben.
- Die langfristige Verpflichtung und Verbindlichkeit sowohl von Industriepartnern als auch einzelner Projektbeteiligter. Insbesondere kleinere Firmen wurden als Vorteil gesehen, da sie aufgrund kürzerer Entscheidungswege und höherer persönlicher Motivation oft einen längeren Atem in der Umsetzung haben.

Hemmnisse während der Förderung

Technische Schwierigkeiten, insbesondere im Zusammenhang mit Verdichtern und Kältemitteln, waren als erwartbare experimentelle Hürden immer zu lösen. Der zeitliche Verlauf der Abwärmequellen brachte ebenfalls Herausforderungen mit sich. Zudem passten neu identifizierte Techniken bzw. Materialien nicht immer exakt zu den Temperaturanforderungen der Wärmesenke eines spezifischen Industriezweigs. Hier hätte mehr Zeit in das Technik-/Materialscreening investiert werden müssen, um einen klaren Arbeitsplan mit Randbedingungen zu formulieren. Die Flexibilität hätte nur auf einer Seite eingeschränkt werden sollen, entweder auf der Prozess-/Anwendungsseite oder auf der Technik-/Materialeseite und nicht auf beiden.

Zumeist wurde die Wirtschaftlichkeit zu Projektbeginn häufig überschätzt. Die tatsächlichen Paybackzeiten erwiesen sich als höher als erwartet, sodass die Anwendung zumindest nach Projektende zumeist nicht direkt rentabel war.

Die Rolle des Anwenderunternehmens wurde unterschätzt, was sich in mehreren Projekten zeigte. In einem Fall sprang der ursprüngliche Anwender ab, da die Investitionskosten zu hoch und die nötigen Umbaumaßnahmen zu umfangreich waren. Hier hätten die Umbaumaßnahmen des Anwenders von vornherein in das geförderte Projekt aufgenommen werden müssen. Stattdessen floss viel Zeit in die Suche nach einem neuen Anwendungspartner. In einem anderen hatte der Anwender ebenfalls die Änderungen im Betriebsablauf durch die Implementierung der HT-WP sowie die Verlegungen von Rohren unterschätzt und sich aus dem Projekt zurückgezogen. Die restlichen Projektpartner haben das Projekt so weit wie möglich zu Ende gebracht, indem die Demonstrationsanlage beim Hersteller aufgebaut wurde. In einem anderen Fall erschwerte der häufige Wechsel von Ansprechpartnern die Kooperation mit einem Industriepartner, sodass die Anwendung nicht weiterverfolgt und somit auch kein Folgevorhaben angestrebt wurde. Durch einen Wechsel des Ansprechpartners können auch die ursprünglichen Ideen und Ziele eines Teilprojekts in Vergessenheit geraten.

Die wissenschaftlichen Zielsetzungen standen nicht immer im Einklang mit den industriellen Bedürfnissen. Promotionsvorhaben fokussieren sich häufig auf tiefgehende Untersuchungen, während in industriellen Anwendungen eine breitere Material- oder Anwendungsbasis relevanter wäre.

Co-Benefits während der Förderung

Als positive Effekte sind die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie und der ermöglichte intensive Austausch zu erwähnen. Die vertiefte Kooperation ebnete den Weg für Folgeprojekte. Die Projekte führten zudem zu wissenschaftlichen Publikationen, Promotionen und Vorträgen sowie zu einem Kompetenzaufbau in diesem Bereich.

7.2 Technikentwicklung nach der EFP-Förderung

Weiterentwicklung nach Projektende

Nach Abschluss der Förderung war die Weiterentwicklung der HT-WP-Technologie unterschiedlich ausgeprägt. In einem Fall wurde aufgrund interner Umstrukturierungen weniger an der Technologie weitergearbeitet, und geplante Folgeprojekte wurden aufgrund des KTF-Urteils nicht bewilligt. Dennoch konnten die im Rahmen des EFP-Projekts gewonnenen Erkenntnisse zu einem realistischeren Verständnis der Technologie beitragen.

In anderen Fällen wurde die Technologie erfolgreich in den Markt eingeführt, jedoch dauerte der Nachfragehochlauf länger als erhofft. Bislang sind nur wenige Aufträge

eingegangen, obwohl mehr Bestellungen erwartet wurden. Finanzielle Unterstützungsmaßnahmen wie das BEW für Fernwärme und die EEW-Förderung für Industrie werden als essenziell angesehen, um den nötigen An Schub für die Marktdiffusion zu geben. Oder der CO₂-Preis der EU müsste weiter steigen, um HT-WP ohne Förderung wirtschaftlich zu machen, denn der hohe Preisunterschied zwischen Strom und Gas stellt eine Barriere für die Marktdiffusion dar. Im Gegensatz zu Deutschland werden internationale Märkte, insbesondere Skandinavien, wurden aufgrund günstigerer Strompreise als attraktiv betrachtet. Dennoch wurde sich vorerst auf den deutschen Markt fokussiert, da technische Herausforderungen zunächst in einem vertrauten Umfeld gelöst werden sollten.

In einem Projekt konnte das Ziel des Markteintritts leider nicht erreicht werden, da das Anwenderunternehmen vor Projektende absprang. Somit hat die Förderung der Herstellerfirma keine unmittelbaren Verkäufe im Anschluss ermöglicht, da es nicht zur Demonstrationsanlage als Referenz gekommen ist. Ein zweiter Anlauf ist in Arbeit, jedoch wird weiterhin eine Förderung benötigt, da es an industrieller Umsetzung fehlt.

In einem Projekt kann die Demonstrationsanlage weiterhin nach Projektende für Tests genutzt werden. Dies wäre im Rahmen eines kommerziellen Auftrags nicht möglich, sodass der Forschungsrahmen als vorteilhaft angesehen wird. In einem weiteren Projekt mit niedrigem TRL bleibt die Technologie weiterhin unwirtschaftlich, weshalb eine weitere Hochskalierung im Rahmen eines EU-Projekts angestrebt wird.

Wechselwirkungen mit anderen Technologien

HT-WP stehen in Konkurrenz zu, aber auch in Ergänzung mit thermischen Speichern, die zusätzliche Abwärme oder Abwärme auf höherem Temperaturniveau einspeichern können. Eine ganzheitliche Betrachtung dieser Technologien in Zusammenspiel mit der HT-WP wird für zukünftige Anwendungen als entscheidend angesehen.

7.3 Vernetzung und Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie

Suche nach Verbundpartnern

Die Suche nach geeigneten Verbundpartnern verlief auf unterschiedliche Weise. In vielen Fällen bestanden bereits Kontakte, die als Ausgangspunkt für neue Konsortien dienten. Meist fungierte ein wissenschaftliches Institut oder ein Unternehmen als Knotenpunkt, das durch bestehende Netzwerke weitere Partner einbinden konnte. Dies war insbesondere dann der Fall, wenn ein Thema oder eine Technik bereits über längere Zeit bei den verschiedenen Partnern bearbeitet wurde oder es sich um ein Folgeprojekt handelte. Bestehende Kontakte erleichterten den Einstieg in Projekte erheblich, da sie auf bereits vorhandenem Vertrauen basieren. Allerdings besteht die Gefahr, dass das Vorhaben auf Unternehmen und insbesondere Anwender zugeschnitten wird, zu denen es bereits

Verbindungen gibt, anstatt die technisch oder strategisch passendste Anwendung in den Fokus zu rücken. Hier ist eine sorgfältige Abwägung erforderlich.

Wenn es sich um ein neueres Thema für ein Institut oder Unternehmen handelte, konnte die Partnersuche mehrere Monate dauern. Die Identifikation geeigneter Unternehmen erfolgte hier über bestehende Netzwerke sowie durch gezielte Anfragen auf Konferenzen. In einem Fall wurden 15 Unternehmen kontaktiert, bevor der richtige Partner gefunden wurde. Insbesondere bei niedrigen TRL wissen potenzielle Anwender oft nicht, dass es für ihre Probleme bereits geeignete Forschungslösungen gibt. Die HT-WP in Kombination mit Thermischen Speichern über 150 °C ist beispielsweise in vielen Industriebereichen noch nicht weit bekannt.

Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Wissenschaft

Die Kooperation zwischen Unternehmen und wissenschaftlichen Institutionen wurde grundsätzlich als reibungslos beschrieben, insbesondere auf technischer Ebene. Dennoch zeigte sich, dass der Erfolg eines Projekts stark von der gemeinsamen Fokussierung auf das Endergebnis abhing. Damit eine Projektleitung erfolgreich agieren konnte, war es essenziell, dass alle Partner die übergeordneten Projektziele im Blick behielten.

Die Intensität der Verpflichtung auf Seiten der Industrie variierte stark: Während einige Unternehmen sehr engagiert waren und eine enge Zusammenarbeit verfolgten, kam es in anderen Fällen zu Kommunikationsproblemen oder sogar zu einem Ausstieg aus dem Projekt. Hier spielte die persönliche Motivation einzelner Personen eine entscheidende Rolle. Beispielsweise führte der mehrfache Wechsel des Ansprechpartners in einem Unternehmen dazu, dass keine langfristige enge Kooperation aufgebaut werden konnte.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist der Spagat zwischen den Zielen der Wissenschaft und denen der Industrie. Während wissenschaftliche Einrichtungen den Fokus auf neuen Erkenntnissen und wissenschaftlichem Fortschritt legt, steht für Unternehmen wirtschaftliches Wachstum im Vordergrund. Dies führt teilweise zu Zielkonflikten, die in der Projektumsetzung ausgeglichen werden müssen.

Bedarf nach stärkerer Vernetzung mit FuE-Beteiligten

Die Vernetzung mit anderen Forschungs- und Entwicklungsbeteiligten wird als essenziell angesehen, insbesondere bei neuen Themengebieten ohne bestehende Kontakte. Dabei liegt der Fokus dann weniger auf der Technik selbst, sondern vielmehr auf der Skalierung von Technologien und Themen wie Baukastensysteme und Standardisierung.

Obwohl sich die meisten Akteure als gut vernetzt innerhalb ihres eigenen Themenfelds betrachteten, fehlen zum Teil übergreifende Netzwerke, die eine Brücke zwischen Technikentwicklung und potenziellen Anwendern schlagen. Eine gezieltere Unterstützung bei der Partnersuche wurde als wünschenswert erachtet. Hierbei wurde betont, dass

Vertrauen zwischen den Projektpartnern für eine erfolgreiche Durchführung von zentraler Bedeutung sei.

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Partnersuche wäre eine Projektpartnerbörse, die breiter bekannt gemacht werden müsste. Die bestehende Plattform des Forschungsnetzwerks Industrie und Gewerbe war vielen Akteuren nicht geläufig. Eine bessere Sichtbarkeit und Funktionalität (z.B. ähnlich der enArgus-Plattform mit Fokus auf thematische Passfähigkeit) wurden als sinnvolle Erweiterungen angeführt. Der Projektträger wurde als wichtiger Vermittler zwischen geeigneten Partner genannt.

Erwartungen an Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe

Die Erwartungen an das FNW IuG umfassten in erster Linie den Austausch zwischen Forschung und Industrie, die Generierung neuer Ideen sowie die Unterstützung bei der Partnersuche. Der Informationsaustausch wird grundsätzlich als positiv bewertet, da die bessere Vernetzung Doppelarbeiten vermeidet und eine stärkere Vernetzung hilft, Synergien zu nutzen und Projekte effizienter zu gestalten. Jedoch bleiben die übergeordneten Ziele des Netzwerks für viele unklar. Offene Fragen waren beispielsweise:

- Wen genau berät das Netzwerk?
- Welche konkreten Ergebnisse sollen erzielt werden?
- Sind gemeinsame Förderanträge oder Positionspapiere das Ziel?

Eine klarere Definition der Netzwerkziele sowie eine stärkere Sichtbarkeit der Angebote wurde als notwendig erachtet, um das Potenzial des Netzwerks besser auszuschöpfen.

7.4 Einfluss der Förderung auf die Durchführung von Projekten

Rolle der Zusatzförderung

Keines der befragten Unternehmen oder wissenschaftlichen Institute hätte das Projekt ohne die Förderung aus dem Energieforschungsprogramm durchgeführt. Die Unternehmen betonten, dass die erheblichen Aufwendungen intern ohne Förderung nicht darstellbar gewesen wären. Die Notwendigkeit einer Förderung hängt dabei stark vom TRL ab: Während Projekte mit einem Reifegrad von TRL 7 auf 8-9 unter Umständen auch ohne Förderung realisierbar gewesen wären, ist dies bei niedrigeren TRL kaum möglich. Einige Unternehmen gaben an, dass kein Budget ohne Förderung zur Verfügung gestanden hätte. Die Projekte wären nicht umgesetzt worden, da das finanzielle Risiko zu hoch und der Markt nicht absehbar gewesen sei. Selbst mit Förderung war die interne Mittelbewilligung zum Teil herausfordernd.

Auch wissenschaftliche Institute bestätigten, dass die Projekte ohne Förderung nicht zustande gekommen wären. Die Technologie war noch zu neu, sodass Industriepartner

nicht bereit gewesen wären, die vollständige Finanzierung zu übernehmen. In interdisziplinären Projekten, die verschiedene technologische Perspektiven einbinden müssen – etwa Materialwahl, Reaktordesign oder spezifische Anwendungen –, sei eine Förderung essenziell. Ein Institut stellte in einem Projekt zudem fest, dass das wissenschaftliche Erkenntnispotenzial des Vorhabens durch bekannte Grundlagen zwar begrenzt war, sondern der Fokus vielmehr auf der Umsetzung lag. Dadurch sollte der Hersteller befähigt werden, HT-WP für potenzielle Kunden anzubieten. Ohne Förderung wäre das finanzielle Risiko für das Demonstrationsvorhaben jedoch zu hoch gewesen.

Anteil der Förderung an der Durchführung von FuE-Projekten

Unternehmen gingen mit einer Förderquote von 50 % in das Projekt. Der tatsächliche Eigenanteil kann am Ende jedoch höher ausfallen als ursprünglich geplant. Die Notwendigkeit einer Förderung wurde stark vom Projektrisiko bestimmt. Unternehmen investierten Eigenmittel vor allem in Themen, die sie gut kontrollieren und direkt mit Kunden testen können. Größere Versuchsaufbauten mit erhöhtem Risiko erforderten hingegen Fördermittel. Erste Machbarkeitsstudien können aus eigenen Mitteln finanziert, während die vertiefte Forschung und Entwicklung durch Fördermittel abgedeckt werden.

Wissenschaftliche Institute sind stark auf Fördermittel angewiesen. Angewandte Institute beziehen oft einen Großteil ihrer Finanzierungen aus öffentlich geförderten Projekten mit Industriepartnern, während Direktbeauftragungen durch Unternehmen zum Teil eher selten sind. Universitäre Institute betonten zudem die Bedeutung von Flexibilität und wissenschaftlicher Freiheit. Industrieprojekte erfordern oft enge Terminpläne und konkrete Ergebnisse, was sich nicht immer mit der universitären Arbeitsweise vereinbaren lässt. Fraunhofer- und DLR-Institute seien hingegen besser auf die direkte Zusammenarbeit mit der Industrie ausgerichtet. Universitäre Institute beteiligten sich bevorzugt an Industrieprojekten, wenn bereits ein Vertrauensverhältnis zu den Partnern bestand.

Vorteile des Energieforschungsprogramm

Das Energieforschungsprogramm wurde von den Befragten grundsätzlich positiv bewertet. Die Programmziele und Themen passen gut zur Energiewende, und die Förderquoten wurden als annehmbar empfunden. Die Meilensteinstruktur wurde als vorteilhaft angesehen, da sie einer Auftragsstruktur ähnelt und eine klare Projektsteuerung ermöglicht. Besonders der Rahmen des Verbundprojekts erwies sich als erfolgreicher als Einzelprojekte, da eine wissenschaftliche Begleitung und Koordination möglich war.

Der Kontakt zum Projektträger wurde als besonders hilfreich hervorgehoben und die Unternehmen fühlten sich jederzeit gut beraten. Positiv hervorgehoben wurde vor allem die einfache und schnelle Antragstellung mit einer kurzen Skizze als erste Antragsstufe, wodurch der Prozess niedrighwellig beginnt und erst später mehr Zeit investiert werden muss. Durch die iterative Antragsgestaltung über zwei Stufen kann sichergestellt

werden, dass der finale Antrag erfolgsversprechend ist. Hier wurde auch das Einreichen ohne gesetzte Deadline gelobt. Zudem wurde geschätzt, dass Konsortien bedarfsgerecht zusammengestellt werden können, ohne die Notwendigkeit großer, ineffizienter Konsortien wie in den EU-Programmen. Die finanzielle Flexibilität und zeitliche Anpassungen im Projektverlauf wurden ebenfalls als Vorteil gesehen. Auch die Möglichkeit von Mikroprojekten wurde als interessant erachtet, insbesondere im Hinblick auf eine spätere Skalierung in größeren EFP-Projekten. EU-Förderprogramme wurden hingegen als zu kompliziert und langwierig empfunden, während es in bayrischen Förderprogrammen eine zu geringe Förderquote von 25 % gibt, die den Bürokratieaufwand nicht plausibilisieren.

Ein zentraler Vorteil des EFP wurde in seiner Rolle als Brücke zwischen Theorie und Praxis gesehen. Während viele Energiekonzepte bereits entwickelt sind, fehlt es oft an der Umsetzung. Das EFP ermutigt Anwender, neue und unreife Konzepte aufzugreifen und zu erproben und so die Kluft zwischen Theorie und Praxis zu schließen.

Nachteile des Energieforschungsprogramm

Trotz der positiven Aspekte wurden auch Herausforderungen benannt. Die Bürokratie wurde als zeitaufwändig empfunden, insbesondere die Berichterstattung und administrativen Prozesse. Dieser Aufwand sei hoch, ohne dass es dafür eine direkte Vergütung gebe. Weniger Bürokratie wäre daher wünschenswert.

Ein zentrales Problem besteht in der langen Bewilligungsdauer. Besonders für den schnelllebigen Markt der Wärmepumpen sind lange Bewilligungszeiten problematisch. Zudem wurde kritisiert, dass im Antragsprozess zwischen den verschiedenen Prozessschritten teilweise bis zu einem Jahr vergehen kann. Dies kann schwierig sein, wenn sich in dieser Zeit Ansprechpartner in Unternehmen ändern, was zu einem Verlust an Wissen und Motivation führen kann. Universitäten beginnen zudem erst nach der Bewilligung mit der Suche nach geeigneten Doktoranden, was die Projektbearbeitung weiter verzögert. Da fertige Doktoranden oft direkt nach Projektende ausscheiden, kommt es zudem zu Wissensverlusten und fehlender Einarbeitung neuer Promovierender. Dies erschwert die kontinuierliche Weiterentwicklung in aufeinanderfolgenden Projekten erheblich.

Einschätzungen zum 8. Energieforschungsprogramm

Einige Befragte haben bereits Folgeprojekte oder neue Projektschienen im Rahmen des 8. EFP eingereicht oder planen dies konkret. Andere hätten gerne eine Skizze für Mikroprojekte eingereicht, erfuhren jedoch zu spät davon und haben ein Projekt mit einer wissenschaftlichen Einrichtung in einer schlankeren Form realisiert, statt es in größerem Rahmen umzusetzen.

Verbundprojekte werden Einzelprojekten vorgezogen, dabei ist die Wahl der richtigen Partner essenziell. Das Engagement aller Partner sollte jedoch vorab geprüft und gefestigt

werden und dem industriellen Anwender sollte frühzeitig der mit der Projektdurchführung verbundene Aufwand klar kommuniziert werden.

7.5 Empfehlungen aus Sicht der FuE

Projektantrag und Bewilligungsprozess

Ein zentrales Anliegen der Antragsteller im Energieforschungsprogramm ist die Verschlinkung bürokratischer Prozesse sowie eine schnellere Bewilligung von Fördermitteln. Die derzeitige Bewilligungsdauer stellt Antragsteller vor erhebliche Herausforderungen, insbesondere die Ungewissheit wann Entscheidungen getroffen werden, wodurch die Planbarkeit neuer Projekte erheblich eingeschränkt wird. Diese Unsicherheit wächst mit zunehmender Bearbeitungszeit, weshalb sowohl der Antragsaufwand als auch die Zeit bis zur Bewilligung reduziert werden sollten.

Von den Antragstellern wird in der Skizzen- und Antragsphase erwartet detaillierte Angaben zu den potenziellen Energieeinsparungen zu machen. In vielen Fällen ist dies jedoch aufgrund fehlender Daten nicht möglich, sodass Hochrechnungen oder optimistische Annahmen getroffen werden. Hier könnte eine stärkere Differenzierung der Anforderungen Abhilfe schaffen.

Zudem zeigt sich, dass während der Projektlaufzeit häufig der nächste Antrag vernachlässigt wird, da Antragsteller mit der laufenden Forschung ausgelastet sind. Dies führt zu Verzögerungen bei der Antragstellung neuer Projekte. Eine mögliche Lösung wäre die Bereitstellung zusätzlicher Anlaufhilfen in Form von Videos oder anderen unterstützenden Materialien auf den Antragsseiten. Darüber hinaus könnte ein Werbevideo zur Projektpartnersuche hilfreich sein, indem es die Funktionsweise bestehender Plattformen wie die Forschungsnetzwerke Energie erläutert und diese gezielt mit den Themen des EFP und den Förderformaten verknüpft.

Wissenstransfer

Der Wissenstransfer zwischen geförderten Projekte ist ebenfalls eine zentrale Herausforderung. An Universitäten beginnt die Suche nach Doktoranden meist erst nach der Bewilligung eines Projekts und der fertige Doktorand verlässt nach Projektende das Institut wieder ohne das erlangte Wissen an den nächsten Doktorand zu vermitteln. Eine mögliche Lösung wäre eine Verkürzung der Bewilligungszeiträume oder eine planbarere Zwischenlösung, beispielsweise durch die Einführung von "Vorförderbescheiden".

Zudem kann der Wechsel von Ansprechpartnern bei Projektpartnern die nachhaltige Zielbearbeitung gefährden. Fehlt eine kontinuierliche Betreuung der jeweiligen Anwendung, führt dies zu einem unzureichenden Wissensaustausch sowohl innerhalb des beteiligten

Unternehmens als auch im gesamten Forschungsverbund. Hier wären Mechanismen zur Sicherstellung eines kontinuierlichen Wissenstransfers von Vorteil.

Politischer Rahmen

Ein weiteres Problem für die Forschungsförderung ist die fehlende Planbarkeit aufgrund der unklaren Haushaltslage. Aktuell ist nicht absehbar, wann neue Projekte starten können, da die Finanzierungssituation ungeklärt bleibt. Die Ungewissheit über Projektstarts innerhalb eines Zeitraums von einem bis mehreren Monaten erschwert die strategische Planung erheblich. Eine langfristige Absicherung des Forschungshaushalts, die unabhängig von jährlichen Bundestagsentscheidungen gestaltet wird, könnte hier für mehr Stabilität sorgen und die Forschungskontinuität gewährleisten.

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Im EFP wurden seit dem Jahr 2000 insgesamt 14 Projekte zu HT-WP mit Industriebezug gefördert. Insbesondere EFP-Projekte zu HT-WP in den 2010er Jahren waren erfolgreich und einige geförderte Unternehmen sind mittlerweile etablierte Hersteller von WPs. Eine lückenlose und kontinuierliche Förderung einer Technik ist wichtig, um den TRL anzuheben und um Technik als auch FuE-Beteiligte nachhaltig im Markt zu etablieren.

Die Projektförderung im Verbund von Forschungseinrichtung, Hersteller und Anwender hat sich als erfolgreiches Konzept erwiesen, um wissenschaftlichen und innovativen Fortschritt in die Anwendung zu bringen. Dabei kann Innovationsverbänden aus wiederkehrenden Projektpartnern eine besondere Rolle zukommen. Die Entwicklung der HT-WP ist bei Senktemperaturen von 120 °C-150 °C angekommen ist und die Prognosen zeigen, dass eine Entwicklung in den nächsten Jahren bis 200 °C möglich ist. Aktuelle technische Herausforderungen liegen derzeit bei dem Verdichter, der Wahl des Kältemittels und in der Auslegung der WP (Leistungszahl und Temperaturhub).

Eine Untersuchung der Schwerpunkte im Bezug zur WP in den aufeinanderfolgenden EFP zeigt, dass nicht nur die Struktur des EFP und der Fokus auf bestimmte Techniken entscheidend ist, sondern auch ein entsprechend großer Fördermitteltopf. Das im 8. EFP formulierte Sprinterziel zielt darauf ab mit HT-WP bis 2030 Prozesswärmepemperaturen über 300 °C zu erzeugen (BMWK 2024). Dieses Ziel wird nur mit erheblichen zusätzlichen FuE-Anstrengungen gelingen können. Verlässlichkeit der öffentlichen FuE-Förderung ist in diesem Kontext wichtig.

Das Innovationssystem der HT-WP ist bereits aufgebaut und aktiv, jedoch befindet es sich weiterhin in der Entwicklung, um zusätzliche Anwendungen zu erschließen. Die Anwendung von HT-WP erfolgt meist in Industrieprozessen mit bestehenden Strukturen, dabei treten interne infrastrukturelle Hemmnisse wie Platzmangel sowie Hygiene- und Sicherheitsstandards auf, sowie externe beim Ausbau der Netzanschlüsse. Zudem existieren große wissensbasierte Hemmnisse durch fehlendes kombiniertes Wissen über die Funktionen der WP als auch über die betroffene Anwendung. Zur Lösung der vielfältigen Hemmnisse muss das gesamte Innovationssystem zusammenspielen. Jedoch sind verschiedene Industriezweige sind in ihren Hemmnissen sehr unterschiedlich, vor allem in ihrer Struktur und ihren Betriebskosten. Eine technikspezifische Förderung ist dabei essenziell, um für die Technik gezielt eine nationale Herstellerlandschaft zu etablieren, die auch den internationalen Wettbewerb aktiv mitgestalten kann.

Die Ex-post Evaluation verdeutlicht die entscheidende Rolle einer effektiven Zusammenarbeit verschiedener Interessengruppen als Teile des Innovationssystems, darunter Hersteller und Anwender sowie auch Intermediäre, Energieplaner, politische Entscheidungsträger und Forschungseinrichtungen. Nur durch eine enge Zusammenarbeit dieser Akteure können die Herausforderungen der HT-WP gemeistert und deren volles Potenzial zur industriellen Dekarbonisierung ausgeschöpft werden. Die Annahme und Förderung

neuer Technologien durch die Anwender und die Entwicklung klarer Anwendungsmöglichkeiten durch die Hersteller sind wesentliche Faktoren für den Marktdurchbruch von HT-WP. Gelingt diese effiziente Kooperation, können HT-WP einen bedeutenden Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen in der Industrie leisten

Das EFP hilft, um technologische Innovationen voranzutreiben, finanzielle Risiken zu minimieren und neue Partnerschaften zu knüpfen. Gleichzeitig baut das Programm eine wichtige Brücke zwischen Wissenschaft und industrieller Anwendung, indem es die praktische Umsetzung bestehender Konzepte ermöglicht. Im Rückblick auf ihre FuE-Projekte betonten die Befragten die Wichtigkeit der richtigen Partnerwahl und empfahlen eine Zusammenarbeit in Verbundprojekten statt Einzelprojekten. Zudem wurde hervorgehoben, dass ein klar definierter Arbeitsplan mit festgelegten Randbedingungen essenziell sei, um Verzögerungen und ineffiziente Prozesse zu vermeiden. Auch das Engagement aller Partner müsse von Beginn an sichergestellt werden, insbesondere durch die frühzeitige Einbindung des industrieller Anwenderunternehmens.

Die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie wurde grundsätzlich positiv bewertet, allerdings gab es Unterschiede im Engagement der Unternehmen und gelegentliche Zielkonflikte zwischen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Interessen. Eine bessere Vernetzung, etwa durch Plattformen wie das Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe, wurde als sinnvoll erachtet, um den Austausch zwischen potenziellen Projektpartnern zu erleichtern.

Das EFP wurde von den Befragten insgesamt positiv bewertet. Die thematische Ausrichtung passt gut zur Energiewende, die Förderquoten werden als angemessen empfunden und die Struktur der Verbundprojekte ermöglicht eine enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie. Positiv wurden zudem die iterative Antragsgestaltung, die Flexibilität im Projektverlauf und die niedrighschwellige Antragstellung mit kurzen Skizzen und die neuen Mikroprojekte bewertet. Gleichzeitig wurden jedoch Herausforderungen wie der hohe bürokratische Aufwand, lange Bewilligungszeiten und damit verbundene Unsicherheiten in der zeitlichen Planung kritisiert. Insbesondere in einem schnelllebigen Markt wie der HT-WP wurde die Dauer von Antragstellung bis Projektstart als Hemmnis für Innovationen gesehen. Zudem erschwert der Wissenstransfer den Erfolg von Projekten, da Doktoranden oft erst spät eingestellt werden und mit Projektende ausscheiden, wodurch wertvolles Wissen verloren geht. Eine planbarere Förderung und bessere Mechanismen für den Wissensaustausch wären hier hilfreich. Schließlich behindern unklare Haushaltslagen die langfristige Planung, da neue Projekte oft kurzfristig genehmigt oder verschoben werden. Eine unabhängige und stabilere Forschungsfinanzierung könnte mehr Kontinuität gewährleisten.

Die gezielte Technikförderung der HT-WP im Rahmen des EFP ist weiterhin vielversprechend. Besonders angewandte Förderprogramme wie das EFP bringen neue Technologien aus dem Forschungsstadium in die Marktreife und helfen die Dekarbonisierung des Wärmebedarfs durch Effizienzsteigerungen und Abwärmenutzung zu meistern.

Literaturverzeichnis

ACEEE (2024): Consistent Refrigerant Policy Is Essential for Investment in Industrial Heat Pump Market Transformation. ACEEE Topic Brief. Unter Mitarbeit von ANDREW HOFFMEISTER, HELLEN CHEN, NEAL ELLIOTT.

Agora Energiewende; Fraunhofer IEG (2023): Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland. Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie. Unter Mitarbeit von U. Weiß und A. Kraus. Agora Energiewende; Fraunhofer IEG.

Agora Industrie; FutureCamp (2022): Power-2-Heat: Erdgaseinsparung und Klimaschutz in der Industrie. Unter Mitarbeit von P. Münnich, J. Metz, P. D. Hauser, A. Kohn und T. Mühlpointer. Agora Industrie; FutureCamp Climate GmbH.

Arpagaus, Cordin (2018): High Temperature Heat Pumps: Market Overview, State of the Art, Research Status, Refrigerants, and Application Potentials. NTB University of Applied Sciences of Technology Buchs, Switzerland. Purdue Conference. Purdue University, 09.06.2018. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Cordin-Arpagaus/publication/326847787_High_Temperature_Heat_Pumps_Market_Overview_State_of_the_Art_Research_Status_Refrigerants_and_Application_Potentials/links/5b69467a299bf14c6d94fd87/High-Temperature-Heat-Pumps-Market-Overview-State-of-the-Art-Research-Status-Refrigerants-and-Application-Potentials.pdf, zuletzt geprüft am 23.04.2026.

Arpagaus, Cordin (2019): Hochtemperatur-Wärmepumpen für industrielle Anwendungen. NTB - Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs. 4. Internationaler Grosswärmepumpen Kongress. Zürich, 08.05.2019.

Arpagaus, Cordin; Biesl, Markus; Huettl, Christian (2024): VDI Web-Panel: Großwärmepumpen - Ein Baustein für die Dekarbonisierung der Industrie? Weitere Beteiligte: Eder, Stephan W. (VDI-Moderator). Webinar: VDI Verlag. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=-FFC-MGrcPA>, zuletzt geprüft am 23.04.2026.

Arpagaus, Cordin; Bless, Frédéric; Uhlmann, Michael; Schiffmann, Jürg; Bertsch, Stefan S. (2018): High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials. In: *Energy* 152, S. 985–1010. DOI: 10.1016/j.energy.2018.03.166.

BMWi (2017): Energieforschungsprogramme der Bundesregierung 1977-1980 (1. - 6. EFP). Fundstelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

BMWi (2018): 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung - Innovationen für die Energiewende. Fundstelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

BMWK (2023): 8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung – Forschungsmissionen für die Energiewende. Fundstelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

BMWK (2024): Förderbekanntmachung zur angewandten Energieforschung im Rahmen des 8. Energieforschungsprogramms. Fundstelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter <https://www.energieforschung.de/energieforschungsprogramm/energieforschungsprogramm-des-bmwe>.

Brauer, L.; Wobst, E.; Schönfelder, R.; Sandkötter, W. (2014): Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH₃. Abschlussbericht. Förderkennzeichen 0327502A/B. thermea. Energiesysteme; GEA Refrigeration Germany.

Carlsson, B.; Stankiewicz, R. (1991): On the Nature, Function and Composition of Technological Systems. In: *Journal of Evolutionary Economics*, S. 93–118.

Decker, Alexandra; Lösch, Oliver; Maertens, Robert; Jochem, Eberhard (2025): Aktueller Stand der Forschung und Entwicklung zur Hochtemperatur-Wärmepumpe in Deutschland. Technikanalyse im Rahmen von EE4InG2. Hg. v. IREES GmbH, RWTH Aachen (IOB), ETA-Solutions GmbH. Karlsruhe, Aachen, Bensheim.

FKW GmbH (2003): Entwicklung einer Absorptions-Kompressionswärmepumpe mit dem Stoffpaar Ammoniak / Wasser für die Anwendung als Hochtemperatur-Wärmepumpe. Abschlussbericht. Förderkennzeichen 0329832A. Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH (FKW).

Fleckl, T.; Wilk, V.; Laueremann, M.; Beck, M.; Drexler-Schmid, G.; Hofmann, R.: Wärmepumpen in der Prozessindustrie. Aktuelle Entwicklungen in der Forschung und Herausforderungen in der Anwendung. Hg. v. Austrian Institute of Technology (AIT).

FNW IuG (2017): EXPERTENEMPFEHLUNGEN AUS DEN ARBEITSGRUPPEN FÜR DEN KONSULTATIONSPROZESS ZUM 7. ENERGIEFORSCHUNGSPROGRAMM. Hg. v. Projektträger Jülich (PtJ). Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe.

Fraunhofer ISI (2024): Direct electrification of industrial process heat. An assessment of technologies, potentials and future prospects for the EU. Study on behalf of Agora Industry. Unter Mitarbeit von M. Rehfeld, S. Bußmann, T. Fleiter und J. Rissmann. Hg. v. Agora Industry. Fraunhofer ISI; DENEFF; Energy Innovation.

Hartmann, K.-H.; Schramm, O.; Kruse, H.; Kabelac, S. (2017): Hochtemperatur-Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreislauf für industrielle Anwendungen mit dem natürlichen Stoffpaar Ammoniak/Wasser. Abschlussbericht. Förderkennzeichen 03ET1168A. Steffen Hartmann Recyclingtechnologien GmbH; Continental AG; Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH (FKW); Institut für Thermodynamik der Leibniz-Universität Hannover.

Hirzel, Simon (2017): Technologiebericht 6.2 Energieeffiziente Querschnittstechnologien innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende. Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Hg. v. Wuppertal Institut, ISI, IZES. Fraunhofer ISI.

Lösch, Oliver; Decker, Alexandra; Friedrichsen, Nele; Jochem, Eberhard; Moog, Daniel; Schwotzer, Christian; Rothhöft, Katharina (2024): Zur Relevanz der öffentlichen Energieforschungsförderung, insbesondere für Industrie und Gewerbe. Kurzstudie im Rahmen des Verbundvorhabens EE4InG2. Hg. v. IREES GmbH, RWTH Aachen (IOB), ETA-Solutions GmbH. Karlsruhe, Aachen, Bensheim.

Öko-Institut e.V.; Fraunhofer ISI (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Unter Mitarbeit von J. Repenning, L. Emele, R. Blanck, S. Braungardt, W. Eichhammer und R. Elsland. Hg. v. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Ramming, K. (2022): HT Wärmepumpe: Entwicklung einer Hochtemperaturwärmepumpe für Temperaturen bis zu 160°C auf Basis eines Kältekreisprozesses mit Lösungsumlauf. Abschlussbericht. Förderkennzeichen 03ET1588A. AGO AG Energie + Anlagen.

Zühlsdorf, B.; Poulsen, J. L.; Dusek, S.; Wilk, V.; Krämer, D.; Rieberer, R. et al. (2023): Annex 58 High-Temperature Heat Pumps - Task 1 - Technologies. Unter Mitarbeit von Benjamin Zühlsdorf. Hg. v. Technology Collaboration Programme (TCP) Heat Pumping Technologies (HPT) by International Energy Agency (IEA). Heat Pump Centre; Danish Technology Institute.

Abkürzungen

BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BMWE	Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
BMWK	Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of Performance
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
EFP	Energieforschungsprogramm
EU	Europäische Union
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
FNW IuG	Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe
FQ	Förderquote
FS	Fördersumme
FuE	Forschung und Entwicklung
GuD	Gas-und-Dampf
GWP	Treibhauspotenzial (Global Warming Potential)
HFO	Hydrofluorolefine
HPT	Heat Pumping Technologies
HT-WP	Hochtemperatur-Wärmepumpe
IEA	Internationalen Energieagentur
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MW	Megawatt
NH ₃	Ammoniak
ORC	Organic Rankine Cycle
PJ	Petajoule (10 ¹⁵ Joule)
PtJ	Projekträger Jülich
TRL	Technologie-Reifegrad
WP	Wärmepumpe
ZIM	Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionsweise einer industriellen Wärmepumpe und wichtige Kennwerte	8
Abbildung 2: Entwicklung der verschiedenen Techniken der HT-Wärmepumpe bis 2030	9
Abbildung 3: Temperaturniveaus industrieller Prozesse unterteilt nach Technologiereife der Wärmepumpe (heat pump - HP) bzw. HT-Wärmepumpe (high temperature HP – HTHP)	10
Abbildung 4: Charakteristika ausgewählter Kältemittel sowie ihre Anwendungsbereiche ¹	11
Abbildung 5: Verlauf der WP-Themen in den EFP seit 2000 mit wachsendem Fokus in den Gebäude- und Industrie-Wärmebereichen	14
Abbildung 6: Anzahl der Förderprojekte zu HT-Wärmepumpen im Energieforschungsprogramm aufgeteilt nach Jahrzehnten (links) und nach Fördersummen (rechts)	17
Abbildung 7: Übersicht & Zeitachse geförderter FuE-Projekte im EFP zu HT-WP	19
Abbildung 8: Vernetzung und Zusammenspiel der Akteure für Innovationsfortschritt	28
Abbildung 9: Vergleich des Stroms zu Gaspreisverhältnis in verschiedenen Europäischen Ländern für kleinere industrielle Unternehmen	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektsteckbrief zum EFP-Verbundprojekt HT-Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreislauf von SHRT, IfT-Hannover, FKW und Continental	21
Tabelle 2: Verlauf der Projekte in Bezug auf Temperaturbereich, Temperaturhub, Leistung und COP	22
Tabelle 3: Ausgewählte Hersteller aus abgeschlossenen EFP-Projekten mit Vorhabenbeginn in den Jahren 2000-2018 und ihr aktueller Stand (Juni 2024) bzgl. HT-WP	23
Tabelle 4: Auswahl zentraler Akteure im Bereich HT-WP in ihrem Innovationssystem	27
Tabelle 5: Energieforschungsprogramme (EFP) der Bundesregierung seit 1977 (mit beteiligten Bundesministerien)	49
Tabelle 6: Projektsteckbrief zum EFP-Verbundprojekt Absorptions-Kompressions-WP für HT von FKW, P. Comte Galvanotechnik GmbH, Schwier GmbH und IfT-Hamburg	51
Tabelle 7: Projektsteckbrief zum EFP-Verbundprojekt Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH ₃ von Dürr thermea (heute ENGIE) und GEA.....	52
Tabelle 8: Projektsteckbrief zum EFP-Verbundprojekt HT Waermepumpe von AGO	53
Tabelle 9: Projektsteckbrief zum EFP-Verbundprojekt TheSan	54

Anhang

Tabelle 5: Energieforschungsprogramme der Bundesregierung seit 1977 (mit beteiligten Bundesministerien)

EFP	Federführung	Zeitraum	Programm	Förderbekanntmachung	Förder- volumen
1. EFP	Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977 – 1980 (BMFT, BMWi, BMI)				
	BMFT	1977-1980	1977		
2. EFP	Zweites Programm Energieforschung und Energietechnologien (BMFT, BMWi, BMI, BM Bau, BML, BMZ)				
	BMFT	1981-1991	1981		
3. EFP	3. Programm Energieforschung und Energietechnologien (BMFT, BMWi, BMZ und BMU) ²⁴				
	BMFT	1991-1996	Feb. 1991		
4. EFP	4. Programm Energieforschung und Energietechnologien (BMBF, BML, BMZ, BMU)				
	BMBF	1996-2005	Jul. 1996		
5. EFP	Innovation und neue Energietechnologien - 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung (BMWA, BMU, BMVEL, BMBF)				
	Beschleunigung des Übergangs zu einer nachhaltigen Energieversorgung				
	BMWA	2005-2011	Jul. 2005	Ende 2005	Ca. 0,7 Mrd. €
6. EFP	Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung - 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung (BMWi, BMU, BMELV, BMBF)				
	Anwendungsorientierter Bereich, Abbildung der gesamten Energiekette				
	BMWi	2011-2018	Jul. 2011	Sep. 2011 Dez. 2014	Ca. 4 Mrd. €
7. EFP	Innovationen für die Energiewende - 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung (BMWi, BMBF, BMEL)				
	Ausrichtung auf Energiewende durch zukunftsweisende Energietechnologien, Fokus auf Technologie- und Innovationstransfer und Einführung der „Reallabore der Energiewende“				
	BMWi	2018-2023	Sep. 2018	Jun. 2021	Ca. 6,4 Mrd. €
8. EFP	8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung - Forschungsmissionen für die Energiewende				
	Missionsorientierte Innovationspolitik für die Energiewende mit Förderschwerpunkten Energiesystem, Wärmewende, Stromwende, Wasserstoff und Transfer				
	BMWE	laufend	Okt. 2023	Mai 2024	

Quelle: eigene Darstellung der EFP (BMWi 2017, 2018; BMWE 2023)

²⁴ Eine Reihe von Projekten wurden im 3. EFP in Kooperationen mit BMWi, BMZ und BMU durchgeführt, ohne dass diese Bundesministerien im Vergleich zu den anderen EFP stärker beteiligt waren.

Die verschiedenen EFP wurden in Zusammenarbeit mehrerer Bundesministerien erstellt. Dabei wechselte die Federführung ab dem 4. EFP vom Forschungsministerium zum Wirtschaftsministerium. In den 5. Und 6. EFP wurden getrennte Programmschwerpunkte von den beteiligten Bundesministerien ausgewiesen. Im 7. EFP geschah dies gemeinsam ohne eine Schwerpunktsetzung einzelner Ministerien in Abgrenzung voneinander. Im 8. EFP werden keine Bundesministerien neben dem BMWF mit einer Beteiligung am Programm und seiner Ausgestaltung genannt.

Tabelle 6: Projektsteckbrief zum EFP-Verbundprojekt Absorptions-Kompressions-WP für HT von FKW, P. Comte Galvanotechnik GmbH, Schwier GmbH und IfT-Hamburg

Absorptions-Kompressions-WP für HT			
Verbund	Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH (FKW) im Lead mit P. Comte Galvanotechnik GmbH, Schwier GmbH und Institut für Thermodynamik der Universität der Bundeswehr Hamburg (IfT-Hamburg)		
	02.2001 - 07.2003		
Ziel	Anwendung einer Absorptions-Kompressions-WP mit Ammoniak-Wasser-Gemisch als Kältemittel (Alternative zum FCKW R114) als preiswerte Anlage mit auf dem Markt verfügbaren Komponenten mit kleinerer Leistung für Nutzttemperaturen von 90°C - 120°C und ungenutzter Abwärme als Quelle		
Wärme-pumpe	Absorptions-Kompressions-WP mit geschraubten Plattenwärmetauschern als Resorber und Entgaser + Zweiwellen-Schraubverdichter mit Standard-Ölabscheidesystem		
Hersteller	Firma Schwier: Bau aus bestehenden Komponenten und Installation		
Anwender	Firma Comte: Demonstrationsanlage im Galvano-Betrieb (Wärmebedarf von 13,6 kW, Kühlwasserkreislauf als Quelle, Entfettungsbad als Senke) → um 75 % reduzierte elektrische Leistungsaufnahme für den im Prozess erforderlichen Heizbedarf		
Technische Daten	Quelle: 42°C	Kältemittel:	COP: 4,28
	Senke: 70°C	Ammoniak/Wasser	Leistung: ca. 65 kW
Ergebnis	Schraubenverdichter aufgrund Ölwurf und folge dessen Aufschäumung des Kältemittels ungeeignet (Prozess- und Betriebsstörungen) → vertiefende Untersuchungen zu Einflüssen zwischen Kältemittel und Maschinenöl notwendig und aufwendigerer Abscheider vor allem bezgl. Mischpunkt am Resorber sowie effizientes Ölabscheidesystem (z.B. Hubkolbenverdichter) nötig → jedoch Prinzip erfolgreich getestet und zukunftsfähig		
Publikationen	-		
Nachfolgende Entwicklung	FKW wurde 2009 Teil der Fachhochschule Hannover (FHH) ²⁵ und 2020 aufgelöst oder evtl. Teil eines anderen Instituts – der Werdegang des Forschungszentrums ist unklar ²⁶ Schwier GmbH noch im Bereich der Wärmepumpen im Gebäudebereich vertreten sowie in der industriellen Kältetechnik ²⁷		

Quelle: (FKW GmbH 2003), Nachfolgende Entwicklung auf Basis eigener Internet-Recherchen

²⁵ <https://www.diekaelte.de/sonstiges-thema/neues-institut-der-fachhochschule-hannover-fkw-hannover-als-institut-uebernommen> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

²⁶ <https://www.northdata.de/Forschungszentrum+f%C3%BCr+K%C3%A4ltetechnik+und+W%C3%A4rme-pumpen+GmbH,+Hannover/HRB+1821> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

²⁷ <https://www.schwier-kaelte.de/de/leistungen-de> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

Tabelle 7: Projektsteckbrief zum EFP-Verbundprojekt Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH₃ von Dürr thermea (heute ENGIE) und GEA

Industrie-Hochtemperaturwärmepumpe mit NH ₃			
Verbund	Dürr thermea GmbH (heute ENGIE) und GEA Refrigeration Germany GmbH (GEA)		
	09.2010 – 12.2013		
Ziel	<p>Ammoniak-HT-WP mit Vorlauftemperaturen >80°C, Temperaturhub von 60K und max. Betriebsdruck von 120 bar für Anwender mit Heizleistungsbereich zwischen 500-1.000 kW (Ziel laut Bericht Quelle >70°C, Senke >100°C)</p> <p>Tests von Ammoniak (NH₃) als zweites natürliches Kältemittel neben dem bereits erfolgreichen und verbreitetem CO₂</p>		
Wärmepumpe	Ammoniak-HT-WP mit Schraubenverdichter, Ölabscheider und Ölkühlung		
Hersteller	<p>Dürr thermea: Entwicklung des kompletten Wärmepumpengerätes</p> <p>GEA: Entwicklung von Schraubenverdichter und Ölabscheider</p>		
Anwender	nur Aufbau, Messung und Tests auf thermea Prüfstand		
Technische Daten	Quelle: 31,6°C	Kältemittel: Ammoniak	COP: 4,2 Leistung: 430 kW
Ergebnis	<p>Dürr thermea: Verdichterausfälle durch Rotorenschaden nach Ansaugen von flüssigem Kältemittel, daher Austausch durch 2. Aggregat mit geringerer Leistung und niedrigere Ergebnisse als geplant, jedoch Ammoniak als Kältemittel im Betrieb getestet, Mitarbeiter geschult und Akzeptanz geschaffen</p> <p>→ Nach Projektende sind weitere Versuche bis zur Marktfähigkeit nötig, die thermea ohne weitere Förderung durchführen möchte mit Ziel der Markteinführung für 2016</p> <p>GEA: erfolgreicher Test des modifizierten Dichters und Einsatz neben der HT-WP auch im Bereich der Öl- und Gasindustrie als Prozessgasverdichter</p> <p>→ Verdichter mit Alleinstellungsmerkmal und Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit der GEA</p>		
Publikationen	-		
Nachfolgende Entwicklung	<p>ENGIE Refrigeration übernahm 2018, die CO₂-HT-WP-Aktivitäten von Dürr thermea²⁸ und vermarktet mittlerweile erfolgreich die CO₂-HT-WP-Serie²⁹</p> <p>GEA: Wärmepumpe für 300-10.000kW mit GEA-Ammoniak-Schrauben- und Kolbenverdichtern³⁰</p>		

Quelle: (Brauer et al. 2014), Nachfolgende Entwicklung auf Basis eigener Internet-Recherchen

²⁸ https://www.kka-online.info/artikel/kka_CO2-Anlagen_tech_nik_von_Duerr_thermea_uebernommen-2996989.html & <https://www.engie-refrigeration.de/de/presse/engie-refrigeration-staerkt-position-im-bereich-der-waermenutzung> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

²⁹ <https://www.engie-refrigeration.de/de/waerme/thermeco2-hochtemperaturwaermepumpen> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

³⁰ <https://www.gea.com/de/news/trade-press/2022/gea-at-chillventa-grasso-l-xhp-v-xhp/> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

Tabelle 8: Projektsteckbrief zum EFP-Verbundprojekt HT Waermepumpe von AGO

HT Waermepumpe			
Verbund	AGO GmbH Energie + Anlagen (AGO) (+ Testkunde)		
	10.2018 – 06.2022		
Ziel	Patentiertes WP-Konzept in Versuchsanlage testen, Funktionsweise und Effizienz nachweisen, bestehendes Simulationstool verifizieren und erste Betriebserfahrungen sammeln: Heiztemperaturen von 100-160°C (Vorlauf bei 60-100°C), Leistungszahl mind. 3, Kältekreisprozess mit Lösungsumlauf, mögliche Anwendung in Chemie-, Lebensmittel- und Papierindustrie		
Wärme-pumpe	Kompressions-WP mit konventionellem ölgeschmierten Ammoniakverdichter und Lösungskreislauf (Osenbrück-Prozess)		
Hersteller	Entwicklung, Simulation, Auslegung und Fertigung der Versuchsanlage mit Komponenten unterschiedlicher Lieferanten (Verdichter von GEA)		
Anwender	Stadtwerke Neuburg a. d. Donau: Nutzung der Motorkühlwärme eines BHKW durch HT-WP für Einspeisung in Heißwassernetz mit Temperaturen bis zu 140°C für Nutzung in Mälzerei, Rücklauf des Heißwassernetzes wird in Fernwärmenetz gespeist. Kunde übernahm Einbindung der HT-WP zusammen mit 50 m ³ großen Heißwasserpufferspeicher und Maschinenraumausstattung (eigene Übernahme der hohen Investkosten und Zugabe von 200 Tsd. € zu AGO-Projekt)		
Technische Daten³¹	Temperatur: bis zu 140°C	Kältemittel: Ammoniak-Wasser	COP: geheim Leistung: ca. 1 MW
Ergebnis	Nutzung eines konventionellen ölgeschmierten Ammoniakverdichters aus Kosten- und Konkurrenzgründen statt angedachtem ölfreien, wassergeschmierten Schraubenverdichter nach Test unbrauchbar, daher war mit verwendetem GEA-Verdichter eine Temperatur von max. 140°C statt 160°C erreichbar, mit neuen Verdichtern Modellen potenziell auch 150°C und 160°C möglich (Etablierung einer Zusammenarbeit mit GEA) → Prozessweiterentwicklungen durch Patente gesichert, weitere Tests und Maßnahmen für Effizienzsteigerung werden nach Förderende fortgeführt → HT-WP als weiteres Standbein (Markenname Calora) mit positiver Marktentwicklung mit vielen Anfragen aus Industrie und von Stadtwerken		
Patente	EP 22167876.6; EP 21174059.2, EP3954950, EP 3540333 und EP3355002		
Nachfolgende Entwicklung	Zwei Wärmepumpenserien: AGO Calora ³² - Industrie-, Groß- und HT-Wärmepumpen mit 500-10.000kW, Quelle -10°C-90°C, Senke 50°C-150°C AGO Congelo ³³ - HT-Absorptionswärmepumpe		

Quelle: (Ramming 2022), Nachfolgende Entwicklung auf Basis eigener Internet-Recherchen

³¹ Genauere Daten wurden nicht im öffentlichen Projektbericht aufgeführt

³² <https://www.ago-energie.de/thermotechnik/ago-calora-industriewaermepumpe/> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

³³ <https://www.ago-energie.de/thermotechnik/ago-congelo-ht-absorptionswaermepumpe/> (zuletzt geprüft am 23.04.2026)

Tabelle 9: Projektsteckbrief zum EFP-Verbundprojekt TheSan

TheSan			
Verbund	DLR Institut für Technische Thermodynamik, Universität Siegen Institut für Bau- und Werkstoffchemie, Universität Hamburg Fachbereich Chemie, Siemens Corporate Technology		
	06.2015 – 11.2019		
Ziel	Erweiterung des Temperaturbereichs von Wärmepumpensystemen nach oben auf 140 °C Nutztemperatur Test mehrerer Kältemittel mit vorteilhaften Eigenschaften (Nicht brennbar, nicht toxisch, niedriges GWP, kein Ozonabbaupotenzial (ODP) und hohe kritische Temperatur		
Wärmepumpe	Einstufige Dampfkompansions-Wärmepumpe im Labormaßstab		
Hersteller	Siemens Corporate Technology		
Anwender	nur Aufbau, Messung und Tests auf Siemens Prüfstand		
Technische Daten	Temperaturhub 50 K Senke: 140 °C	Kältemittel: LG6, MF2 (proprietär)	COP: ≈ 3 Leistung: 10 kW
Ergebnis	Hochtemperatur-Wärmepumpen bis ca. 140 °C technisch darstellbar, jedoch klare Begrenzung durch geeignete Arbeitsfluide und sinkende Leistungszahlen bei hohen Temperaturhüben; Identifikation und experimentelle Untersuchung neuer Kältemittel (u. a. LG6, MF2, R1233zd, R1336mzz) mit vorteilhaften Eigenschaften und Entwicklung einer labormaßstäblichen einstufigen Dampfkompansions-Wärmepumpe; Nachweis, dass hohe Kondensationstemperaturen bis ~ 140 °C mit geeigneten Arbeitsfluiden erreichbar sind; COP >3 selbst bei Temperaturhüben bis 60 K, mit optimalen Bereichen je Fluid (MF2: 90–110 °C, LG6: 120–140 °C)		
Publikationen	F. Reissner, B. Gromoll, J. Schäfer, V. Danov, J. Karl. Experimental performance evaluation of new safe and environmentally friendly working fluids for high temperature heat pumps. European Heat Pump Summit, Nürnberg, Germany, October 2013. F. F. Reissner, B. Gromoll, J. Schäfer, V. Danov and J. Karl, Basic development of a novel high temperature heat pump system using very low GWP fluids, Montreal: International Energy Agency Heat Pump Conference, 2014.		
Nachfolgende Entwicklung	Siemens Energy ist etablierter Hersteller von Groß- und Hochtemperaturwärmepumpen		

Quellen: Abschlussbericht sowie genannte Publikationen, Nachfolgende Entwicklung auf Basis eigener Internet-Recherchen