

# WÄRMEPUMPENTECHNOLOGIE: ZENTRALER BESTANDTEIL DER ENERGIEWENDE

Die Bereitstellung von Wärme und Kälte verursacht etwa 40% des gesamten deutschen Endenergieverbrauchs. Besonders schwer wiegt dabei die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser, die mehr als 80% des Energieverbrauchs in den Haushalten beansprucht. Es ist daher dringend erforderlich, den Wärme- und zunehmend auch Kältebedarf möglichst effizient und nachhaltig zu decken. Wärmepumpen sind eine Schlüsseltechnologie, um diesen Anforderungen gerecht zu werden.

Der größte Vorteil der Wärmepumpen ist, dass die Bereitstellung von Wärme (und Kälte) überwiegend auf Umweltenergie aus Luft, Boden oder Grundwasser basiert. Die restliche Energie wird meistens in Form von elektrischer Energie – die idealerweise regenerativ erzeugt sein sollte – zugeführt. In speziellen Fällen kann auch Erdgas als Energiequelle genutzt werden. Je weniger Elektroenergie bzw. fossile Brennstoffe eine Wärmepumpe benötigt um die Netzwärme oder -kälte bereitzustellen, desto effizienter arbeitet sie. Wärmepumpentechnologie ist ein wichtiger Faktor für die Sektorenkopplung, die für den Erfolg der Energiewende unerlässlich ist.

Derzeit kommen Wärmepumpen in Deutschland in erster Linie in neugebauten Einfamilienhäusern zum Einsatz. Bei der Sanierung von Bestandsgebäuden – sowohl Einfamilien- als auch Mehrfamilienhäuser – haben Wärmepumpen dagegen noch ein sehr großes Potenzial. Der Wärmepumpenmarkt wächst stetig, aber es sind noch einige Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zu bewältigen.

Das Fraunhofer ISE verfügt über langjährige Erfahrung in der Wärmepumpentechnologie und bildet mit seiner Expertise deren gesamte Wertschöpfungskette ab. So widmen wir uns der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung von Materialien und verschiedenen Komponenten, wir testen und prüfen einzelne Geräte, untersuchen unterschiedliche Wärmepumpenanlagen unter realen Bedingungen im Feld und betrachten die Einbettung der Geräte ins Gesamtenergiesystem. Dabei arbeiten wir eng mit unseren Partnern und Kunden aus Industrie und Forschung zusammen.

Unsere wichtigsten Zielsetzungen sind:

- Verbesserung von Effizienz und Steigerung der ökologischen Bilanz von Wärmepumpen
- Reduktion der Kosten von Wärmepumpentechnologie
- Optimierung von Adsorptionsprozessen z. B. durch Einsatz metallorganischer Gerüstverbindungen
- Sicherer und effektiver Einsatz natürlicher Kältemittel
- Vereinfachung von Installation und Betriebseinstellungen
- Verringerung der Geräuschemissionen der Geräte im Betrieb
- Entwicklung netzdienlicher Betriebsführungsstrategien

## WÄRMEPUMPEN

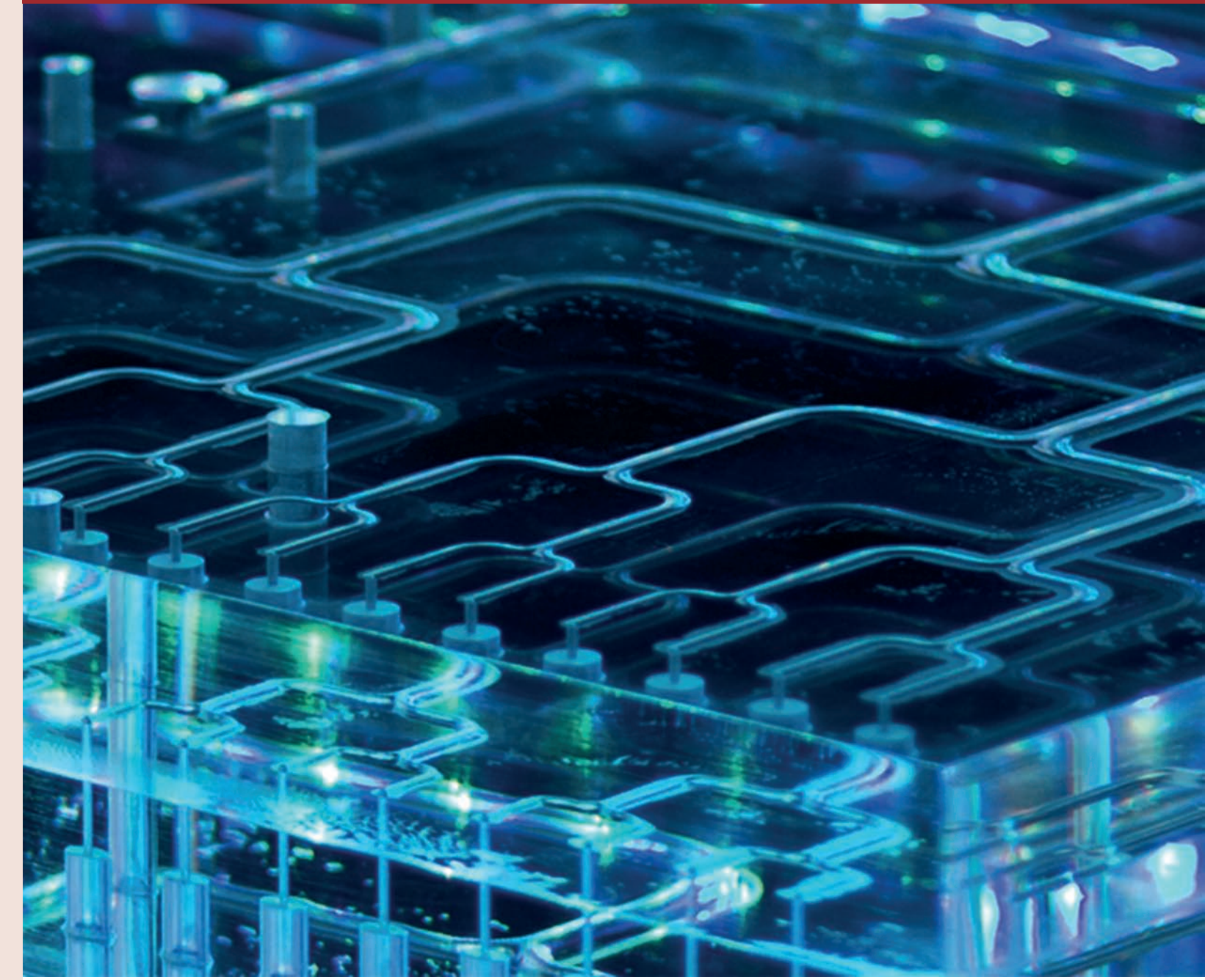
### Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstrasse 2  
79110 Freiburg  
Telefon +49 761 4588-0  
Fax +49 761 4588-9000  
www.ise.fraunhofer.de

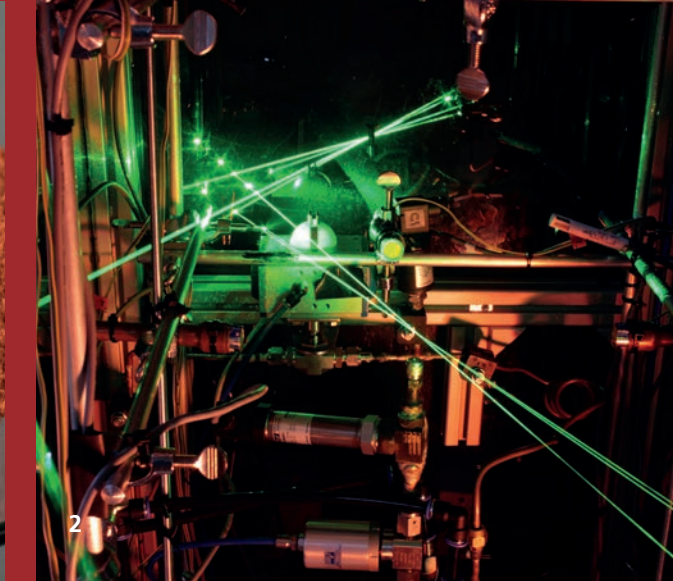
### Koordinator Wärmepumpen

Dr. Marek Miara  
Telefon +49 761 4588-5529  
heatpumps@ise.fraunhofer.de

*Titelbild: Neuartiger Fluidverteiler zur Reduktion  
des Kältemittelleinsatzes in Wärmepumpen.*







## Materialentwicklung und Beschichtung

Neuartige Materialien sowie deren Integration in Bauteile ermöglichen es, die Leistungsdichte, Effizienz und Umweltfreundlichkeit von Wärmepumpen deutlich zu verbessern. Ziele unserer FuE-Aktivitäten sind, die thermophysikalischen Eigenschaften der Materialien und ihre Funktionsweise im Kältekreis zu optimieren.

Wir arbeiten z. B. an neuartigen Sorbentien für thermisch angetriebene Wärmepumpen und Kältemaschinen. Betrachtet werden dabei klassischerweise Zeolithe, Silikagele und Aktivkohlen. Neben diesen konventionellen Materialien forscht das Fraunhofer ISE intensiv an der neuen Materialklasse der metallorganischen Gerüstverbindungen (metal-organic frameworks, MOFs). Diese hochkristallinen Hybridmaterialien sind wesentlich poröser als alle bisher bekannten Materialien. Ihr modularer Aufbau bietet viele Möglichkeiten, MOFs für die jeweilige Anwendung maßgeschneidert zu synthetisieren.

Mit diesen neuen, hochleistungsfähigen Adsorbentien steigen aber die Anforderungen an den Stoff- und Wärmetransport. So forschen wir daran, die thermische Ankopplung des Adsorbens an den Wärmeübertrager bei gleichzeitig guter Zugänglichkeit für das Kältemittel zu optimieren. Dabei erarbeiten wir angepasste Lösungen von der Laborskala bis zu kompletten Wärmeübertragern für die reale Anwendung.

Das Fraunhofer ISE verfügt über langjährige Erfahrung in der Sorptionstechnik und hat bereits verschiedene Applikationstechniken (sprühen, tauchen, rakeln) entwickelt, die für die industrielle Serienfertigung einsatzbereit sind.

Weitere FuE-Arbeiten adressieren Kompressionswärmepumpen und Kältekreise, z. B. sorptive Sicherungselemente für brennbare Kältemittel oder Beschichtungen zur Einstellung gewünschter Oberflächeneigenschaften an Klimaverdampfern.

## Komponenten- und Geräteentwicklung

Die Anforderungen an die Hersteller steigen in Bezug auf die Kompaktheit, Kosteneffizienz, Betriebssicherheit, Geräuschemissionen, Design und Umweltfreundlichkeit von Wärmepumpen. Deshalb unterstützen wir unsere Projektpartner bei der Entwicklung ressourceneffizienter Komponenten und deren Kombination bis hin zum Kompletgerät sowie bei energieeffizienten Betriebsweisen.

Zu diesen komplexen Entwicklungsthemen verfügt das Fraunhofer ISE über eine breite fachliche Kompetenz und apparative Ausstattung für die Charakterisierung und Bewertung von Kältemitteln, Wärmeübertragern, Verdichtern, Kältekreisen und Geräten. Je nach Fragestellung können wir Komponenten thermisch, optisch, hydraulisch, akustisch und elektrisch experimentell umfassend untersuchen und mit Simulationsmodellen analysieren.

So entwickeln wir Methoden zur Optimierung von Kältekreisen. Im Fokus unserer Arbeiten stehen vor allem umweltfreundliche Kältemittel, wie fluorierte, ungesättigte Kohlenwasserstoffe (HFOs), und natürliche Kältemittel wie Propan, Wasser oder Methanol. Mit dem Ziel, die erforderliche Kältemittelmenge zu reduzieren, entwickeln wir Elemente des Kältekreises, wie Verdampfer und Fluidverteiler, weiter. Zudem tätigen wir eigene Voraussentwicklungen, wie z. B. neuartige Wärmeübertragerkonzepte für die übernächste Gerätegeneration.

**1 Metallorganische Gerüstmaterialien erlauben die zielgerichtete Optimierung von Sorptionsmaterialien für unterschiedliche Anwendungsfälle.**

**2 Laser-Doppler-Anemometrie-Messungen zur Analyse der räumlichen Geschwindigkeitsverteilung von austrommendem Propan aus einer definierten Öffnung.**

## Systemanalyse und -optimierung

Die Effizienz einer Wärmepumpenanlage hängt nicht nur vom Gütegrad des Wärmepumpengeräts ab. Der Einsatzbereich (Gebäude, Standort und Nutzung) sowie die Konzeption, Auslegung und Regelung der Anlagenkomponenten und des Gesamtsystems sind ebenso wichtig für einen effizienten, kostenoptimierten und robusten Anlagenbetrieb. Daher nehmen wir neben der Einbindung der Wärmepumpe und ggf. weiterer Wärmeerzeuger auch Speicher, Quellennutzung und Wärmeverteilung (Heizung, Kühlung und Trinkwassererwärmung) in den Blick. Thermo-hydraulische Fragestellungen sind hierbei ebenso von Bedeutung wie die Integration der Wärmepumpe in das elektrische Versorgungs- und Gebäudenetz.

Die aufgezeigten Kriterien eröffnen ein komplexes Feld an Entwicklungsanforderungen, das wir gemeinsam mit unseren Kunden und Partnern für die jeweiligen Anwendungen definieren und bearbeiten. Wir fertigen Konzeptstudien zur Potenzialabschätzung und Vorauswahl sowie Simulationsstudien zur Systemauslegung und -optimierung und Betriebsführung an. Für die Entwicklung von optimalen Regelungsstrategien nutzen wir neben klassischen Methoden auch prädiktive und lernende Verfahren. Hardware-in-the-Loop Messungen unterstützen die Bewertung und Optimierung von Systemkonzepten und Betriebsstrategien.

Wissenschaftliche Auswertungen messtechnischer Untersuchungen im Feld bieten uns die Möglichkeit auch den Einfluss von Installation, Inbetriebnahme und Anlagenbetrieb sowie des Nutzerverhaltens zu untersuchen. Anhand der Analyse von Betriebsbedingungen und Energieeffizienz der einzelnen Systemkomponenten leiten wir betriebsbegleitend Optimierungsmöglichkeiten ab.

**3 Wärmepumpenanlage mit Messtechnik zur kontinuierlichen Ermittlung von Effizienzkennwerten und Betriebsbedingungen.**  
**4 Untersuchung spezifischer Fragestellungen mit modernster Analysetechnik.**

## TestLab Heat Pumps and Chillers

Unser nach DIN EN ISO / IEC 17025 akkreditierte TestLab Heat Pumps and Chillers bietet neueste Technik zur Vermessung und Charakterisierung von Wärmepumpen und Kältemaschinen sowie deren Komponenten. Es prüft gemäß den Normen EN 14511, EN 14825, EN 16147, EN 12309. Das TestLab bietet alle Prüfungen für das Energy Labelling der Wärmepumpen und Kältemaschinen im Rahmen der Ecodesign-Richtlinie, für das Heat Pump Keymark und das EHPA-Gütesiegel an.

Über die standardisierten Methoden hinaus entwickeln wir zusammen mit unseren Kunden individuelle Messverfahren, um den Entwicklungs- und Optimierungsprozess von Geräten und komplexeren Systemen durch realitätsnahe, dynamische Prüfabläufe zeit- und kosteneffizient zu unterstützen. Durch ein modulares Prüfstandkonzept sind Tests verschiedener Technologien und Systemkonfigurationen in einem breiten Spektrum von Betriebsbedingungen mit verschiedenen Wärmeträgermedien möglich. Das Labor bietet zudem Hardware in-the-Loop Testverfahren an.

Neben Anlagen mit einem elektrischen Antrieb von bis zu 30 kW Anschlussleistung können auch thermisch mit Wärme, Erd- oder Prüfgas angetriebene Geräte vermessen werden. Das Labor verfügt über ein integrales Sicherheitskonzept, das den Aufbau und die Vermessung von Komponenten und Systemen mit brennbaren Kältemitteln oder Ammoniak erlaubt. Die Mitarbeiter sind nach der F-Gase-Verordnung, Klasse I, zertifiziert.



## Messkampagnen

Die messtechnische Untersuchung einer Vielzahl von Wärmepumpen unter realen Bedingungen soll Aussagen über die gegenwärtige Performance dieser Technologie ermöglichen. Das Fraunhofer ISE verfügt über Tools und Kompetenzen entlang des gesamten Monitoringprozesses und führt Messungen im In- und Ausland durch. Das Know-how wurde in den letzten 15 Jahren im Rahmen mehrerer Projekte erarbeitet, erprobt und kontinuierlich weiterentwickelt. Dabei wurden bereits über 300 Elektro-Wärmepumpen in neuen und bestehenden Einfamilienhäusern und sowie Anlagen in Mehrfamilienhäusern untersucht.

Zentrale Aufgabe ist die Analyse und Optimierung der Effizienz von Wärmepumpen im realen Betrieb. Neben rein energetischen Analysen können auch individuelle Themen, wie z. B. Fehlerdetektion oder Schallmessung, adressiert werden. Auf Basis detaillierter Messdatenanalysen werden Verbesserungsmöglichkeiten abgeleitet, die anschließend an Hersteller, Planer und Installateur aber auch Gesetzgeber und Anlagenbetreiber fließen.

Während die Effizienz einer Wärmepumpe vom Hersteller optimiert wird, hängt die Jahresarbeitszahl stark von der Installation und Inbetriebnahme des Geräts ab. Mit unseren Feldtests können wir die in dieser Phase aufgetretenen Mängel herausfinden. Diese sind eine wichtige Grundlage, um die Systeme für die Installateure zu vereinfachen.

Für eine erfolgreiche Energiewende sind zudem die Identifikation geeigneter Wärmepumpenanwendungen für Bestandsgebäude, das Lastmanagement mit Wärmepumpen oder bivalente (hybride) Systeme zentrale Themen.

## Wärmepumpen im Energiesystem

Energiesystemische Untersuchungen am Fraunhofer ISE zeigen die Rolle von Wärmepumpen in einem sektorgekoppelten Energiesystem, sowohl auf lokaler als auch nationaler Ebene. Durch den stetig wachsenden Anteil regenerativer Energien im Stromnetz werden Wärmepumpen in Zukunft zu hohen Anteilen aus erneuerbaren Quellen versorgt. Mit der Energiesystemanalyse bietet das Fraunhofer ISE seinen Kunden die Möglichkeit, die Interaktionen mit dem Energiesystem in der regionalen und überregionalen Ebene zu bewerten. Bei der Netzintegration in das Stromnetz, werden sich die Gebäude der Zukunft flexibel an die Bedürfnisse einer regenerativen Stromerzeugung anpassen. Dadurch werden neue Geschäftsmodelle für Versorger, Netzbetreiber und Anlagenbetreiber möglich.

Am Fraunhofer ISE entwickeln und testen wir Werkzeuge und Konzepte für eine optimale Integration von Wärmepumpen ins Stromsystem der Zukunft. Diese umfassen ein lokales Energiemanagement zur optimalen Integration von Wärmepumpen, PV-Batteriesystemen und Elektromobilität, die Entwicklung standardisierter Kommunikationslösungen sowie Energiesystemstudien. Zudem entwickeln wir Lösungen für den Betrieb großer »Wärmepumpen-Pools« im Strommarkt sowie Software für einen dezentralen Peer-to-Peer-Betrieb in Verteilnetzen. Hierzu erstellen wir innovative Betriebsführungssysteme auf Basis modellprädikativer oder agentenbasierter Regelstrategien. Der Regelungsentwurf erfolgt auf Basis von Jahressimulationen mit hoher Zeitauflösung. Die Wärmepumpensysteme werden anschließend mit Hardware-in-the-Loop Tests für die realen Einsatzbedingungen optimiert.

**5 Schwimmendes Plusenergie-Gebäude in Kalkar.**

**6 Die Netzintegration von Wärmepumpen ist für das Energiesystem der Zukunft von großer Bedeutung. ©iStock.com / hxdyl**