WPsource – EIN PROGRAMM ZUR VORAUSWAHL UND BEWERTUNG VON NIEDERTEMPERATURWÄRMEQUELLEN UND -WÄRMEÜBERTRAGERN FÜR WÄRMEPUMPEN

Die optimale Auslegung einer Wärmepumpe, die Auswahl der benötigten Niedertemperaturwärmequelle und des passenden Wärmeübertragers sowie die Ankopplung der Anlage an das Gebäude sind wesentliche Voraussetzungen, um einen energieeffizienten und dauerhaft wirtschaftlichen Betrieb der Gesamtanlagen zu erreichen. Mit WPsource wird ein digitales Vorauslegungsprogramm zur Verfügung stehen, mit dessen Hilfe Planer und Architekten eine Vorauswahl für eine Niedertemperaturwärmequelle und ein zugehöriges Wärmeübertragersystem zur Anbindung an eine Wärmepumpe treffen können.

Die Einbindung von Wärmepumpen in die Energieversorgung von Gebäuden ist eine zunehmend angewandte Technik, die vornehmlich zur Wärme-, aber teilweise auch zur Kältebereitstellung genutzt wird. Die Marktentwicklung zeigt sich an den Absatzzahlen: Seit dem Jahr 2006 verkauft die Branche 50.000 – 60.000 Wärmepumpen im Jahr. Zusätzlich spiegelt sich die Marktpräsenz von Wärmepumpen in einer wachsenden Produktvielfalt wider. Beim Verbraucher erwecken beide Entwicklungen Interesse an dieser Technologie und bewirken Vertrauen – auch wenn viele Wärmepumpen in der Praxis unbefriedigend und/oder oft nicht optimal arbeiten.

Mit der Zunahme an kommerziell verfügbaren und installierten Wärmepumpensystemen steigt auch die Zahl vermeintlich nutzbarer Niedertemperaturwärmequellen. Zu ihrer Erschließung kommen jedoch nicht selten Produkte zum Einsatz, bezüglich deren Eignung keine (wissenschaftlich) gesicherten Erkenntnisse vorliegen. Darüber hinaus finden innovative Produkte, wie etwa Eisspeicher, „Energiezäune“ oder Hochleistungs-Energiepfähle, die für viele Planer oft unbekannt sind und bezüglich deren Leistungsfähigkeit oder Kosten-Nutzen-Verhältnis nur in wenigen Fällen fundierte Erkenntnisse vorliegen, Anwendung.

Die Gründe für die in der Praxis unbefriedigend oder zumindest nicht optimal arbeitenden Wärmepumpen sind vielschichtig. Nicht selten sind eine unzureichende Anbindung an die Niedertemperaturwärmequelle und/oder eine fehlerhafte Dimensionierung des zugehörigen Wärmeübertragers die Ursache. Zum Teil werden Wärmepumpen aber auch nicht gemäß der Auslegung betrieben, was oftmals die Folge optimistischer Annahmen bei der Planung ist, aber teilweise auch durch nutzerbedingt falsche Betriebsweisen verursacht wird. In vielen Fällen ist das primärenergetische, ökologische und auch das wirtschaftliche Potenzial einer Wärmepumpenanlage größer, als es in der Praxis erreicht wird.

Motivation zum Forschungsvorhaben

Insbesondere im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung ist die Möglichkeit, unterschiedliche Ausführungsvarianten einer geplanten Technologie – hier Wärmepumpe – zu vergleichen, nützlich und wünschenswert. Hinsichtlich ihrer Funktionsweise und Leistungsfähigkeit zeigen die zurzeit genutzten Niedertemperaturwärmequellen und -wärmeübertrager für Wärmepumpen deutliche Unterschiede. Um die Frage nach der für einen speziellen Anwendungsfall ökologisch, ökonomisch und anlagentechnisch sinnvollsten Variante einer Anlage beantworten zu können, sind mit Blick auf Wärmepumpen im Planungsalltag oft aufwendige Recherchen notwendig. Die den meisten Planern üblicherweise zur Verfügung stehenden Unterlagen und Informationen zu einzelnen Produkten oder Anwendungen lassen eine direkte Gegenüberstellung unterschiedlicher Anlagenvarianten für einen speziellen Anwendungsfall meistens nicht zu. Aber auch nach umfassender Recherche ist selten ein direkter Vergleich der möglichen Anlagenkonzepte vor dem Hintergrund wesentlicher Randbedingungen eines speziellen Projektes möglich.

Unterschiedliche in der Praxis relevante Konzepte wurden bislang nur in Einzelfällen oder für begrenzte Anwendungsgebiete, wie etwa erdgekoppelte Anlagen oder Luft-Wasser-Wärmepumpen für Einfamilienhäuser, untersucht und verglichen. Auch die messtechnische Überwachung und Auswertung beschränken sich in den meisten Fällen auf diese Anlagentypen.

Mehr als bei konventionellen Wärme- oder Kälteerzeugern müssen insbesondere bei Wärmepumpenanlagen bereits während der Vorplanung Entscheidungen, z. B. bezüglich der Niedertemperaturwärmequelle (und -senke) und ihrer Anbindung an die Wärmepumpe, getroffen werden. Bei der Wahl eines geeigneten Niedertemperaturwärmeübertragers müssen alle im Rahmen der Vorplanung ermittelten und für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten Bedingungen Berücksichtigung finden. Eine breit angelegte, vergleichende Analyse der ggf. nutzbaren Niedertemperaturwärmequelle(n) und der am Markt verfügbaren Wärmeübertrager sowie der daraus resultierenden Anlagenvarianten – vor allem im Hinblick auf deren Effizienz (z. B. Arbeitszahlen) – steht bislang aus.

In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungsprojekt „future:heatpump – Energetische und wirtschaftliche Bewertung von Wärmequellen für Wärmepumpen" (FKZ 03ET1273A) wird das Zusammenspiel zwischen Wärmepumpen und unterschiedlichen Niedertemperaturwärmequellen sowie dazu angebotener Wärmeübertrager untersucht. Im Kern geht es um die Frage, welche der zur Verfügung stehenden Wärmequellen in Kombination mit welchem Wärmeübertrager und unter welchen Umständen energetisch und wirtschaftlich sinnvoll oder auch die sinnvollsten sind. Zum Ende des Forschungsvorhabens wird das Vordimensionierungsprogramm „WPsource" zur Verfügung stehen, mit dessen Hilfe z. B. Planer oder Architekten für einen individuell definierten Anwendungsfall eine Vorauswahl für die am besten geeignete Niedertemperaturwärmequelle und ein zugehöriges Wärmeübertragersystem treffen können.

Zur Entwicklung von WPsource und zur Grundlagenermittlung, um weitere Projektziele zu erreichen, wurden im ersten Schritt des Projektes Niedertemperaturwärmequellen und zu deren Nutzung am Markt verfügbare Wärmeübertragersysteme erfasst und verglichen. Darüber hinaus wird die simulationstechnische Abbildung einzelner Wärmepumpensysteme mit unterschiedlichen Niedertemperaturwärmequellen und -übertragern mithilfe von Messdaten aus dem projektbegleitenden Low-Level-Monitoring durchgeführt.

Für eine erste Bewertung der einzelnen Wärmeübertragersysteme werden die unterschiedlichen Produkte inklusive der Niedertemperaturwärmequellen in Verbindung mit verschiedenen Gebäudetypen (Ein- und Mehrfamilienhaus sowie Bürogebäude) simuliert.

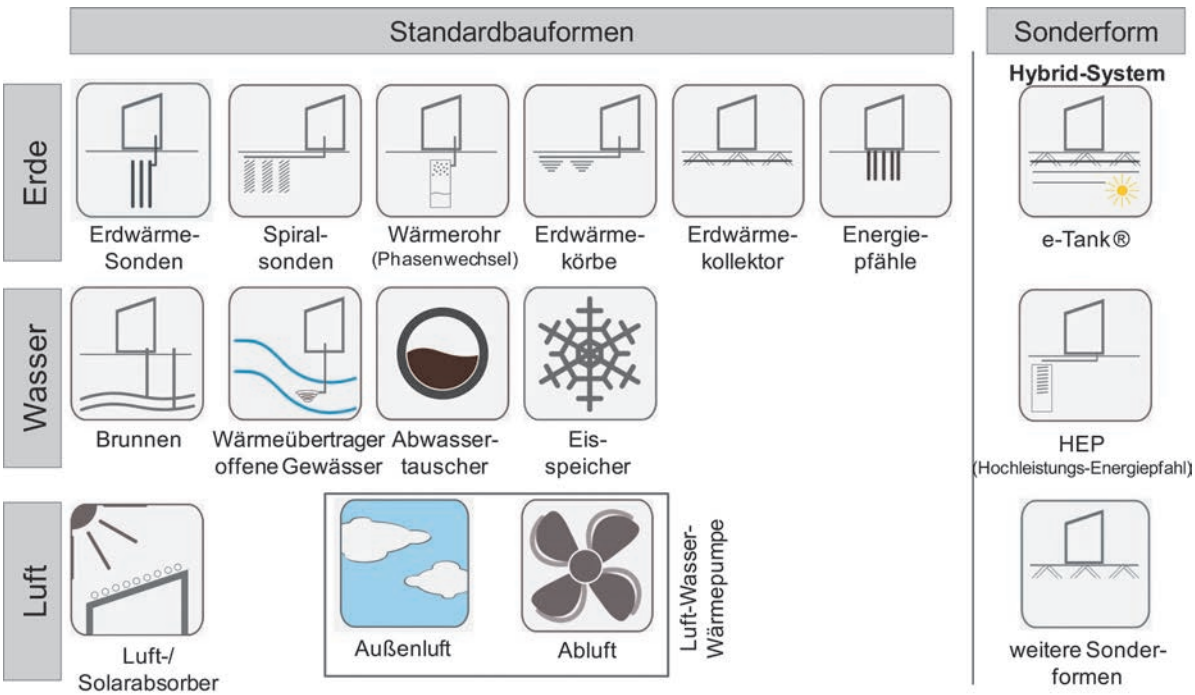

Abbildung 1: Kategorien der ermittelten Wärmeübertragersysteme (Auswahl)

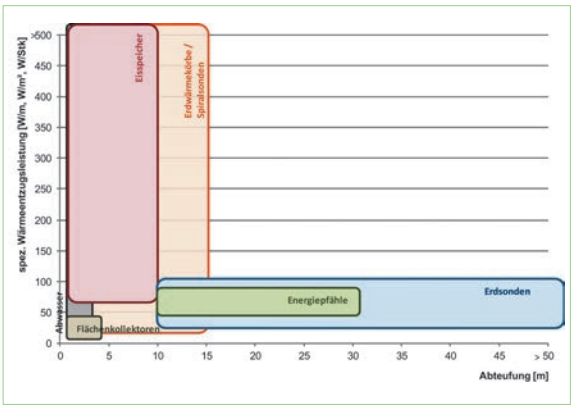

Abbildung 2: Geothermische Wärmeübertragersysteme – Wärmeentzugsleistung über Abteuftiefe (Grundlage: Hersteller-/Anbieterangaben)

Anschließend werden ausgewählte thermodynamische Effekte und Zusammenhänge innerhalb einzelner Systeme mittels Parameterstudien und Sensitivitätsanalysen detailliert untersucht.

Anhand der Ergebnisse der umfassenden Simulationsstudie werden die Leistungsfähigkeit, die Energieeffizienz und die Charakteristik der unterschiedlichen Niedertemperaturwärmequellen und -wärmeübertrager sowie deren Einsatzbereiche und -grenzen aufgezeigt.

Wärmequellen und Wärmeübertrager

Die Zusammenführung und Aufbereitung von Informationen und Hersteller-/Anbieterangaben erfolgten systemweise. Insgesamt wurden 16 Kategorien für Wärmeübertrager und Wärmepumpensysteme definiert. Diese nutzen unter anderem das Erdreich, die Luft oder das Wasser als Wärmequelle. Als eigene Kategorie wurden die weitverbreitete Luft-Wasser-Wärmepumpe sowie Sonderformen von Wärmeübertragern in die Übersicht aufgenommen (Abbildung 1).

Die Wärmeentzugsleistung aus geothermischen Wärmequellen mit Erdwärmesonden liegt, zum Teil abhängig von den verwendeten Wärmeübertragern, zwischen etwa 10 W/m und 100 W/m. Bei flächigen Erdreichabsorbern kann in der Regel von 10 W/m² und 50 W/m² ausgegangen werden. Bei Erdwärmekörben liegt die Entzugsleistung zwischen 10 W je Erdwärmekorb und bis über 500 W für einen Korb. In den meisten Fällen werden die Wärmeübertrager in Tiefen von 2 m bis 100 m eingebracht (Abbildung 2).

Beim Flächenbedarf muss grundsätzlich darauf geachtet werden, ob die gewählten Systeme überbaubar sind oder nicht. Überbaubarkeit kann insbesondere bei Neubauten eine interessante Option sein, da einige Systeme unter dem Gebäude installiert werden können und somit kein zusätzlicher Platzbedarf entsteht. Zu ggf. notwendigen Wartungs- oder Reparaturarbeiten sollten alle Systeme jedoch zugänglich sein und nicht ohne Revisionsmöglichkeit überbaut werden.

Aufgrund der benötigten Grundstücksflächen oder der Tatsache, dass bestimmte Niedertemperaturwärmequellen für ihre Regeneration nicht überbaut werden dürfen, kommt fast die Hälfte der im Forschungsprojekt betrachteten Niedertemperaturquellsysteme (auch in Verbindung mit einer Wärmepumpe) wegen der meist kleinen Grundstücksflächen nicht infrage. So dürfen z. B. Flächenkollektoren oder Spiralsonden nicht unterhalb eines Gebäudes platziert werden, da diese Systeme den Niederschlag und die solare Einstrahlung zur Regeneration des sie umgebenden Erdreichs und damit der Wärmequelle benötigen. Auch muss beachtet werden, dass einige Systeme Zusatzeinrichtungen und/oder -komponenten zu ihrer Regeneration oder zur Sicherstellung der Versorgung (Redundanzsystem) benötigen. Beispielsweise erfordert ein Eisspeicher oder ein sogenannter e-Tank® zur Regeneration bzw. zur „Beladung" einen Luftabsorber oder eine thermische Solaranlage. Anders verhält es sich beim Abwasserwärmeübertrager: Bei der Nutzung von Abwasser als Wärmequelle ist meist ein redundantes Heizsystem erforderlich, das in Fällen zu geringen Abwasseraufkommens oder zu geringer Abwassertemperatur eine Wärmebereitstellung ermöglicht. (Abbildung 3).

Neben technischen Aspekten sind auch Abstände zu Grundstücksgrenzen und/oder Rohrleitungen sowie anderen Medien und bei Luft-Wasser-Wärmepumpen, aus Gründen des Schallschutzes, Abstände zu Nachbargrundstücken und -bebauung zu beachten. Die daraus resultierenden, wenn auch nicht für die Niedertemperaturwärmequelle nutzbaren Flächen sind den aus anlagentechnischer Sicht notwendigen Flächen zu addieren. Als Gesamtfläche muss entsprechend aller Erfordernisse eine nutzbare Grundstücksfläche zur Verfügung stehen, die auch ihrer Form nach für den jeweiligen Anwendungsfall geeignet ist.

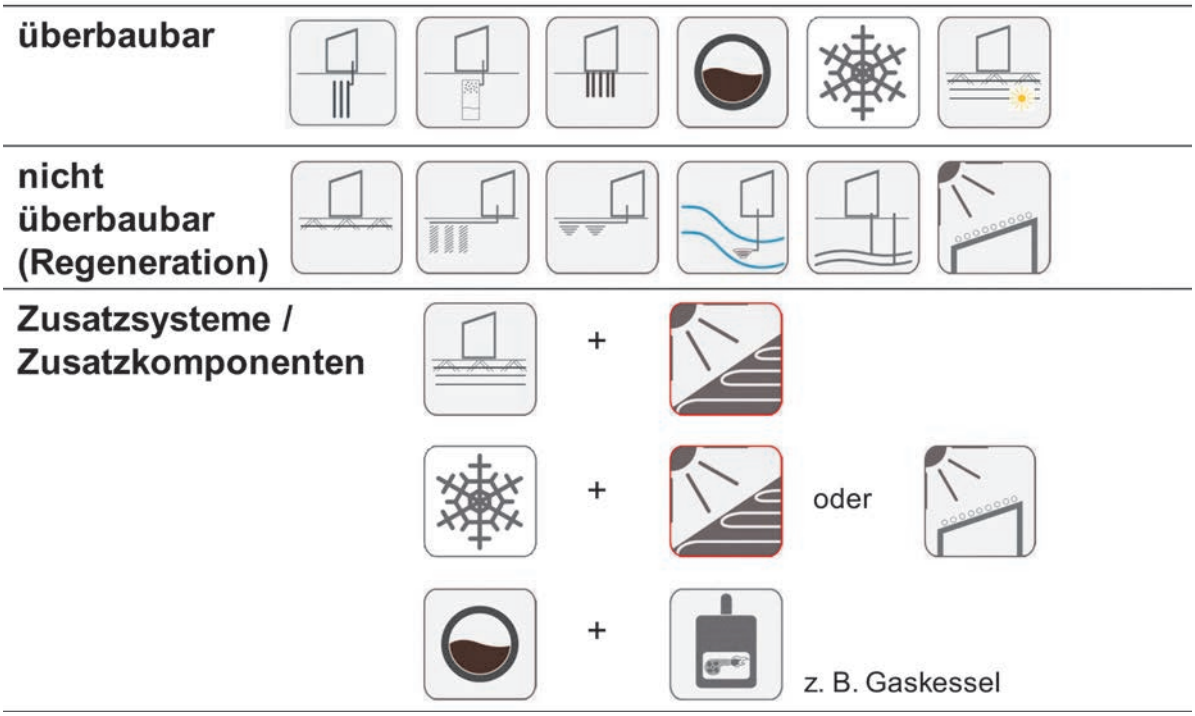

Abbildung 3: Überbaubarkeit und Zusatzsysteme oder -komponenten, wesentliche Randbedingungen zur Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen

Das Programm WPsource

Um die Vorplanung zu erleichtern und zu optimieren, ist eine übersichtliche Zusammenstellung verschiedener Niedertemperaturwärmequellen und zugehöriger Wärmeübertragersysteme wünschenswert. Es ist daher eine dem Forschungsvorhaben future:heatpump zugrunde liegende Idee, eine Zusammenstellung der zurzeit verbreiteten, aber auch der zukünftig ggf. relevanten Niedertemperaturwärmequellen für Wärmepumpen und zugehöriger Wärmeübertragersysteme zu erarbeiten und diese in einer für den Planungsalltag geeigneten Form zur Verfügung zu stellen. Dabei sollen die Zusammenstellung und Aufbereitung der Daten einen direkten Vergleich der verschiedenen Wärmequellen und -übertragersysteme ermöglichen und wesentliche Kenngrößen, wie etwa die Entzugsleistungen der Wärmeübertrager in Verbindung mit den ihnen zugedachten Wärmequellen oder die unter den gegebenen Randbedingungen zu erwartenden Arbeitszahlen und Kosten, vergleichbar und übersichtlich darstellen.

Das in diesem Zusammenhang in der Entwicklung befindliche Vordimensionierungsprogramm WPsource soll eine Bewertung, Vorauswahl und überschlägige Auslegung der untersuchten Wärmequellen und -übertragersysteme für einen vom Planer definierten Anwendungsfall ermöglichen.

In der ersten Version umfasst WPsource Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie Bürogebäude. Für die Wohngebäude sind Wärmepumpensysteme zur Gebäudebeheizung und Trinkwassererwärmung enthalten.
In Bezug auf Bürogebäude erlaubt die erste Version neben der Wärmebereitstellung eine Berücksichtigung des Kältebedarfs für Raumkühlung. Klimakälte, z. B. zur Serverkühlung, wird zwar in die Energiebilanz des Gebäudes einbezogen, jedoch standardmäßig nicht durch die Wärmepumpe gedeckt und damit bei der Systemauswahl für eine Niedertemperaturwärmequelle und einen zugehörigen Wärmeübertrager vom Programm nicht berücksichtigt. Steht Kälte systeminhärent zur Verfügung, z. B. aus einem Eisspeicher oder Erdwärmesonden, werden entsprechende Hinweise gegeben. Darüber hinaus wird Kältebedarf in Wohngebäuden nicht explizit berücksichtigt. Zielgröße bei allen Gebäudetypologien ist ein möglichst energieeffizienter und dauerhaft wirtschaftlicher Betrieb der gesamten Wärmepumpenanlage.

Die Anwendung von WPsource beginnt mit der Dokumentation der Ausgangssituation und der Definition der Rahmenbedingungen des jeweiligen Projektes. Durch die benutzerfreundliche Oberfläche sollen die Anwendung erleichtert und Fehler bei der Eingabe vermieden werden. Mittels Optionsschaltflächen (Radiobuttons) wählt der Anwender die für sein Projekt

Abbildung 4: WPSOURCE: Aufbau der Benutzeroberfläche (Arbeitsstand)

geeigneten Voreinstellungen und trifft grundsätzliche Festlegungen, wie etwa die Gebäudeart oder den thermischen Standard des Gebäudes. Über Kenndatenfelder werden Rahmendaten, wie z. B. die Grundstücksfläche oder der Energiebedarf des Gebäudes – falls bekannt –, eingegeben. Der Nutzer kann zusätzliche Anforderungen definieren und Vorgaben bezüglich des auszulegenden Heiz-(und Kühl-)systems vornehmen. Wo inhaltlich vertretbar, werden vom Anwender nicht spezifizierte Angaben vom Programm mit Standardwerten belegt.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der im Projektverlauf analysierten und simulierten Systeme und Systemvarianten berechnet WPSOURCE für den eingegebenen Anwendungsfall eine Vorauswahl von Niedertemperaturwärmequellen und geeigneten Wärmeübertragern. Ökologische (CO_2-Emission, Primärenergie) und wirtschaftliche Faktoren (Investitions- und Betriebskosten) werden ermittelt und gegenübergestellt. Zusätzlich informiert WPSOURCE über wichtige Nebenbedingungen der jeweiligen Systemvariante, wie etwa die Beachtung von Schallschutzanforderungen bei Luft-Wasser-Wärmepumpen oder erforderliche Pumpversuche bei der Nutzung von Grundwasser als Wärmequelle und/oder -senke. Auch der bereits erwähnte Hinweis auf eine Kühloption erfolgt an dieser Stelle.

Durch den modularen Aufbau ist WPSOURCE in vielerlei Hinsicht erweiterbar, sodass z. B Solarthermie und Photovoltaik, aber auch weitere Wärme- und/oder Kältequellen sowie -erzeuger integriert werden können.

Fazit

Wärmepumpentechnologie wird bei der zukünftigen Wärme- und Kälteversorgung eine wesentliche Rolle spielen. Um das Potenzial dieser Energieversorgungsvariante möglichst effizient ausschöpfen zu können, kommt der Wahl der Niedertemperaturwärmequelle und des für den jeweiligen Anwendungsfall am besten geeigneten Wärmeübertragers eine entscheidende Bedeutung zu. Mit dem Programm WPSOURCE steht ein multifunktionales und bei der Planung in weiten Bereichen anwendbares Hilfsmittel zur projektbezogenen und an den jeweiligen Anwendungsfall inkl. seiner Rahmenbedingungen angepassten Vorauswahl von geeigneten Niedertemperaturwärmequellen und Wärmeübertragern für Wärmepumpen zur Verfügung. Das Programm ermöglicht eine überschlägige Dimensionierung und wird – richtig angewendet – zu einem effizienteren Betrieb von Heiz- und Kühlsystemen mit Wärmepumpen beitragen.

Das Programm wird zum Projektende auf der Homepage des Institutes für Gebäude- und Solartechnik (IGS) der Technischen Universität Braunschweig kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Autor:
Franziska Bockelmann, Markus Peter, Mathias Schlosser
Technische Universität Braunschweig
Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS)
Mühlenpfordtstraße 23, 38106 Braunschweig
T: +49 531 391 3557
bockelmann@igs.tu-bs.de