

## **Integration von Wärmepumpen - Was können Wärmepumpen und ihre Wärmequellen bei der Energieversorgung von Gebäuden leisten?**

**Franziska Bockelmann, Markus Peter, Mathias Schlosser**  
Steinbeis-Innovationszentrum (SIZ) energie+

**Keywords:** Niedertemperaturwärmequelle und -übertrager, Wärmepumpe, Vordimensionierungsprogramm, Forschungsprojekt "future:heatpump\_II"

### **Zusammenfassung**

Im Zuge des wachsenden Einsatzes von Wärmepumpen steigt auch die Anzahl der am Markt angebotenen, potentiell nutzbaren Niedertemperaturwärmequellen und zugehöriger Wärmeübertrager. Oft scheuen Planer den Aufwand, sich einen ausreichenden Überblick über die verfügbaren Technologien und Randbedingungen, wie z. B. Flächenbedarfe, Investitionskosten oder ähnliches, zu den einzelnen Systemen und Komponenten anzueignen. Auf Grundlage der bisherigen Ergebnisse und Erfahrungen sowie der Entwicklung des Vordimensionierungsprogramms WP<sub>SOURCE</sub> ergeben sich nach Abschluss des Projektes future:heatpump für die Einbindung und Nutzung von Wärmepumpen, sowie diverser zugehöriger Komponenten, weitere Schwerpunkte, die im Forschungsprojekt future:heatpump II bearbeitet werden. Von den Schwerpunkten werden in diesem Beitrag die folgenden Themen behandelt.

- die Kompatibilität unterschiedlicher Wärmepumpentechnologien, wie Absorption-, Adsorption- oder leistungsgesteuerte Wärmepumpen mit unterschiedlichen Niedertemperaturwärmequellen und -übertragungssystemen.
- die Berücksichtigung einer bivalenten Betriebsweise von zwei Wärmeerzeugern (z. B. Wärmepumpe und Gaskessel). Diese ist unter anderem für Konzepte in Mehrfamilienhäusern und Bürogebäuden relevant.
- die Integration von Photovoltaik zur Deckung des Strombedarfs von Wärmepumpen aber auch anderen Strombedarfs, z. B. des Haushaltsstroms.
- die Integration von Solarthermie zur Regeneration erdgekoppelter Niedertemperaturwärmequellen.
- Energiekonzepte und deren Planung in Bezug auf die Versorgung von Siedlungen und Stadtteilen mittels Wärmepumpen.

### **1. Einleitung**

Die Einbindung von Wärmepumpen in die Energieversorgung von Gebäuden ist eine zunehmend angewandte Technik. Dies spiegelt sich auch in den Verkaufszahlen und der Vielfalt der am Markt angebotenen Wärmepumpen wider. Um das Potenzial des gesamten Energieversorgungssystems möglichst effizient ausschöpfen zu können, ist die Wahl der Niedertemperaturwärmequelle und des zugehörigen Wärmeübertragungssystems sowie die Anbindung an das Gebäude von entscheidender Bedeutung. In diesem Zusammenhang stellt das Programm WP<sub>SOURCE</sub> (entwickelt im Rahmen des F&E-Projektes "future:heatpump" am Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS) der Technischen Universität Braunschweig) ein multifunktionales Hilfsmittel dar, das in vielen Bereichen für die projektspezifische Vorauswahl und Dimensionierung von Wärmequellen und Wärmeübertragungssystemen für Wärmepumpen eingesetzt werden kann.

Auf der Grundlage der Ergebnisse und Erfahrungen aus dem Forschungsprojekt future:heatpump sowie der Entwicklung des Vordimensionierungsprogramms WP<sub>SOURCE</sub> ergeben sich hinsichtlich der

Einbindung und Anwendung von Wärmepumpen wie auch diverser zusätzlicher Komponenten die mit Wärmepumpen gekoppelt werden können, neue Schwerpunkte. Im Rahmen des Forschungsprojektes "future:heatpump\_II" (gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi) werden über die Inhalte des Forschungsprojektes future:heatpump hinausreichende Themen bearbeitet. Die Bearbeitung und Analyse der gewählten Aspekte ermöglicht eine Erweiterung des Programms WP<sub>SOURCE</sub> und trägt zum vermehrten Einsatz von Wärmepumpen bei.

## 2. Vordimensionierungsprogramm WP<sub>SOURCE</sub>

Um bereits im Rahmen der Vorplanung dem Planer und Bauherren die Bewertung geeigneter Wärmepumpensysteme sowie deren Niedertemperaturwärmequellen und –übertrager zu erleichtern, aber auch um die Verbreitung der Wärmepumpentechnologie im Allgemeinen voranzubringen, ist eine übersichtliche Zusammenstellung unterschiedlicher technologischer Ansätze hilfreich. WP<sub>SOURCE</sub> soll für die Nutzung durch eine breite Anwenderschaft zur Verfügung stehen und unterschiedlichen Detaillierungsgraden und Gesichtspunkten bei den Projektierungen und Planungen von Wärmepumpenanlagen Rechnung tragen. Aus diesem Grund ist Flexibilität und Vielseitigkeit bei den Einstellungen und Eingaben ein wesentliches Merkmal von WP<sub>SOURCE</sub>.

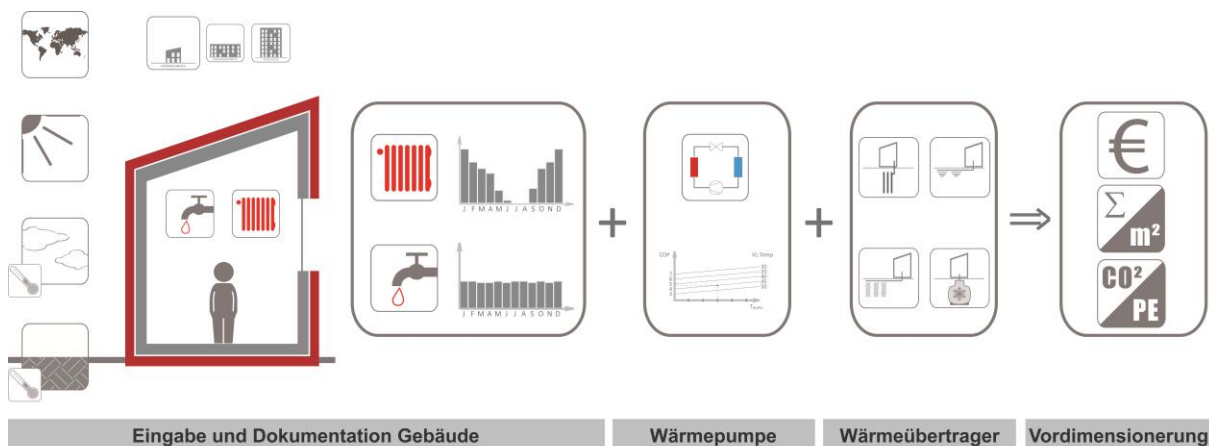


Abb. 1: Schema zum Aufbau und Informationsfluss in WP<sub>SOURCE</sub>

Die Bedienung von WP<sub>SOURCE</sub> beginnt mit der Dokumentation und Spezifikation der Ausgangssituation und der Randbedingungen des jeweiligen Projektes. Nach der Eingabe allgemeiner Projektdaten gibt der Nutzer u. a. bekannte Kennwerte, wie etwa die Grundstücksfläche, den Gebäudetyp (Ein- oder Mehrfamilienhaus oder Bürogebäude) und dessen thermischen Standard sowie ggf. Energiebedarfswerte ein. Darüber hinaus trifft der Nutzer Festlegungen bezüglich des auszulegenden Heiz- und/oder Kühlsystems. Aus diesen Eingaben und weiteren, projektspezifischen Auswahlmöglichkeiten zum Gebäude, wird vom Programm der Heiz- und Kühlenergiebedarf sowie die Heiz- und Kühllast ermittelt.

Grundsätzlich kann sowohl ein Anwender mit detaillierten Kenntnissen und Rahmendaten zu einem Projekt und die zu erstellende Wärmepumpenanlage ebenso vom Programm profitieren, wie ein Nutzer mit nur groben Projektinformationen. Je nach Informationsstand kann der Nutzer das Gebäude z. B. durch Angaben aus einer EnEV-Bilanzierung, nach eigenen Angaben zum Heizenergieverbrauch oder an Hand der Baualtersklasse definieren. In Abhängigkeit vom Heizleistungsbedarfs des definierten Gebäudes verwendet WP<sub>SOURCE</sub> zur weiteren Berechnung Wärmepumpen mit entsprechender Leistung. Die Kenndaten der im Programm implementierten Wärmepumpen wurden aus Daten einer Vielzahl von zurzeit am Markt relevanten Geräten

generiert. Die für das Programm analytisch generierten Geräte repräsentieren Wärmepumpen mittlerer Güte für die jeweilige Leistung und dienen zu programminternen Berechnungen, z. B. von Arbeitszahlen. Über die mittlere monatliche Arbeitszahl der Wärmepumpe und den ermittelten monatlichen Heizwärmebedarf wird die notwendige Entzugsenergie aus der Niedertemperaturwärmequelle berechnet. Diese Entzugsenergie bildet eine wesentliche Grundlage bei der Auswahl und (überschlägigen) Dimensionierung der Niedertemperaturwärmequelle.

Auf der Basis der Eingaben und der im Programm hinterlegten Funktionen leitet WP<sub>SOURCE</sub> die benötigten Größen zur Vorauswahl und überschlägigen Dimensionierung geeigneter Niedertemperaturwärmequelle und zugehöriger Wärmeübertrager für einen individuellen Anwendungsfall ab. Auch ökologische (CO<sub>2</sub>-Emission, Primärenergie) und wirtschaftlichen Faktoren (Investitions- und Betriebskosten) für die unterschiedlichen Niedertemperaturwärmequelle/ Wärmeübertrager-Kombinationen werden dokumentiert.

### **3. Erweiterung des Vordimensionierungsprogramms – Zusatzanwendungen und Kombinationen von bzw. mit Wärmepumpen**

Heute dienen Wärmepumpen als Element innerhalb eines Energieversorgungskonzepten für Gebäuden nicht mehr ausschließlich der Beheizung der Gebäude. Im Rahmen der Entwicklung von klimaneutralen Gebäudekonzepten werden Wärmepumpen als „Grundelement“ gesehen und mit weiteren Bausteinen zu ganzheitlichen Versorgungskonzepten zusammengeführt.

Mit Hilfe des Programms WP<sub>SOURCE</sub> und den zurzeit in der Umsetzung befindlichen Erweiterungen, z. B. auf bivalente Systeme oder die Einbindung von Photovoltaik und Solarthermie, soll die Konzeptfindungs- und Planungsphase von Gebäuden und Anlagen mit Blick auf sinnvolle Einbindungen regenerativer Energiequellen sowie unterschiedlicher Energieerzeuger unterstützt und die Verbreitung von klimaneutralen Gebäuden erleichtert werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes future:heatpump\_II werden Lösungsansätze für zusätzliche Themenschwerpunkte erarbeitet und analysiert, die dem Planer und Anwender der Systeme für die Praxis in einer aktualisierten Version von WP<sub>SOURCE</sub> zur Verfügung gestellt werden. Unterschiedliche Systemkombinationen werden evaluiert und aussagekräftige Ergebnisse zu deren Leistungsfähigkeit dokumentiert. Die Sinnhaftigkeit der untersuchten Konzepte soll dargestellt und durch wissenschaftliche Erkenntnisse begründet werden.

Nachfolgend werden die ersten Ergebnisse und Arbeitsstände der im Rahmen von future:heatpump\_II in den Fokus genommenen Schwerpunkte zusammenfassend aufgeführt.

#### **3.1 Wärmepumpentypologien und anwendbare Niedertemperaturwärmequellen**

Hinsichtlich der Wärmepumpentechnologien sind bei der Betrachtung und Analyse der aktuellen Marktsituation in Deutschland unterschiedliche Bauarten von Wärmepumpen zu charakterisieren. Die gebräuchlichsten Wärmepumpentypen können wie folgt eingeteilt werden:

- Art der Wärmequelle (Luft, Wasser, Sole)
- Art des zu beheizenden Systems, das heißt der *Wärmesenke* (Wasser oder Luft)
- Art der Antriebsenergie (elektrisch, Gas)
- Art des Verdichtungsprozesses (thermisch, elektrisch)
- Art der Leistungsregelung (On-Off, Inverter)

Neben klassischen elektrischen Kompressionswärmepumpen werden zunehmend, wenn auch derzeit ohne große Marktanteile, gasbetriebene Wärmepumpen und unterschiedliche Bauarten von Sorptionswärmepumpen (thermisch verdichtenden Absorptions- und Adsorptionswärmepumpen)

angeboten (Abb. 2). Gasbetriebene Wärmepumpen stellen eine Alternative zu Gasbrennwertgeräten in Bestandsgebäuden dar. Gasmotorwärmepumpen und gasbetriebenen Sorptionsanlagen bauen auf der in Deutschland weit etablierte Gasbrennwerttechnik auf. Sie verbinden hocheffiziente Gasbrennwerttechnik mit der Nutzung von Umweltwärme. In der Vergangenheit wurde Sorptionstechnik vorrangig bei der Kälteerzeugung angewendet. Sie ist daher in der Praxis meist in Kältemaschinen anzutreffen. Da im Bereich Sorptionstechnik in Allgemeinen hohe Temperaturen als Antriebsenergien benötigt werden, wie sie etwa aus industrieller Abwärme (z. B.  $> 50^{\circ}\text{C}$  oder  $> 75^{\circ}\text{C}$ ) zur Verfügung stehen, sind Niedertemperaturwärmequellen, die üblicherweise von Wärmepumpen genutzt werden, für diese Technologie kaum geeignet. Aus diesem Grund sind Sorptionswärmepumpen in der Regel nur in Verbindung mit einer gasbetriebenen Wärmepumpe als Wärmequelle (Gasmotor, hohe Temperaturen durch Gasverbrennung) oder einer anderen Hochtemperaturwärmequelle umsetzbar. Am Markt sind Sorptionswärmepumpen gegenwärtig von geringer Bedeutung.

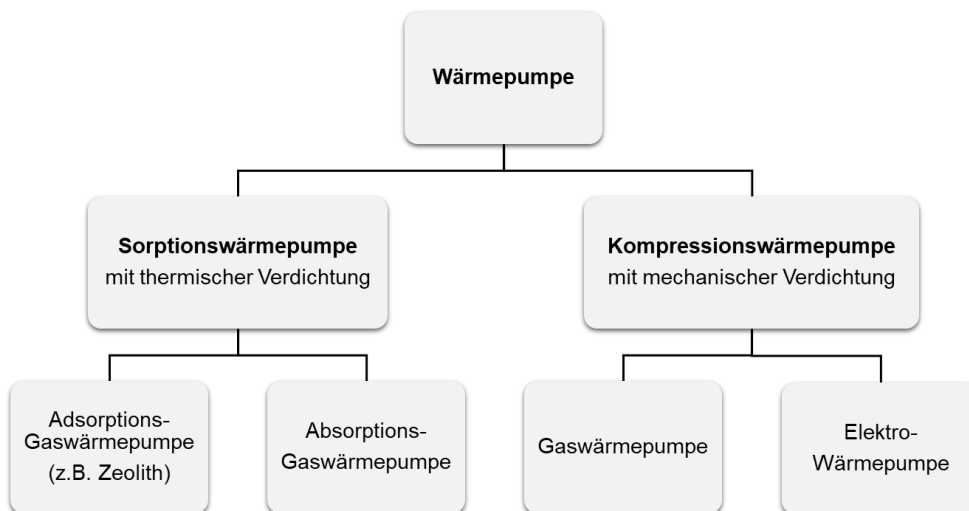


Abb. 2: Aufteilung unterschiedlicher Wärmepumpentypen nach deren Antriebsart

Ein Vergleich der genannten Wärmepumpentechnologien zeigt, dass sich die Betriebsweise und der Aufbau der einzelnen Bauformen teilweise nur wenig voneinander unterscheiden. Alle Technologien können zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung sowie, im reversiblen Betrieb, zur Kühlung eingesetzt werden. Der grundlegende Unterschied zwischen elektrischen Wärmepumpen und Gasmotorwärmepumpen ist die Antriebsart des Kompressors. Der thermodynamische Kreisprozess ist bei beiden Bauarten identisch. Während bei einer elektrischen Kompressionswärmepumpe ein Elektromotor den Kompressor zur Verdichtung des Arbeitsmittels treibt, geschieht dies bei einer Gaswärmepumpe durch einen Gasmotor. Im Gegensatz zum elektrischen Antrieb wird die durch den Betrieb des Gasmotors entstehende Wärme ebenfalls zum Heizen, also als Nutzwärme, verwendet. Neben mechanischen Verdichtern gibt es die sogenannte thermische Verdichtung. Die Sorptionswärmepumpen wenden dieses Verfahren an. Es wird hier zwischen Absorptions- und Adsorptionswärmepumpen unterschieden. Die thermische Verdichtung bei Sorptionswärmepumpen beruht auf der physikalischen Bindung eines Gases an einen Feststoff (Adsorption) bzw. der physikalischen Bindung einer Flüssigkeit oder eines Gases in einer Flüssigkeit (Absorption). Beide Prozesse finden unter Abgabe von Wärme statt. Hinsichtlich der Nutzbarkeit unterschiedlicher Niedertemperaturwärmequelle mit den beschriebenen Wärmepumpentechnologien zeigt sich, dass prinzipiell, analog zur elektrischen Wärmepumpe, alle Wärmequellen –Außenluft, Sole und Wasser– auch für gasbetriebene Wärmepumpen zur Anwendung kommen können.

Bei der Dimensionierung und Planung eines Wärmeübertragersystems zeigt sich ein Vorteil der gasbetriebenen Wärmepumpen (mechanisch als auch thermisch). Bei dieser Technologie kann die Verbrennungswärme zusätzlich genutzt und damit das Quellsysteme weniger belastet, d. h. ihm weniger Energie entzogen werden. Aus diesem Grund kann das Wärmeübertragersystem zur Nutzung von Umweltwärme im Vergleich zu konventionellen elektrischen Wärmepumpen bei gasbetriebenen Wärmepumpen kleiner dimensioniert werden.

Tab. 1 fasst die hier betrachteten Wärmepumpentechnologien zusammen und stellt ihre Vor- und Nachteile dar. Bewertungen in Hinblick auf ökologische und ökonomische Effekte der einzelnen Technologien hängen unter anderem von den aktuellen bzw. zukünftigen Strom- und Gaspreisen sowie den CO<sub>2</sub>-Equivalenten ab.

Tab. 1: Unterschiede und Anwendungsfelder unterschiedlicher Wärmepumpentechnologien

	<b>Elektrische Wärmepumpe</b>	<b>Gasmotor-Wärmepumpe</b>	<b>Gasadsorptions-wärmepumpe</b>	<b>Gasabsorptions-wärmepumpe</b>
<b>Betriebsart / Medium</b>	mechanischer Verdichter / elektrisch	mechanischer Verdichter / Gas	thermischer Verdichter / Gas; (Zeolith)	thermischer Verdichter / Gas
<b>Temp.-Niveau der Quelle</b>	je nach Quellenart (Luft, Wasser, Erdreich) -5 °C bis 25°C			
<b>Vorlauftemp.</b>	35 – 55 °C / 65 – 70 °C (Heizung / Trinkwarmwasser)			60 – 70 °C
<b>Leistungsbereich</b>	4 – 300 kW	50 – 200 kW	bis 10 kW <b>(Produkte nicht mehr am Markt)</b>	20 – 45 kW
(je Wärmepumpe, Kaskaden möglich)				
<b>Anwendungsbereich</b>	Wohngebäude (ein- und Mehrfamilienhaus) bis hin zu Nichtwohngebäude (Bürogebäude, Krankenhäuser, ...) und Fernwärmenetze sowie Produktionsanlagen	Mehrfamilienhäuser (Neubau), Gewerbe und Industrie, nicht Wohngebäude, Bestandsbau	Einfamilienhausbau	Mehrfamilienhaus, Industrie, Gewerbe, Hotels und Dienstleistungsunternehmen, Bestandsbau und für Gebäude mit hohem Wasserbedarf
<b>Vorteile</b>	alle Niedertemperaturwärmequellen nutzbar	für eine einfache und effektive energetische Sanierung von Gasheizsystemen, da das vorhandene Wärmeverteiler- und Übergabesystem größtenteils weiterverwendet werden kann (vorhandene Gasinfrastruktur meist nutzbar) Nutzung der Verbrennungswärme, daher bis zu 40% kleinere Niedertemperaturwärmequelle möglich die Wärme steht auf unterschiedlichen Temperaturniveaus zur Verfügung.		kaum mechanisch bewegte Teile, daher besonders geräusch- und wartungsarm
<b>Nachteile</b>	Investitionskosten und Platzbedarf für Quellsystem	Gasanschluss sowie Abgassystem erforderlich; größtenteils nur Luft-Wasser-Wärmepumpen auf dem Markt		

### 3.2 Bivalenter Heizbetrieb von Wärmepumpenanlagen

In Bezug auf Wärmepumpenanlagen werden unter bivalenten Systemen bzw. einer bivalenten Betriebsweise Heizungsanlagen verstanden, die z. B. eine elektrische Wärmepumpe in Kombination mit üblicherweise einem weiteren Wärmeerzeuger (z. B. Gas- oder Festbrennstoffkessel oder Fernwärme) und einer übergeordneten Regelung vereinen.

Neben der energetischen Versorgung von Neubauten kann auch bei der anlagentechnischen Sanierung oder Modernisierung von bestehenden Heizungsanlagen der bivalente Betrieb von zwei Wärmeerzeugern eine sinnvolle Option sein. Für Bürogebäude und andere Nicht-Wohngebäude, aber auch für Mehrfamilienhäuser, ist eine Heizungsanlage, die den bivalenten Betrieb einer Wärmepumpenanlage gestattet, sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht oft zweckmäßig. In diesem Zusammenhang wird die Wärmepumpe im Idealfall zur Deckung einer Grundlast herangezogen. Der zweite Wärmeerzeuger dient zur Deckung der Spitzenlast. Aufgrund der geringen Leistungsanforderungen ist ein klassischer bivalenter Betrieb in Einfamilienhäusern eher selten zu finden.

Insbesondere bei der Verwendung von Luft/Wasser-Wärmepumpen ist eine monovalente Betriebsweise ökologisch und ökonomisch oft nicht sinnvoll. Zur temporären oder regelmäßigen Unterstützung der Trinkwassererwärmung kann in diesen Fällen ein zusätzlicher Wärmeerzeuger, z. B. eine Solarthermieanlage oder ein Gasbrennwertgerät ratsam sein und eingebunden werden. Der bivalente Betrieb eines Wärmepumpensystems kann aus unterschiedlichen Gründen folgerichtig sein:

- Die Wärmepumpe kann die für die Raumheizung und/oder die Trinkwassererwärmung geforderte Temperatur nicht ganzjährig oder nur sehr ineffizient zur Verfügung stellen.
- Die minimal zulässige Wärmequellentemperatur für die Wärmepumpe wird im Betrieb unterschritten.
- Der Platzbedarf für die Niedertemperaturwärmequelle reicht für einen monovalenten Betrieb nicht aus.
- Die Wärmepumpe kann die für die Heizung oder Trinkwassererwärmung geforderte Heizleistung nicht ganzjährig zur Verfügung stellen.
- Im Rahmen der energetischen Modernisierung eines Gebäudes wird die vorhandene Heizungsanlage durch eine Wärmepumpe ergänzt. Durch eine Sanierung der Gebäudehülle sinkt die Heizlast, sodass der vorhandene Kessel zu einem späteren Zeitpunkt außer Betrieb genommen werden kann.
- Durch die Verwendung unterschiedlicher Energieträger bieten bivalente Systeme eine höhere Versorgungssicherheit.

Aus unterschiedlichen Anwendungsfällen resultieren unterschiedliche Betriebsweisen (Abb. 3). Grundsätzlich kann die Betriebsweise einer Wärmepumpe und eines zusätzlichen Wärmeerzeugers wie folgt umgesetzt sein

- *monovalent*  
Hier erfolgt die Wärmebereitstellung ausschließlich über die Wärmepumpe. Ein zweiter Wärmeerzeuger wird nicht betrieben und ist im Normalfall nicht erforderlich.
- *bivalent parallel*  
Oberhalb des definierten Bivalenzpunktes (z. B. einer festgelegten Außentemperatur) erfolgt die Wärmebereitstellung ausschließlich durch die Wärmepumpe. Unterhalb des Bivalenzpunktes wird der zweite Wärmeerzeuger parallel zur Wärmepumpe betrieben.

- *bivalent teilparallel*  
Oberhalb des Bivalenzpunktes erfolgt die Wärmebereitstellung ausschließlich durch die Wärmepumpe. Unterhalb des Bivalenzpunktes wird der zweite Wärmeerzeuger parallel zur Wärmepumpe betrieben. Liegt die Außentemperatur unterhalb eines zusätzlich definierten *Abschaltpunktes*, wird die Wärmepumpe abgeschaltet und die gesamte Heizwärme durch den zusätzlichen Wärmeerzeuger bereitgestellt.
- *bivalent alternativ*  
Bei dieser Betriebsart erfolgt die Wärmebereitstellung oberhalb des Bivalenzpunktes ausschließlich durch die Wärmepumpe. Unterhalb des Bivalenzpunktes wird die Wärmepumpe abgeschaltet und die gesamte Heizwärme durch den zweiten Wärmeerzeuger bereitstellt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes und der Umsetzung im Vordimensionierungsprogramm wird neben dem monovalenten Betrieb der bivalent parallele Betrieb betrachtet. Andere Betriebsweisen werden informativ benannt, zur Dimensionierung jedoch nicht näher analysiert.

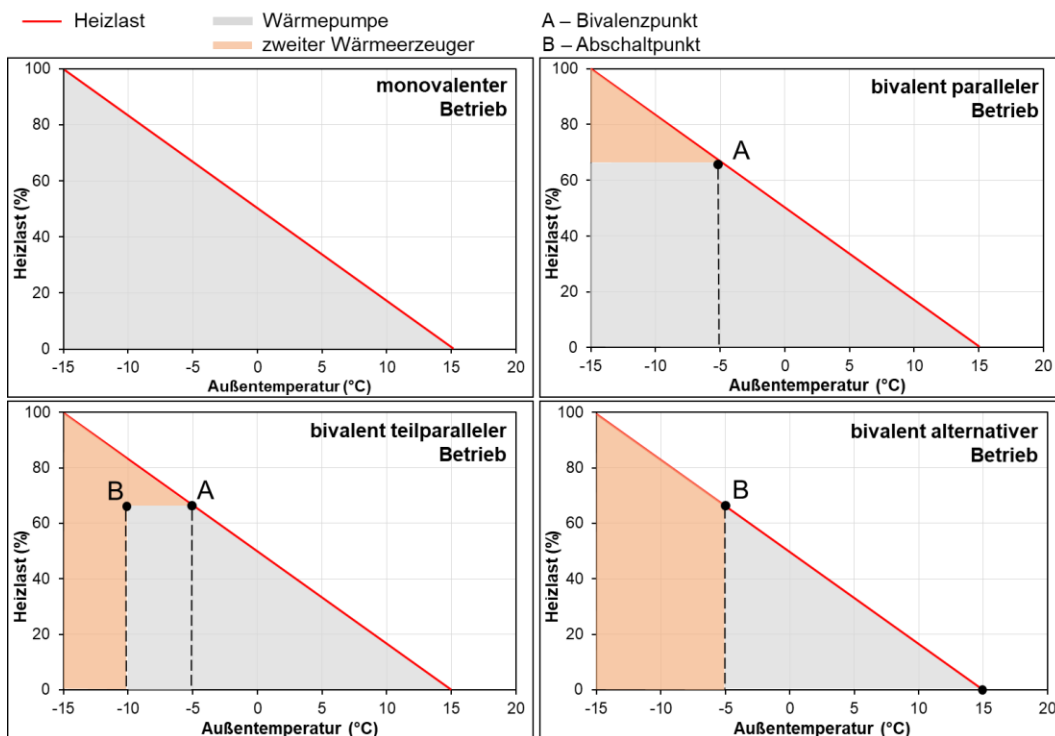


Abb. 3: Betriebsweisen einer Wärmepumpe und eines zusätzlichen (zweiten) Wärmeerzeugers

Hinsichtlich der Einbindung eines bivalenten Betriebes und der zugehörigen Regelung sowie der Dimensionierung der Anlagenkomponenten orientiert sich die Erweiterung von  $WP_{SOURCE}$  zunächst an den Vorgaben der DIN V 4701-10 sowie dem Informationsblatt Nr. 57 des Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH). Als Zahlenwert für den Bivalenzpunkt wird die Außentemperatur herangezogen.

Für die Dimensionierung und die Ermittlung des Bivalenzpunktes stehen dem Nutzer zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Direkte Festlegung des Bivalenzpunktes, d. h. des Umschaltpunktes der Wärmepumpe auf den zweiten Wärmeerzeuger. Im Weiteren werden dann über das Programm und der Standortangabe der Anteil am Gesamtwärmebedarf sowie die einzelne Leistungsdaten für die

Erzeuger ermittelt sowie die Energiemengen, die im weiteren Einfluss auf die Dimensionierung der Niedertemperaturwärmequellen und der zugehörigen Wärmeübertrager nehmen.

2. Festlegung des Anteils der Wärmepumpe am Gesamtleistungsbedarf. Auf dieser Basis und den Standort- sowie Leistungsdaten der Wärmepumpe ermittelt das Programm den Bivalenzpunkt und die Energiemengen, die im weiteren Einfluss auf die Dimensionierung der Niedertemperaturwärmequellen und der zugehörigen Wärmeübertrager nehmen.

Ein weiterer Anwendungsfall für einen bivalenten Betrieb ist die Einbindung von Solarenergie. Seitens der Haustechnikplanung und/oder Architekten besteht oft Interesse, die thermische Nutzung von Solarenergie nicht nur zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung, sondern auch zur Raumheizung in die Wärmeversorgung von Ein- und Mehrfamilienhäusern zu integrieren. Neben einem Gasbrennwertgerät oder dem Anschluss an Fernwärme sowie weitere Wärmequellen kann auch Solarthermie zur Trinkwassererwärmung aber auch zur Raumheizungsunterstützung zum Aufbau einer bivalenten Wärmeversorgung genutzt werden. Im Rahmen der Erweiterung von  $WP_{SOURCE}$  wird die solare Unterstützung der Trinkwassererwärmung sowie der Raumheizung separat betrachtet. In den Projektbearbeitung sowie im Programm  $WP_{SOURCE}$  fällt die thermische Nutzung von Solarenergie nicht in den Bereich eines „klassischen“ bivalenten Betriebes.

### 3.3 Integration von Solarthermie zur Regeneration geothermischer Wärmequellen

Bereits in diversen Forschungsprojekten wurde der Einsatz solarthermischer Kollektoren oder Absorber in Verbindung mit erdgekoppelten Wärmepumpensystemen untersucht. So wurden die Relevanz und die Effekte einer solarthermischen Regeneration des Erdreichs z. B. in den am Institut für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH) durchgeführten Projekten Terra-Solar-Quelle und GeoSolar-WP [2-4] aufgezeigt. Die betrachteten Konzepte beruhen darauf, dass ausgehend von einer Wärmepumpe eine Solaranlage in den Primärkreis (Niedertemperaturwärmekreis) der Wärmepumpe eingebunden wird. Da das Temperaturniveau des Primärkreises durch die Wärmepumpe abgesenkt wird, kann die zur Verfügung stehende solare Energie im Vergleich zu einer reinen Trinkwassererwärmung oder Heizungsunterstützung wesentlich länger genutzt werden. Die Gründe und Ziele für die Einbindung und Nutzung thermischer Solarenergie in Verbindung mit Wärmepumpensystemen beruhen auf

- einer Reduzierung der benötigten Flächen und/oder Tiefen bei der Erschließung des Erdreichs,
- einer Reduzierung des Material- und/oder Bauaufwandes,
- dem positiven Einfluss einer Regeneration auf den Betrieb der Wärmepumpe,
- der Erzielung ausgeglichener Energie- und Temperaturbilanzen und teilweisen Kompensation der saisonalen Verschiebungen zwischen Wärmeangebot aus der Umwelt und Wärmebedarf,
- dem Kosten/Nutzen-Verhältnis der Maßnahme(n).

Die Nutzung von erdgekoppelten Niedertemperaturwärmequellen zur Wärmebereitstellung für Wärmepumpen führt zu einem bedarfsorientierten Wärmeentzug aus dem Erdreich, der nicht immer durch einen natürlichen Wärmeeintrag ausgeglichen werden kann. Dadurch kommt es vor allem bei Erdwärmesonden zu langfristigen Auskühleffekten des Untergrundes, die einen negativen Einfluss auf die Systemeffizienz haben. Mithilfe von thermischen Sonnenkollektoren oder Solar-absorbern kann regenerative, thermische Energie gezielt in das Erdreich eingebracht und der Wärmeentzug durch eine Wärmepumpe ausgeglichen werden. Auf diese Weise können das Erdreich regeneriert und langfristige Auskühleffekte vermieden werden. Die damit einhergehende Erhöhung der Quellentemperatur für die Wärmepumpe wirkt sich in höheren Systemarbeitszahlen aus.



Bei der Dimensionierung von Erdwärmekollektoren kann der gezielte Eintrag thermischer Energie in das Erdreich zu einer Reduzierung der notwendigen Kollektorfläche beitragen. Durch die Vermeidung kritischer Frost- und Erschöpfungszustände infolge Regeneration kann ein geringerer Verlegeabstand der Kollektorrohre umgesetzt werden. Da der hohe Bedarf an unversiegelter Fläche ein wesentliches Hemmnis für den Einsatz von Flächenkollektoren darstellt, ist die Reduzierung der notwendigen Fläche durch Regeneration für die Anwendung dieser Technologie von besonderem Interesse.

Bei der Einleitung thermischer Energie in den Solekreislauf eines Übertragungssystems sind die zulässigen Eintrittstemperaturen zu beachten. So darf die Eintrittstemperatur in einen Flächenkollektor im Allgemeinen 25 °C nicht überschreiten. Aus diesem Grund werden zur Regeneration des Erdreichs in der Regel unverglaste Kollektoren, üblicherweise Solarabsorber, eingesetzt.

Tab. 2 fasst wesentliche zur Regeneration von erdgekoppelten Niedertemperaturwärmequellen relevante Eckdaten und Anwendungsfälle zusammen.

Tab. 2: Unterschiede und Einflüsse von solarer Regeneration von Erdwärmekollektoren und -sonden

	<b>Erdwärmekollektoren (EWK) [2]</b>	<b>Erdwärmesonden (EWS) [3,4]</b>
<b>Ziel der Regeneration</b>	Reduzierung der Kollektorfläche bei gleichbleibender Effizienz	Reduzierung der Sondenlänge und Verbesserung der Systemeffizienz
<b>Einbindung der Solarthermie</b>	Primärseitige Reihenschaltung der Solarkollektoren oder -absorber mit EWK	Primärseitige Reihenschaltung der Solarkollektoren oder -absorber mit EWS
<b>Untersuchte Kollektortypen</b>	Schwimmbadabsorber, Unabgedeckte PVT- und Fassadenkollektoren	Unverglaster Kollektor (Solarabsorber)
<b>Regelung</b>	Eintrittstemperatur EWK max. 25 °C; Quellentemperaturen minimal -5 °C	
<b>Einfluss der Regeneration</b>	Vermeidung kritischer Frostzustände und Begrenzung von Erschöpfungszuständen der EWK	Umgehen von langfristigen Auskühleffekten sowie Steigerung der Jahresarbeitszahl (JAZ)
<b>Einfluss</b>	Reduzierung der Kollektorfläche bis zu 50%. Anwendbarkeit unabhängig von der Bodenart. Gute Kompensationsmaßnahme bei unterdimensionierten EWK.	Steigerung der JAZ und Anhebung der Minimaltemperaturen im Erdreich. Reduktion der Sondenlänge um bis zu 30 %. Bei eindeutig unterdimensionierten Systemen ist der Einfluss signifikant. Effizienzgewinne steht sonst in keinem wirtschaftlichen Verhältnis zum Aufwand.

### 3.5 Umsetzbarkeit von Wärmepumpen in Nahwärmenetzen

Vor dem Hintergrund der Energiewende ist eine energieeffiziente Wärmebereitstellung für Raumheizung und erwärmtes Trinkwasser unumgänglich. Für die Wärmeversorgung von Siedlungen und Quartieren bilden Nahwärmenetze mit Wärmepumpen zukünftig ein wichtiges Infrastrukturelement. Wärmepumpen können die benötigte Wärme im Vergleich zu fossilen Wärmeerzeugern mit geringen Primärenergieanteilen bereitstellen und verfügen, richtig dimensioniert, über hohe Effizienz. Dabei bieten sie die Möglichkeit einer räumlichen und zeitlichen Abstimmung von Wärmequelle, Wärmeerzeugung und Wärmenachfrage über Netzauslegung,

Netztemperaturen und Wärmespeicher. Auf diese Weise können wirtschaftlich und technisch optimierte Wärmeversorgungssysteme geschaffen werden. Die Einbindung von Wärmepumpen in Nahwärmenetze kann die Erschließung von zuvor ungenutzten und natürlichen Niedertemperaturwärmequellen zur Wärmebereitstellung ermöglichen. Dadurch können die Primärenergieanteile und CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Wärmeerzeugung reduziert werden.

Aus den im Projekt erarbeiteten Grundlagen und betrachteten Beispielnetzen lassen sich unterschiedliche Szenarien für eine zukunftsorientierte Nahwärmeversorgung von Quartieren mit Wärmepumpen entwickeln. Die Konzepte unterscheiden sich in den Netztemperaturen, Betriebsweisen und nutzbaren Niedertemperaturwärmequellen sowie in den Einsatzgebieten.

#### *Konventionelles Nahwärmenetz mit zentraler Wärmepumpe*

Der Aufbau konventioneller Nahwärmenetze ist in erster Linie für Gebiete mit zu versorgenden Gebäuden interessant, in denen bislang gebäudeinterne und brennstoffbasierte Wärmeerzeugung vorliegt, die hohe Vorlauftemperaturen voraussetzen. Damit kommen vor allem Bestandsquartiere mit konventionellen Heizungssystemen in Betracht, die in der Regel zudem hohe Wärmebedarfsdichten aufweisen. Wohn- und Mischgebiete mit Mehrfamilienhäusern und Gewerbeimmobilien sind für konventionelle Nahwärmeversorgungskonzepte besonders interessant. Aufgrund der niedrigeren Wärmebedarfsdichte sind Versorgungsgebiete mit reiner Einfamilienhausbebauung (insbesondere Neubauten) weniger geeignet. Für die Verbraucher fallen bei der Umstellung auf eine konventionelle Nahwärme überschaubare Investitionen, im Wesentlichen in neue Heizungstechnik, an (Tausch der alten Heizungsanlage gegen einen Hausübergabestation für die Nahwärme). In Verbindung mit einer Umweltwärmequelle stellt eine zentrale Wärmepumpe (Deckung der Grundlast des Wärmenetzes) in Verbindung mit einem weiteren Wärmeerzeuger Vorlauftemperaturen zwischen 60 °C und 85 °C zur Verfügung. Dieses Temperaturniveau des Nahwärmenetzes reicht in der Regel für die Raumheizung und die Trinkwassererwärmung aus. Je nach Wärmeentzug liegt die Rücklauftemperatur zwischen 50 °C und 35 °C. Aus untersuchten Netzen lässt sich ableiten, dass sich Trassenlängen von etwa eineinhalb Kilometern realisieren lassen. Als Wärmequellen für die Wärmepumpen kommen sowohl Erdwärmesonden, Grundwasser sowie solarthermisch gespeiste Langzeitwärmespeicher in Frage. Bietet das Versorgungsgebiet die notwendige Infrastruktur, kann zusätzlich Abwasser als Wärmequelle nutzbar gemacht werden.

konventionelles Nahwärmenetz mit zentraler Wärmepumpe				
Versorgungsgebiet	Gebäude	Netz	Wärmeerzeugung	Wärmequelle
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestandsquartiere</li> <li>Wohn- und Mischgebiet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hausübergabestation</li> <li>konventionelles Heizsystem (hohe Vorlauftemperaturen)</li> <li>Warmwasser / Speicherladungssystem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlauftemperatur 60°C bis 85°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zentrale Wasser/Wasser-Wärmepumpe oder Sole/Wasser-Wärmepumpe (Grundlast)</li> <li>BHKW bzw. Biomasseverbrennung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erdwärmesonden</li> <li>Grundwasser</li> <li>Abwasser</li> <li>Solarthermie mit Langzeitwärmespeicher</li> </ul>

Abb. 4: Übersicht eines konventionellen Nahwärmenetzes mit zentraler Wärmepumpe

### Kaltes Nahwärmenetz mit dezentralen Wärmepumpen

Ein kaltes Nahwärmenetz mit dezentralen Wärmepumpen eignet sich besonders zur Versorgung von Neubaugebieten mit Wohnbebauung. Der Vorteil kalter Nahwärme besteht nicht unbedingt im Wärmepreis, sondern in der Einbindbarkeit des Netzes in Versorgungsgebiete, die sich durch niedrige Wärmebezugsdichten, unsichere Bedarfsstrukturen und mögliche Erweiterungen infolge weiterer Aufsiedlungen auszeichnen. Die Netze stellen mit Sole als Wärmeträger üblicherweise Temperaturen im Bereich von 5 °C und etwa 20 °C bereit. Aufgrund der geringen Wärmeverluste lässt sich kalte Nahwärme auch bei geringen Wärmebedarfen effizient betreiben. Für den normalen Netzbetrieb wird kein zusätzlicher Wärmeerzeuger benötigt. Bei der Verwendung von Ökostrom für die Wärmepumpen kann die Wärmeversorgung damit CO<sub>2</sub>-neutral betrieben werden. Kalte Nahwärmenetze sind insbesondere vor dem Hintergrund interessant, dass Wärmeverbräuche von Häusern im Zuge einer Gebäudedämmung sinken und infolge dessen die Wärmebedarfsdichten abnehmen. Um einen wirtschaftlichen Betrieb des Verteilnetzes zu gewährleisten, kann in Neubaugebieten ein Anschlusszwang an die kalte Nahwärme sinnvoll sein.

Analysierte Beispielquartiere lassen darauf schließen, dass Trassenlängen von mindestens einem und eineinhalb Kilometern umsetzbar sind. Die Beförderung des Wärmeträgers im Verteilnetz wird durch die einzelnen Förderpumpe der dezentralen Wärmepumpen in den angeschlossenen Gebäuden realisiert. Liegt kein Wärmebedarf vor, steht der Wärmeträger im Verteilnetz still. Um eine Absenkung des Temperaturniveaus durch Wärmeübertrager zwischen Wärmequelle und Verteilnetz zu vermeiden, durchströmt der Wärmeträger aus der Niedertemperaturwärmequelle das Verteilnetz direkt. Abhängig von den lokalen Bedingungen können eine Reihe von Umweltwärmequellen zur Verfügung stehen, die zur Deckung der benötigten Last ausreichen und einen zusätzlichen Wärmeerzeuger erübrigen. Gängige Wärmequellen sind in diesem Zusammenhang vor allem Erdwärmesonden und Agrothermiekollektoren sowie Langzeitwärmespeicher wie Eisspeicher oder Erdspeicher.

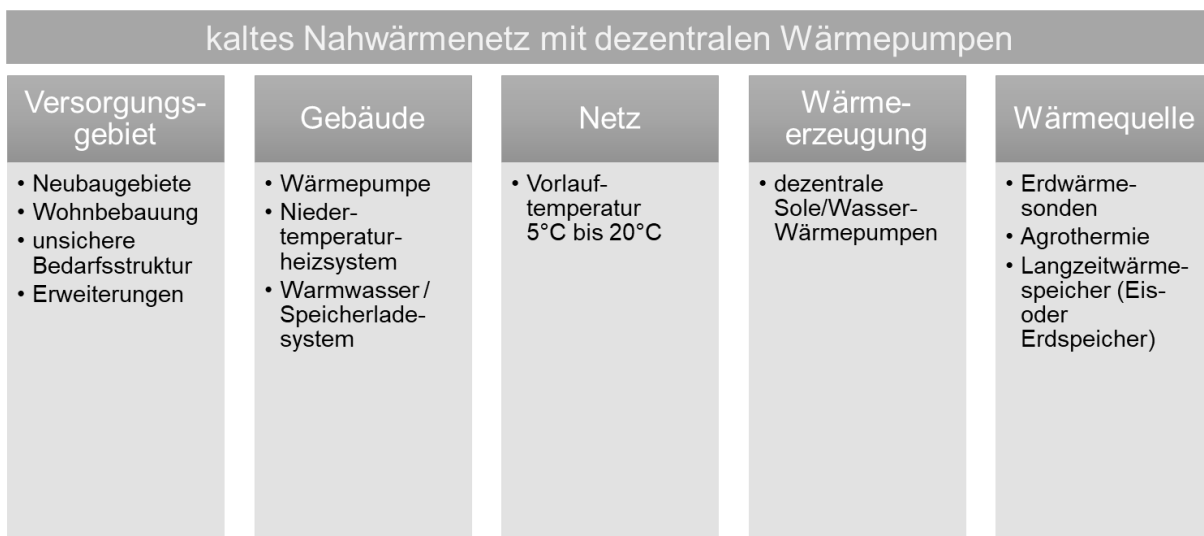


Abbildung 5: Übersicht eines kalten Nahwärmenetzes mit dezentralen Wärmepumpen

### Mischnetz

Die Umstellung eines bestehenden (konventionellen) Nahwärmenetzes auf ein Mischnetz mit zentraler und dezentralen Wärmepumpen kann die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der Wärmeversorgung verbessern. Hierbei wird das Netz in den Wintermonaten als konventionelles Nahwärmenetz mit zentraler Wärmeerzeugung und Netzvorlauftemperaturen im Bereich von etwa

70 °C bis 80 °C betrieben. Als Wärmeerzeuger dient z. B. ein BHKW zusammen mit einer zentralen Wärmepumpe. In den Sommermonaten erfolgt eine Reduzierung der Netztemperatur auf etwa 20 °C bis 40 °C, die Heizwärmebereitstellung und Trinkwassererwärmung erfolgt mithilfe dezentraler Wärmepumpen in den angeschlossenen Gebäuden. Die Heizzentrale mit dem BHKW kann während dieser Zeit abgeschaltet werden. Mischnetze bieten den Vorteil, Wärme auf bedarfsorientierten Temperaturniveaus bereit zu stellen. Da die vorhandenen Nahwärmestrassen genutzt werden, sind für die Umstellung auf ein Mischnetz üblicherweise keine Arbeiten an den Leitungen notwendig. Für den Netzbetreiber entstehen meist nur relativ geringe Investitionskosten. Als Wärmequelle für die Wärmepumpe können grundsätzlich alle Umweltwärmequellen eingesetzt werden, die auch für den Wärmepumpenbetrieb in einem konventionellen Nahwärmenetz genutzt werden. Aufgrund der beständigen Quellentemperaturen während der Wintermonate von rund 10 °C bietet sich insbesondere die Nutzung von Erdwärmsonden oder Grundwasser an.

Mischnetz mit zentraler und dezentralen Wärmepumpen				
Versorgungsgebiet	Gebäude	Netz	Wärmeerzeugung	Wärmequelle
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestandsquartier</li> <li>Wohn- und Mischgebiet</li> <li>vorhandenes Netz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wärmepumpe</li> <li>Hausübergabestation</li> <li>konventionelles Heizsystem (hohe Vorlauftemperaturen)</li> <li>Warmwasser / Speicherladesystem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlauftemperatur Sommer: 20°C bis 40°C</li> <li>Vorlauftemperatur Winter: 70°C bis 80°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sommer: dezentrale Wasser/Wasser-Wärmepumpen</li> <li>Winter: zentrale Wärmepumpe und BHKW</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erdwärmsonden</li> <li>Grundwasser</li> <li>Solarthermie mit Langzeitwärmespeicher</li> </ul>

Abbildung 6: Übersicht eines Mischnetzes mit zentralen und dezentralen Wärmepumpen

#### 4. Resümee

Energiekonzepte mit innovativen Systemen und Komponenten wie Solarthermie, Photovoltaik, Wärmepumpen und Geothermie werden in der Gebäudetechnik immer häufiger umgesetzt. Auslegungshilfen, wie etwa eine dynamische Simulation, werden bei diesen Systemen zunehmend wichtiger. Die im Bereich von Wärmepumpen und deren Niedertemperaturwärmequellen sowie – wärmeübertragern derzeit am Markt verfügbaren Auslegungs- und Dimensionierungshilfen sind in der Regel Einzellösungen, die vielfach von Herstellern oder Anbietern entsprechender Produkte zur Verfügung gestellt werden. Diese Auslegungs- und Dimensionierungshilfen bieten Planern und Architekten meist keine Möglichkeit die ausgegebenen Ergebnisse zu verifizieren oder diese in einem Überblick entsprechenden Alternativen gegenüber zu stellen. Insbesondere die Gegenüberstellung von Systemen und Einzelkomponenten in unterschiedlichen Anwendungsfällen und deren Anwendbarkeit ist ein Alleinstellungsmerkmal von WP<sub>SOURCE</sub>.

Auf der Grundlage der Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt future:heatpump sollen im Rahmen des Nachfolgeprojektes „future:heatpump\_II“ im Wesentlichen Themen und Schwerpunkte behandelt werden, die zum einen die Anwendung und den Ausbau von Wärmepumpenanlagen unterstützen und zum anderen der erweiterten Nutzung des Programms WP<sub>SOURCE</sub> dienlich sind. Schwerpunkte sind u. a. weitere Wärmeübertragungssysteme, der bivalente Betrieb von Wärmepumpenanlagen, die Regeneration geothermischer Wärmeübertrager sowie die Einbindung

von Photovoltaik und Quartierslösungen. Durch die Erweiterung kann das Programm weiterführende Konzepte und Konzeptansätze mit Wärmepumpen darstellen. Der derzeitige Arbeitsstand im Bereich der neuen Themenschwerpunkte zeigt, dass

- unterschiedliche *Wärmepumpentechnologien* auf dem Markt verfügbar sind, die Anwendung sich jedoch primär auf elektrische Wärmepumpen fokussiert. Gasbetrieben Wärmepumpen haben am Markt derzeit keine große Bedeutung, können aber eine sinnvolle Lösung, z. B. für Bestandsgebäude mit vorhandenem Gasanschluss, darstellen.
- *bivalente Wärmepumpensysteme* eine Möglichkeit zur Auflösung des Modernisierungstaus im Bestand darstellen können. Sie erleichtern dem Anlagenbetreiber die Entscheidungsfindung für künftigen Energieträger zur Beheizung des Gebäudes. Bivalente Systeme können oft kostengünstig durch die Erweiterung bestehender Heizungsanlagen errichtet werden. Auch im Neubau, insbesondere bei hohen Heizlasten und unterschiedlichen Temperaturanforderungen, sind bivalente Wärmepumpensysteme wirtschaftlich interessant.
- eine *Regeneration* bzw. Kopplung geothermischer Wärmeübertrager (Flächenkollektor und Erdwärmesonden) mit thermischer Solarenergie zu einer Reduzierung der Kollektorfläche bzw. Erdwärmesondenlänge führt. Zudem können eine Anhebung der Temperaturen im Erdreich erzielt und die Jahresarbeitszahlen erhöht werden. Eine Kopplung mit thermischer Solarenergie hat einen signifikant positiven Einfluss auf unterdimensionierte Systeme. In anderen Fällen steht der Effizienzgewinn in keinem wirtschaftlichen Verhältnis zum erforderlichen Aufwand für die Nutzung thermischer Solarenergie zur Regeneration geothermischer Wärmeübertrager.
- eine Nahwärmeversorgung die Möglichkeit zur nachhaltigen und wirtschaftlichen Wärmeversorgung mit einer hohen Flexibilität und Erweiterbarkeit bietet. Im Sinn einer zukunftsorientierten Energieversorgung sollten die Implementierungsmöglichkeiten unterschiedlicher Wärmepumpen und Umweltwärmequellen in Nahwärmenetzen untersucht werden und wo möglich auch bei Quartierslösungen Anwendung finden.

## Quellenangaben

[1] KLEY, C.: Untersuchungen zur Steigerung der Eigenstromnutzung in EnergiePLUS-Gebäuden, Dissertation am Institut für Gebäude- und Solartechnik, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Fisch, TU Braunschweig, (2018), Shaker Verlag ISBN 978-3-8440-6095-9

[2] HÜSING, F und MERCKER, O. und HIRSCH, H und STEINWEG, J.: Solare Regeneration von Erdwärmekollektoren – Reduzierter Flächenbedarf bei hoher Effizienz, 27. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein (2017)

[3] PÄRISCH, P. und BERTRAM, E. und TEPE, R.: Experimente und Modellvalidierung für die Erdsondenregeneration mit Solarwärme, Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie, Neumarkt (2013)

[4] TEPE, R., PÄRISCH, P., BERTRAM, E., MERCKER, O., ARNOLD, O. und ROCKENDORF, G.: Hocheffiziente Wärmepumpensysteme mit Geothermie- und Solarthermienutzung - Rückblick auf 3 Jahre Forschung und Entwicklung, 24. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Neumarkt (2014)

Mühlenpfordtstraße 23,38106 Braunschweig  
franziska.bockelmann@stw.de