

# Tiefenbohrung

Wärmepumpenanwendungen in Forschung und Praxis



Tiefenbohrung

# **Wärmepumpenanwendungen in Forschung und Praxis**

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Marktentwicklung der Wärmepumpe	5
2.1	Wärmepumpen im Neubau	5
2.2	Wärmepumpen im Bestand	8
2.3	Förderung von Wärmepumpen	11
3	Wärmepumpen in der Forschung	13
3.1	Datengrundlage	14
3.2	Projektkategorie Gebäude	14
3.3	Projektkategorien Quartiere und Versorgungsnetze	16
3.4	Projektkategorie Tools & Planungswerkzeuge	18
3.5	Projektkategorie Methoden & Konzepte	18
3.6	Projektkategorie neue Technologien	19
4	Zusammenfassung	21
	Literaturverzeichnis	23



## 1 Einleitung

Im Zuge der angestrebten Dekarbonisierung sowie der voranschreitenden Kopplung der Energiesektoren werden Wärmepumpen laut verschiedenen Studien zukünftig eine wichtige Rolle im Wärmesektor spielen. Durch die Kombination hoher Energieeffizienz, der Nutzung von Umweltwärme und des Betriebes durch Strom mit einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien erhöhen sich ebenfalls die Potentiale zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudebereich.

Entsprechend einer Gebäudestudie der Deutschen Energie-Agentur [1], welche verschiedene Szenarien für die künftige Wärmeversorgung betrachtet, wird eine zunehmende Bedeutung der Wärmepumpe erwartet. So sind laut Elektrifizierungsszenario im Jahr 2050 etwa 70 % aller installierten Heizungsanlagen in Wohngebäuden Wärmepumpen. Dies entspricht über 16 Millionen Geräten. Im Technologiemix-Szenario entwickelt sich die Wärmepumpe mit sieben Millionen Geräten zur vorherrschenden Technologie im Neubau [1]. In [2] zeigt das Fraunhofer ISE verschiedene Szenarien für die Entwicklung der Heizungstechniken auf. Im 85 %-CO<sub>2</sub>-Szenario ist für den Anteil der Wärmepumpen ein Zuwachs bis hin zu einem Anteil von 80 % an allen Heizungsanlagen in 2050 zu verzeichnen. In einer weiteren Studie über die Schlüsseltechnologien zur Erreichung der Klimaschutzziele im Gebäudesektor [3] wird eine Wärmepumpenlücke identifiziert. So werden laut dieser Agora-Energiewende-Studie bis zum Jahr 2030 fünf bis sechs Millionen flexibel gesteuerte Wärmepumpen benötigt. Trendszenarien zeigen jedoch, dass bis 2030 nur etwa zwei Millionen Wärmepumpen installiert werden [3].

In der vorliegenden vertiefenden Auswertung werden die bisherigen Entwicklungen hinsichtlich der Nutzung von Wärmepumpen und der Forschung zu dieser Technologie beleuchtet. Dabei liegt der Fokus zunächst auf Wärmepumpenanwendungen in der Praxis. Der Einsatz der Technologie als Hauptwärmeerzeuger im Neubau und Bestand von Wohn- und Nichtwohngebäuden wird analysiert. Im zweiten Teil werden aktuelle Forschungsfragestellungen zu Wärmepumpen im Bereich „Energie in Gebäuden und Quartieren“ untersucht. Als Datengrundlage werden die Antworten der ersten Datenerhebungsphase über den Fragebogen der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN herangezogen. Die Auswertung erfolgt über die sechs Projektkategorien Gebäude, Quartiere, Versorgungsnetze, Tools & Planungswerkzeuge, Methoden & Konzepte sowie neue Technologien.



## 2 Marktentwicklung der Wärmepumpe

Der steigende Bedeutungsgewinn der Wärmepumpe als Bestandteil des Gebäudeheizungssystems spiegelt sich in den Absatzzahlen der Technologie wider. Im Folgenden wird der Wärmepumpenmarkt hinsichtlich der Anwendung in Neubauten und Bestandsgebäuden sowie in Wohn- und Nichtwohngebäuden analysiert. Die Trends in Bezug auf verwendete Wärmequellen und Wärmeträgermedien werden aufgezeigt. Die Analyse erfolgt sowohl für den gesamtdeutschen Markt als auch bundeslandspezifisch.

### 2.1 Wärmepumpen im Neubau

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der vorwiegend verwendeten Heizenergeträger in Wohngebäude-Neubauten nach Angaben des Statistischen Bundesamtes [4]. Die Anzahl der Baufertigstellungen sind nach Energieträger aufgeschlüsselt über die Jahre 1993 bis 2016 aufgetragen.

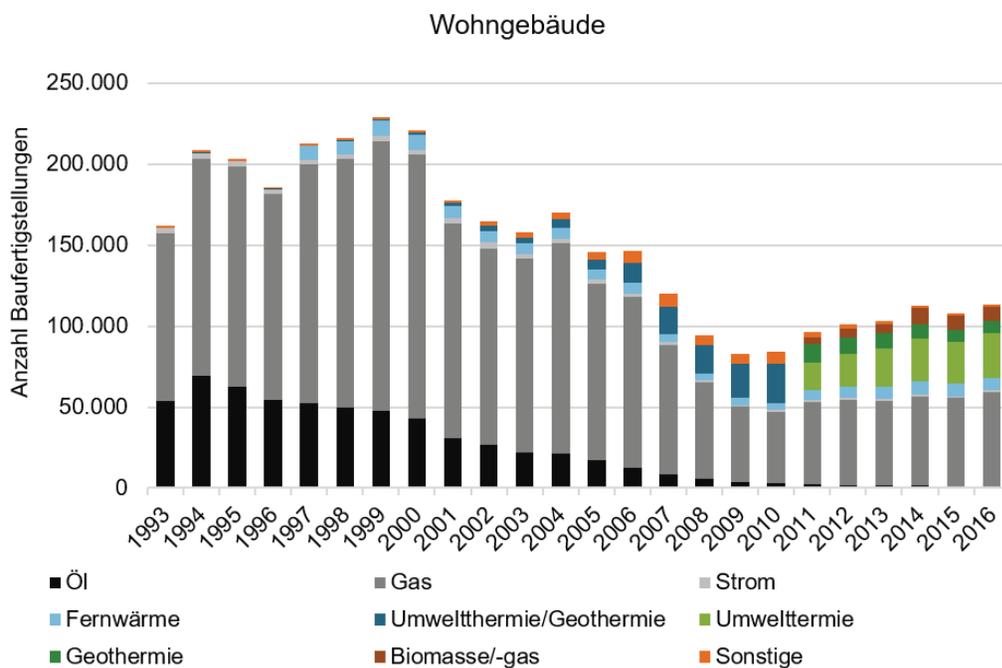


Abbildung 1: Neue Wohngebäude nach Art der vorwiegend verwendeten Heizenergeträger [4]

Die Gesamtanzahl der neu erstellten Wohngebäude steigt zunächst an und erreicht im Jahr 1999 einen Höchststand von etwa 230.000 Neubauten in Deutschland. Von 2000 bis 2009 nimmt die Anzahl der Baufertigstellungen bis auf einen Stand von knapp 83.000 Gebäuden ab. Bis hin zum Jahr 2016 folgt ein leichter Anstieg der Bauanstrengungen. Die Nutzung von Wärmepumpen als Heizungstechnologie nimmt über den gesamten Betrachtungszeitraum kontinuierlich zu. Für Wärmepumpen wird als primärer Heizenergeträger die Wärmequelle angegeben. Im Diagramm werden die Wärmequellen Umweltthermie und Geothermie zunächst zusammen aufgeführt (dunkelblau). Ab

2011 wird die Wärmequelle Umweltthermie in hellgrün und Geothermie in grün angegeben. Der, bis auf eine Ausnahme, monotone Anstieg der Anzahl an Neubauten mit Wärmepumpe ist, unabhängig von der Gesamtanzahl der Baufertigstellungen, sowohl in den absoluten als auch in den relativen Werten zu beobachten. Sind 1993 noch 0,05 % der neuen Wohngebäude mit einer Wärmepumpe ausgestattet, wird im Jahr 2013 in 32,16 % der Baufertigstellungen diese Technologie installiert, was mehr als 100.000 Gebäuden entspricht. Dieser Wert geht im Folgejahr leicht zurück und steigt bis 2016 wiederum auf 31 % an. Dabei werden zunehmend häufiger Umweltthermie-Wärmepumpen verwendet. Der Anteil an Geothermie-Wärmepumpen zeigt sich als rückläufig. 2016 kommt die Wärmequelle Umweltthermie vier Mal häufiger als Geothermie zum Einsatz. Insgesamt stellt die Wärmepumpe, neben dem Gaskessel, die am häufigsten verwendete Technologie dar.

In Bezug auf die weiterhin in der Abbildung 1 dargestellten Heizenergieträger ist zu erkennen, dass über die Jahre hinweg immer weniger Neubauten mit Ölheizungen (schwarz) ausgerüstet werden. So liegt 2016 der Anteil an Baufertigstellungen mit Energieträger Öl bei unter einem Prozent. Mit dem Anstieg der Baumaßnahmen in den 90ern steigt ebenfalls der absolute und prozentuale Anteil an Gasheizungen (grau) in der Bundesrepublik. Der prozentuale Anstieg hält bis zum Jahr 2004 an, in dem in mehr als zwei Dritteln aller neuen Wohngebäude Gaskessel installiert werden. Seitdem werden zunehmend weniger Gasheizungen verbaut. In den letzten Jahren der hiesigen Betrachtung stagniert der Anteil bei etwa 50 %. Nur wenige Neubauten verwenden Stromdirektheizungen (hellgrau) oder haben Fernwärmeanschlüsse (hellblau). Die Anteile des Energieträgers Strom schwanken zumeist zwischen 1 % und 2,5 %, ab 2014 sind Werte von unter 1 % zu beobachten. Für die Nutzung von Fernwärme zeigt sich für Neubauten hingegen ein steigender Trend. Die Anzahl an Baufertigstellungen mit vorwiegender Verwendung von Bioenergie (braun) wird erst ab dem Jahr 2016 aufgeführt. Vorher wird dieser Energieträger unter den Sonstigen (orange) aufgeführt. Aus dem Diagramm ergibt sich, dass die kumulierte absolute Anzahl, sowie der kumulierte relative Anteil von Biomasse, Biogas und sonstigen Energieträgern über die Jahre hinweg fast kontinuierlich ansteigt. Im Jahr 2014 wurden mehr als 10 % der neuen Wohngebäude mit alternativen Wärmeerzeugern dieser Energieträger ausgerüstet. Für den Bereich der Nichtwohngebäude (NWG) lassen sich ähnliche Aussagen treffen. In Abbildung 2 ist die Entwicklung der vorwiegend verwendeten Heizenergieträger in Neubauten für diesen Gebäudetyp dargestellt. Als Datenbasis werden ebenfalls die Angaben von destatis [4] herangezogen.

Die Gesamtanzahl der Baufertigstellungen von 1993 bis 2016 weist einen sinkenden Trendverlauf auf. Dabei ist insbesondere zwischen den Jahren 2000 und 2005 eine starke Reduktion der Neubauaktivitäten zu beobachten. Der niedrigste Wert wird 2016 mit etwa 11.000 Baufertigstellungen erreicht.

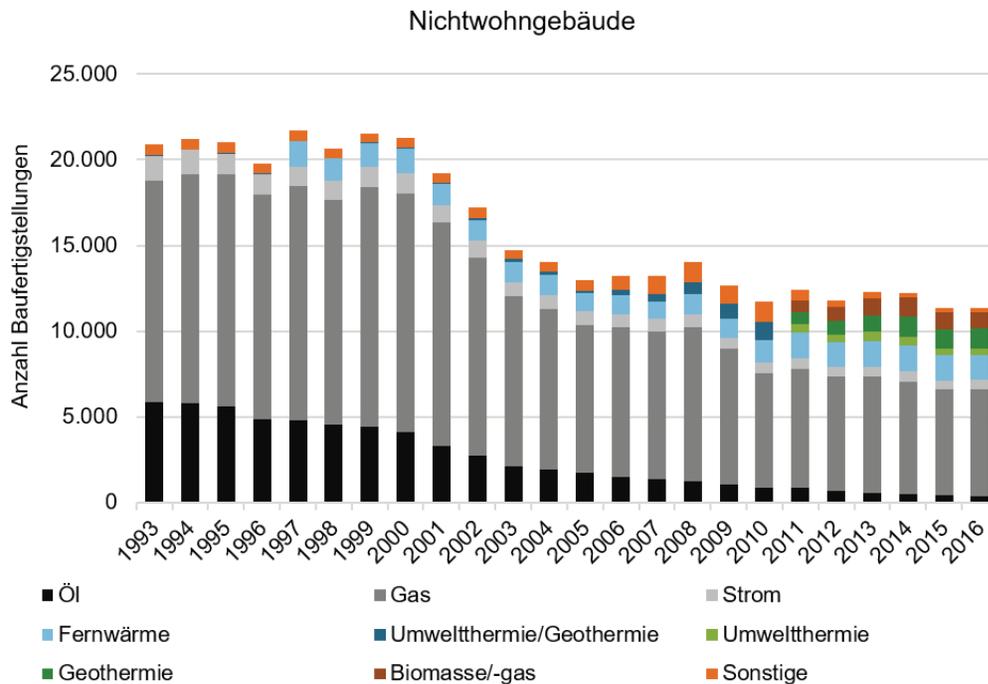


Abbildung 2: Neue Nichtwohngebäude nach Art der vorwiegend verwendeten Heizenergie [4]

Für die Nutzung der fossilen Energieträger Öl (schwarz) und Gas (grau) ist ein Rückgang von absoluten sowie relativen Werte zu erkennen. Die Anteile für Öl sinken dabei von 28 % auf unter 4 %, wohingegen die Gasanteile nur um circa 5 Prozentpunkte zurückgehen. Im Abschlussjahr der Betrachtung sind über 55 % der neuen Nicht-wohngebäude gasversorgt. Für die Heizstromversorgung (hellgrau) ergibt sich ein leichter Rückgang, für die Fernwärmeversorgung (hellblau) hingegen eine Verdopplung, von 6 % auf 12 %, der Anteile. Biomasse (braun) und sonstige Heizenergeträger (orange) tragen seit 2010 in über 10 % der Baufertigstellungen zur Wärmeerzeugung bei.

Auch im Nichtwohngebäudebereich sind Umweltwärme (hellgrün) und Geothermie (grün) die Heizenergeträger mit den stärksten Wachstumsraten. Im Jahr 2004 werden erstmals in über 1 % der neuen NWGs mit Wärmepumpen ausgestattet. 2016 ist dieser Anteil bereits auf über 13 % angestiegen. Nutzen 2011 noch etwa gleich viele Wärmepumpen die Wärmequellen Umweltthermie und Geothermie, zeigt die seitdem stattgefundene Entwicklung, im Gegensatz zu den Trends im Wohngebäudebereich, einen deutlichen Rückgang der Umweltthermie-Wärmepumpensysteme. Geothermie-Wärmepumpen werden hingegen häufiger eingesetzt.

## 2.2 Wärmepumpen im Bestand

In Abbildung 3 werden die Wärmepumpeninstallationen im Neubau (grau) dem Wärmepumpeneinsatz im deutschen Wohngebäudebestand (hellgrün, grün, hellblau) gegenübergestellt. Als Datenquelle für die Absatzzahlen im Bestand wurde der Wärmepumpenatlas [5], in dem Wärmepumpen verzeichnet sind, welche durch das Marktanzreizprogramm des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausführungkontrolle (BAFA) gefördert wurden, herangezogen.

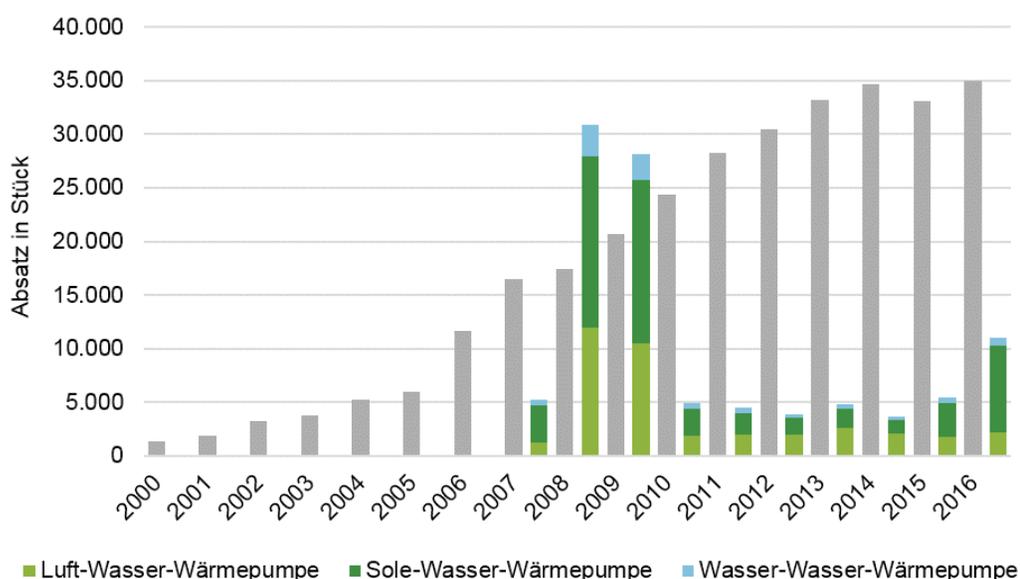


Abbildung 3: Absatzzahlen im Wohngebäudeneubau und -bestand [5]

Abbildung 3 zeigt den Wärmepumpenabsatz von 2000 bis 2016. Dabei ist in grau die in Abschnitt 2.1 bereits erläuterte Entwicklung an Baufertigstellungen mit Wärmepumpeneinsatz in Neubauten aufgetragen. Für den farbig dargestellten Gebäudebestand liegen Daten erst ab dem Jahr 2007 vor. In diesem Jahr werden circa 5.000 Wärmepumpensysteme im Bestand installiert. Es folgen zwei Jahre, 2008 und 2009, mit einem hohen Absatz von bis über 30.000 Stück. Bis 2014 liegen die Zahlen unter 5.000, bis ab 2015 die Bestandsertüchtigung mittels Wärmepumpen wieder anzusteigen beginnt. Im Vergleich mit den Gesamtzahlen für den Neubau, werden in den Jahren 2008 und 2009 mehr Wärmepumpen im Bestand installiert, in den Folgejahren jedoch deutlich weniger. Heruntergerechnet auf den Wohngebäudebestand 2007 beträgt der kumulierte Anteil der ab 2007 verbauten Wärmepumpen 0,6 %.

Darüber hinaus geben die Daten aus [5] Aufschluss über den Wärmepumpentyp. Aufgeführt sind Wärmepumpen, welche die Luft als Wärmequelle nutzen (hellgrün), Wärmepumpen mit dem Wärmeträgermedium Sole (grün) sowie mit dem Wärmeträgermedium Wasser (hellblau) auf der Wärmequellenseite. Bei allen hier dargestellten Typen wird auf der Seite der Wärmesenke das Wärmeträgermedium Wasser verwendet. Der in der Datenquelle darüber hinaus angegebene Typ Sonstige, wird hier nicht mit aufgeführt, da dessen Anteil zu allen Betrachtungszeitpunkten

weniger als 1 % beträgt. In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass der Anteil an Wasser-Wasser-Wärmepumpen am geringsten ist. In den Jahren 2011 bis 2014 werden mehr Luft-Wasser-Wärmepumpen als Sole-Wasser-Wärmepumpen im deutschen Wohngebäudebestand verbaut. In den übrigen Jahren werden Sole-Wasser-Wärmepumpen häufiger eingesetzt.

Abbildung 4 zeigt die Durchdringung des Wohngebäudebestandes nach Bundesländern. Dazu wurden die lokal aufgelösten Daten aus [5] mit dem bundeslandspezifischen Wohngebäudebestand von 2007 verrechnet.

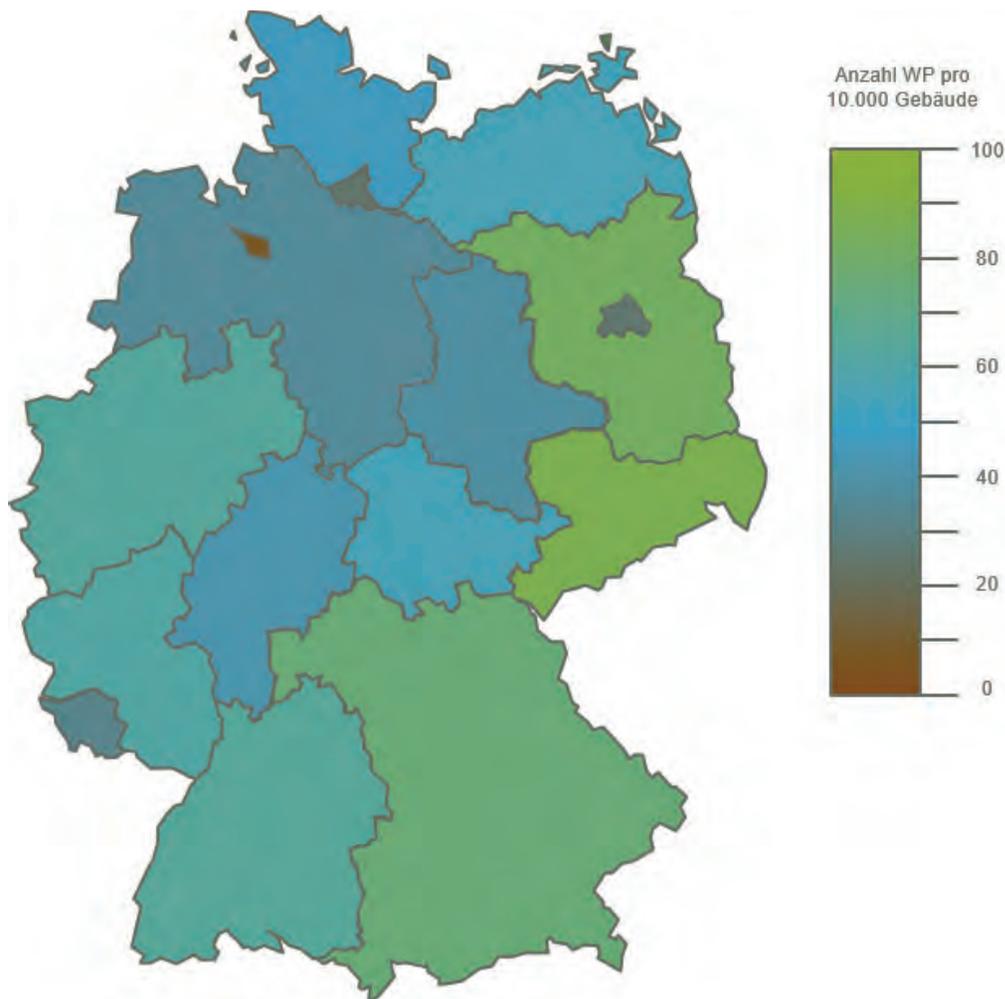


Abbildung 4: Durchdringung von Wärmepumpen im Wohngebäudebestand nach Bundesländern

Die von braun über blau nach grün verlaufende Farbskala stellt die Anzahl an Wärmepumpen pro 10.000 Gebäude dar. Der Wertebereich der Skala reicht dabei von 0 bis 100. Es ist zu erkennen, dass in Bremen sowie auch in den übrigen Stadtstaaten spezifisch gesehen am wenigsten Bestandsgebäude mit Wärmepumpen ausgerüstet werden. Mögliche Gründe dafür ist eine Gebäudestruktur mit mehr Mehrfamilien- als Einfamilienhäusern sowie die Bevorzugung zentraler Wärmeversorgungs-lösungen aufgrund höherer Wärmedichten. In Brandenburg und Sachsen ist der Anteil des

Gebäudebestandes, welcher durch Wärmepumpen ertüchtigt wurde, am größten. Diese Entwicklung geht mit den verstärkten Sanierungsanstrengungen in den ostdeutschen Bundesländern einher.

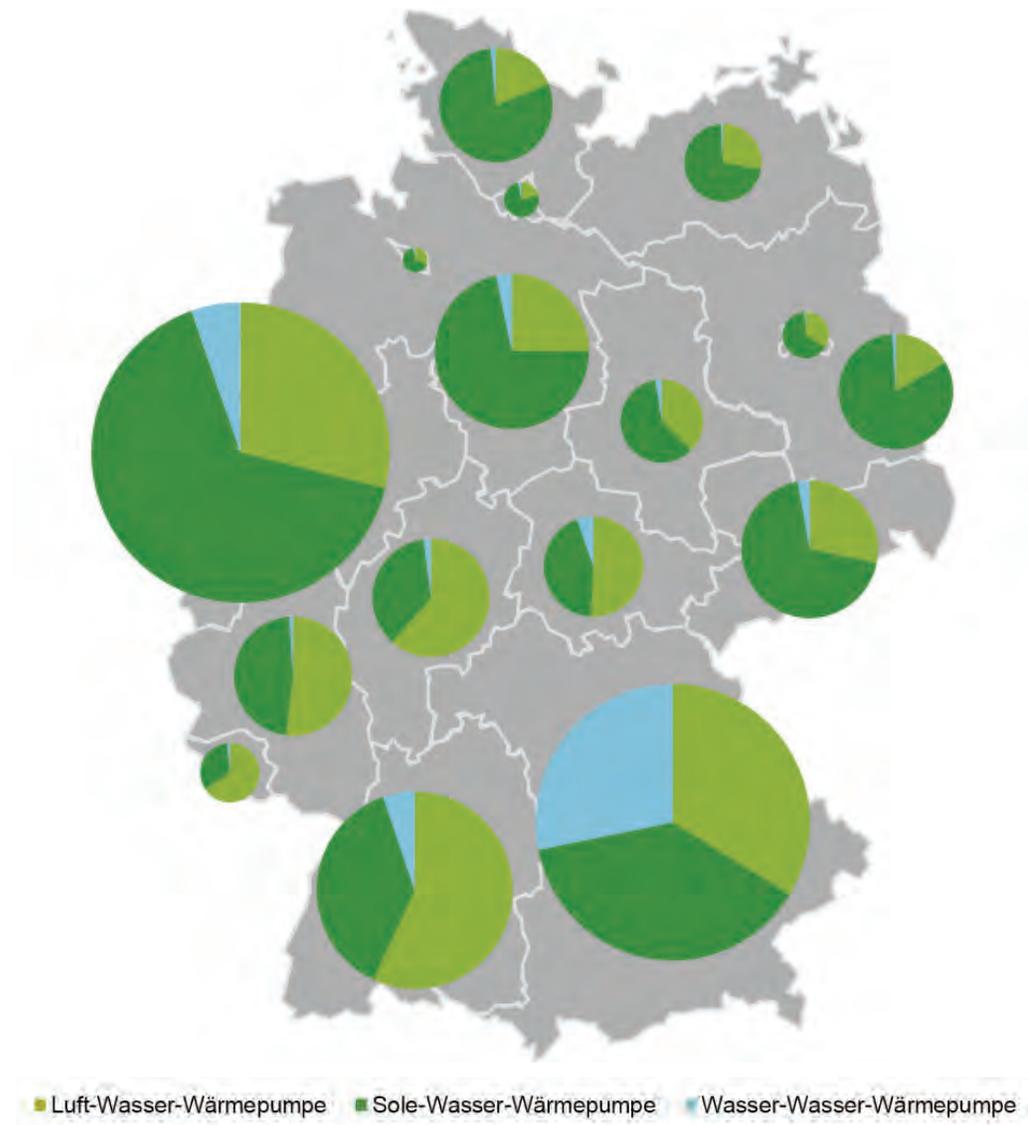


Abbildung 5: Aufteilung der Wärmepumpentypen nach Bundesländern

Lokale Unterschiede sind ebenfalls für die Verteilung nach Wärmepumpentyp zu beobachten. Hierzu zeigen die Kreisdiagramme in Abbildung 5 die relativen Anteile nach Bundesland. Die Größe der Kreise gibt die Anzahl wieder, dadurch wird eine Relation zwischen den absoluten Absatzzahlen hergestellt.

## 2.3 Förderung von Wärmepumpen

Die oben beschriebenen Entwicklungen auf dem Wärmepumpenmarkt sind zum einen auf die Energiepreisentwicklung, zum anderen auf regulatorische Einflussfaktoren zurückzuführen. So haben beispielsweise Verordnungen, wie die Energieeinsparverordnung (EnEV), Gesetze, wie das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) oder aber Fördermaßnahmen des Bundes und der Länder Auswirkungen auf den Wärmepumpenabsatz.

Die in der EnEV vorgeschriebenen Grenzwerte hinsichtlich Energiebedarf und Wärmeverlusten wurden in den letzten Jahren sukzessive verschärft. Die Erfüllung der Anforderungen allein durch eine Verbesserung der Gebäudehülle wird dadurch wirtschaftlich aufwendiger. Das EEWärmeG gibt für Neubauten vor, dass die Wärmeenergieversorgung zumindest anteilig aus regenerativen Energien zu erfolgen hat. Hinzu kommt, dass 2016 der Primärenergiefaktor für Strom von 2,4 auf 1,8 herabgesetzt wurde. Durch diese Vorgaben wird der Einsatz regenerativer Wärmeerzeuger, insbesondere elektrisch betriebener Wärmepumpen, politisch vorangetrieben. [6] [7] [8]

Neben den gesetzlichen Vorgaben wird der Einsatz von Wärmepumpen seit einigen Jahren staatlich gefördert. Das Marktanreizprogramm des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) bietet verschiedene Fördersätze für Neubauten und den Gebäudebestand an. Die Basisförderung für Bestandsgebäude sieht je nach Wärmepumpentyp und Jahresarbeitszahl (JAZ), Fördersummen von 40 - 100 €/kW vor. Wärmepumpen mit besserer Jahresarbeitszahl werden durch die Innovationsförderung für Neubauten und Bestandsgebäude mit bis zu 150 €/kW gefördert. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit von Zusatzförderungen, etwa durch die Kombination mit anderen CO<sub>2</sub>-neutralen Anlagen oder der Einbindung der Wärmepumpe in das Wärmenetz, zu profitieren. Für Bestandsgebäude stehen zusätzlich der Gebäudeeffizienzbonus, bei Erfüllung der Vorgaben des KfW Energieeffizienzhauses 55 nach der Sanierung, und der Optimierungsbonus für bereits geförderte Anlagen zur Verfügung. [9] [10]

Neben der Förderung durch das BAFA wird die Wärmepumpentechnologie außerdem durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) unterstützt. Insgesamt werden sechs verschiedene Förderprogramme angeboten. Diese unterscheiden sich hinsichtlich Neubau und Sanierung, Umfang der Maßnahmen oder Größe der zu installierenden Wärmepumpe. Je nach Förderprogramm werden verschiedene Anforderungen hinsichtlich JAZ oder Leistung gestellt. Die Förderung erfolgt durch die Vergabe von Darlehen mit günstigen Konditionen, sowie Tilgungszuschüssen. Teilweise ist eine Kombination aus KfW-Förderung und BAFA-Förderung möglich. [11]



### 3 Wärmepumpen in der Forschung

In der Forschung steht die Wärmepumpentechnologie schon lange im Fokus. In Abbildung 6 ist die Anzahl aller vom Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) geförderten Forschungsvorhaben im Wärmepumpenbereich von 1974 bis 2017 aufgetragen. Die Daten wurden durch Schlagwortsuche im zentralen Informationssystem für Energieforschungsförderung (EnArgus) erhoben. Folglich werden nur Projekte, in deren Namen oder Kurzbeschreibungen das Wort Wärmepumpe vorkommt, aufgeführt.

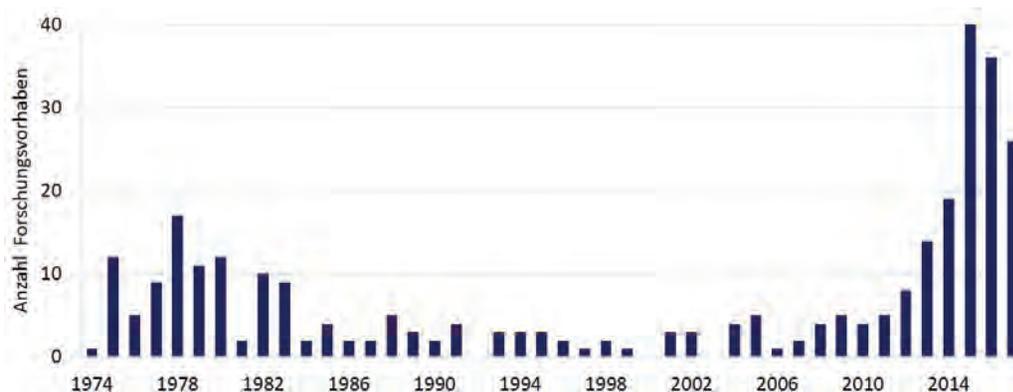


Abbildung 6: Entwicklung der Anzahl an geförderten Forschungsprojekt zu Wärmepumpen

Insgesamt wurden seit 1974 fast 300 Projekte zum Thema Wärmepumpen durchgeführt. Verstärkte Forschungsaktivitäten sind zum einen in den späten 70ern und frühen 80ern zu beobachten, zum anderen zeigt sich ein progressiver Anstieg der Vorhabensanzahl zwischen 2010 und 2015. Auch in 2016 und 2017 starten überdurchschnittlich viele Wärmepumpen-Projekte.

Eine thematische Auswertung der Projekttitle zeigt, dass in den 70er- und 80er-Jahren Grundsatzuntersuchungen zur Wärmepumpentechnologie, die Weiterentwicklung von einzelnen Komponenten sowie von diesel- und gasmotorischen Wärmepumpen im Fokus stand. Auch Absorptionswärmepumpen wurden vermehrt untersucht. Forschungsanstrengungen galten darüber hinaus der Entwicklung kleiner Haushalts-Wärmepumpen, da die Technologie bis dorthin vorwiegend in Industrieanwendungen genutzt wurde. Forschungsfokus der aktuelleren Vorhaben liegt hingegen auf der Entwicklung von Bewertungsmethoden für Wärmepumpensysteme, Gesamtsystembetrachtungen und Möglichkeiten zur Integration von Erneuerbaren Energien durch Wärmepumpen.

### 3.1 Datengrundlage

Im Folgenden werden die Projekte der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN (EWB) hinsichtlich ihres Forschungsfokus auf Wärmepumpen ausgewertet. Als Datengrundlage werden die Ergebnisse des ersten Online-Fragebogens verwendet. Die erste Datenerhebung der Begleitforschung EWB fand im Frühjahr 2017 statt. Es wurden 763 Teilprojekte aus dem Forschungsbereich Energien für Gebäude und Quartiere, deren Laufzeit frühestens am 01.01.2016 endete, angeschrieben. Den Teilprojekten wurde freigestellt den Fragebogen einzeln oder durch den Verbundprojektleiter für alle Verbundpartner auszufüllen. Insgesamt wurden 406 Fragebögen abschließend beantwortet. Die Antworten decken, aufgrund einiger gemeinschaftlicher Antworten von Verbundprojekten, insgesamt 473 der angeschriebenen 763 Teilprojekte ab. Auf Basis der Datenerhebung werden die Projekte den Kategorien Gebäude, Quartiere, Versorgungsnetze, Tools & Planungswerkzeuge, Methoden & Konzepte sowie neue Technologien zugeordnet.

### 3.2 Projektkategorie Gebäude

In der Projektkategorie Gebäude wurden 14 Demonstrationsvorhaben, in denen Wärmepumpen zum Einsatz kommen, identifiziert. Als Demonstrationsvorhaben werden Projekte bezeichnet, in denen Forschungsaspekte am realen Objekt, in dieser Kategorie folglich am Gebäude, praktisch untersucht werden. Wie Abbildung 7 zeigt, sind vier der Objekte dem Gebäudetyp Wohngebäude und zehn Objekte dem Typ Nichtwohngebäude zuzuordnen.

	Fläche in m <sup>2</sup>	Projekttyp		Funktion	Wärmequelle					weitere Wärmeerzeuger			
		Neubau	Sanierung		TWW	Geo-thermie	Solar-thermie	Ab-wärme	Ab-wasser	Luft	Fern-Wärme	Heiz-kessel	BHKW
Wohngeb.	EFH/DH I	153	■		■								
	EFH/DH II	250	■		■							■	
	EFH/DH III	52	■		■	■							
	MFH	3.626		■	■	■	■					■	
Nichtwohngebäude	Bürogebäude	6.231	■					■					■
	Forschung I	9.223	■						■			■	■
	Forschung II	3.756	■			■		■					
	Produktionshalle	1.963	■		■								
	Schule I	14.028	■			■							■
	Schule II	4.900		■	■	■							■
	Schule III	18.162		■	■		■						■
	Schwimmbad	4.590		■	■	■				■			
	Verwaltung I	46.557	■		■	■						■	
	Verwaltung II	21.820	■			■							■

Abbildung 7: Spezifizierung der Gebäudeprojekte

Drei der Wohngebäude sind Einfamilien- oder Doppelhäuser, welche im Rahmen des Forschungsprojektes neu gebaut werden. Die Nettogrundfläche der Gebäude reicht von 52 m<sup>2</sup> bis 250 m<sup>2</sup>. In einem weiteren Projekt wird die Sanierung eines Mehrfamilienhauses mit einer Nettogrundfläche von 3.626 m<sup>2</sup> durchgeführt.

Unter den Nichtwohngebäuden befinden sich ein Bürogebäude, zwei Forschungseinrichtungen, eine Produktionshalle, drei Schulen, ein Schwimmbad und zwei Verwaltungsgebäude. Zwei Schulen sowie das Schwimmbad gehören der Projekt-

kategorie Sanierung an. Die übrigen Nichtwohngebäude werden neu errichtet. Das kleinste betrachtete NWG ist die Produktionshalle mit 1.963 m<sup>2</sup>, das Größte ein Verwaltungsgebäude mit 46.557 m<sup>2</sup> Nettogrundfläche.

Alle eingesetzten Wärmepumpen werden zur Heizwärmebereitstellung genutzt. Darüber hinaus kommen einige ebenfalls zur Trinkwarmwasserbereitung zum Einsatz. Alle in den Wohngebäuden installierten Anlagen, sowie die in der Produktionshalle, den zwei Schulen, dem Schwimmbad und einem Verwaltungsgebäude Wärmepumpen verfügen über diese Funktion.

Eine weitere Erkenntnis der Erhebung ist, dass Geothermie am häufigsten als Wärmequelle verwendet wird. In jeweils zwei Wohn- und Nichtwohngebäuden wird auf Solarthermie zurückgegriffen. Auch Abwärme und Abwasserwärme werden in je zwei Forschungsprojekten genauer untersucht. In einem Einfamilienhaus wird Luft als Wärmequelle für die Wärmepumpe genutzt. In den meisten Projekten wird von einer Wärmequelle Gebrauch gemacht. Im Mehrfamilienhaus (MFH) hingegen wird die parallele Nutzung von Geothermie und Solarthermie untersucht. In einem Forschungsgebäude kommen Geothermie sowie die Abwärme aus einem naheliegenden Rechenzentrum zum Einsatz. Das Schwimmbad bezieht die Wärme aus Solarthermie und Abwasser.

In acht Projekten kommen neben den Wärmepumpen, weitere Wärmeerzeuger zum Einsatz. Abbildung 7 zeigt, dass bei den bi- oder multivalenten Anlagen der Heizkessel die neben der Wärmepumpe am häufigsten verwendete Komponente ist. In weiteren Forschungsvorhaben werden Wärmepumpen zusammen mit Fernwärme oder Blockheizkraftwerken (BHKWs) zur Heizwärmebereitstellung genutzt. Um die Rolle der Wärmepumpe innerhalb der untersuchten Heizsysteme genauer abzubilden, ist in Abbildung 8 der prozentuale Anteil der Wärmepumpenleistung über der kumulierten installierten Heizleistung aufgetragen.

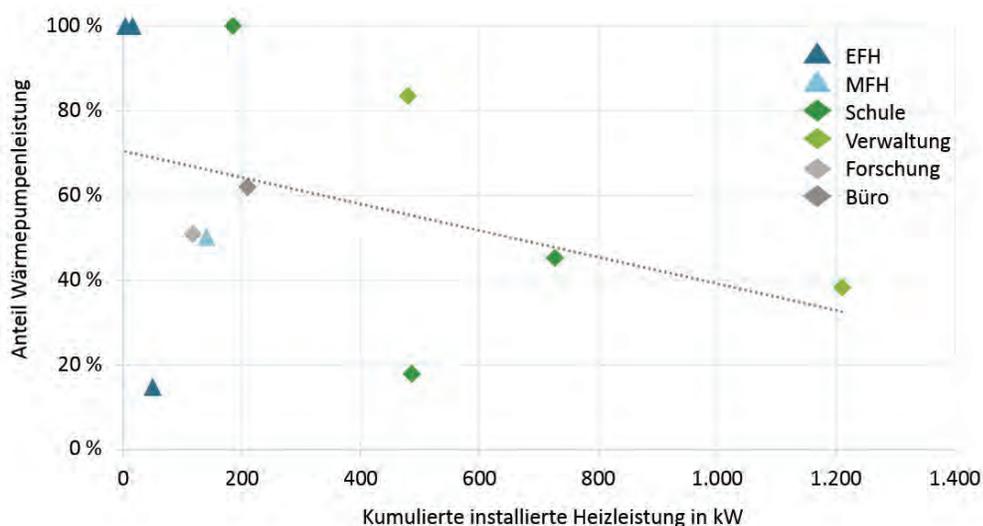


Abbildung 8: Anteil der Wärmepumpenleistung an der Heizleistung für verschiedene Gebäudetypen

Im Bereich kleiner Leistungen von bis zu 200 kW sind alle monovalenten Systeme sowie alle Wohngebäude (Dreieck) angesiedelt. Die Heizleistungen der Nichtwohngebäude (Raute) reichen von 120 kW bis mehr als 1.200 kW. Die Leistungsanteile der Wärmepumpe in den bi- und monovalenten Systemen der NWGs weisen keine klare Tendenz hinsichtlich Anlagengröße oder Gebäudetyp auf und schwanken zwischen 18 und 83 %.

Im Fragebogen angegebene Forschungsfokuse der hier gezeigten Gebäudeprojekte sind beispielsweise die Untersuchung einer solaren Gesamtwärmeversorgung, die Errichtung von Plusenergiegebäuden, die erfolgreiche Demonstration des Einsatzes von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern, der netzdienliche Betrieb von Verwaltungsgebäuden sowie die Errichtung eines nachhaltigen Energieforschungscampus.

### 3.3 Projektkategorien Quartiere und Versorgungsnetze

In den beiden Projektkategorien Quartiere und Versorgungsnetze gibt es insgesamt neun Umsetzungsprojekte. Durch Abbildung 9 werden diese Demonstrationsvorhaben anhand von sechs Spezifikationen genauer beschrieben.

	Siedlungstyp	Gebäude Anzahl	Projekttyp		zentrale Versorgung						dezentrale Versorgung		
			Neubau	Sanierung	Wärmepumpe	Heizkessel	BHKW	Geothermie	Solarthermie	Speicher	Wärmepumpe	Solarthermie	Speicher
Wohnen	EFH/DH	131	■		■	■		□	■	■		■	■
	EFH/DH	25	■					■				■	■
	kleine MFH	3	■									■	■
	Zeilenbebauung: MFH + Hochhäuser	45	■									■	■
	Zeilenbebauung: MFH + Hochhäuser	k. A.		■	□							■	
Nicht-w.	Citybebauung/ Altstadt	258		■						■	■		
Mischgebiet	Zeilenbebauung: MFH + Hochhäuser	k. A.	■		■	■	■				■		
	Citybebauung/ Altstadt	k. A.	■								■	■	
	Sondergebiet	k. A.		■	□	■	■						

Abbildung 9: Spezifizierung der Quartiers- und Netzprojekte

Bezugnehmend auf die Quartiersnutzung ordnen sich fünf der Projekte der Nutzung Wohnen, ein Projekt der Nutzung Nichtwohnen zu. In den drei übrigen Quartieren stehen Wohn- und Nichtwohngebäude nebeneinander, was hier als Mischgebiet bezeichnet wird. Eine genauere Spezifikation des Siedlungstyps ergibt, dass in zwei Vorhaben neu gebaute Einfamilien-/Doppelhaus-Siedlungen mit 25 bzw. 131 Gebäuden im Forschungsfokus stehen. In einem weiteren Wohngebiet wird ein neuer Komplex von drei kleinen Mehrfamilienhäusern untersucht. Siedlungen des Stadtraumtyps Zeilenbebauung mit MFH und Hochhäusern werden in zwei Projekten neu errichtet, in einem weiteren saniert. In dem als Nichtwohngebiet angegebenen Quartier vom Typ City/Altstadt werden 258 Gebäude energetisch ertüchtigt. Darüber hinaus wird ein weiteres City-Gebiet neu errichtet sowie ein Gebiet mit Sondernutzung saniert.

In den Quartieren werden diverse Energieversorgungskonzepte realisiert. So werden nahezu alle Wohngebiete über eine Kombination aus zentralen und dezentralen

Erzeugern mit Heizwärme versorgt. In Nichtwohn- sowie Mischgebieten werden vorwiegend zentrale Versorgungslösungen eingesetzt. Der am häufigsten verwendete Erzeuger ist hier das Blockheizkraftwerk. In vier der neun Projekte werden zentral oder dezentral installierte Wärmepumpensysteme in der Anwendung erprobt (ausgefüllte Quadrate in den Spalten zentrale Versorgung - Wärmepumpe und dezentrale Versorgung - Wärmepumpe). In zwei weiteren Forschungsvorhaben werden Power-to-Heat-Anlagen verwendet, was in der Grafik durch nicht ausgefüllte Quadrate in der Spalte zentrale Versorgung – Wärmepumpe symbolisiert wird. Die unterschiedliche Darstellung der Quadrate in der Spalte Geothermie zielt auf die Unterscheidung nach direkter Nutzung für das Wärmenetz (ausgefülltes Quadrat) und indirekte Nutzung (unausgefülltes Quadrat) ab.

Die Energieversorgungskonzepte der vier Umsetzungsprojekte mit Wärmepumpenlösungen werden in Abbildung 10 visualisiert. In den ersten beiden Spalten der Grafik werden, der Stadtraumtyp, der Projekttyp sowie die Quartiersnutzung aufgezeigt. Die einzelnen Projekte werden jeweils durch ein Gebäude repräsentiert. Die direkt neben dem Gebäude und auf dem Gebäudedach platzierten Elemente stellen dezentrale Energiesystemkomponenten und die unterhalb der Gebäude dargestellten Elemente stellen zentrale Energiesystemkomponenten dar. Sind die Elemente in blau dargestellt, ist die entsprechende Komponente im Versorgungskonzept des Quartieres vorgesehen, bei einer ausgegrauten Darstellung wird von dieser Komponente kein Gebrauch gemacht.

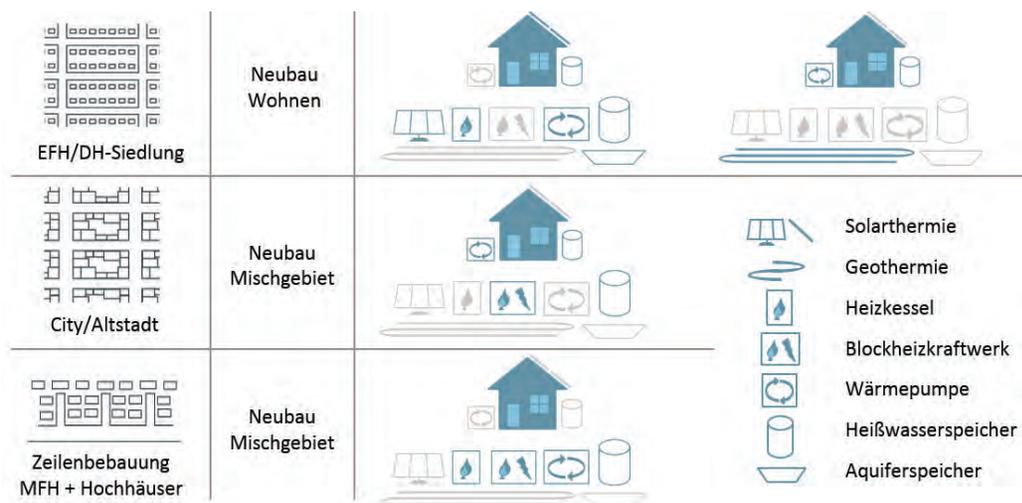


Abbildung 10: Urbane Energieversorgungskonzepte mit Wärmepumpenanwendung

In Abbildung 10 oben links dargestellten Forschungsvorhaben wird in einer neuen Einfamilien-/Doppelhaus-Siedlung ein Low-Ex-Gesamtkonzept in der Umsetzung erprobt. Im Projekt steht die geosolare Nahwärmeversorgung im Vordergrund. Zur saisonalen Überbrückung dient ein zentraler Aquiferspeicher. Das Nahwärmenetz wird zu einem großen Anteil aus zentralen Solarthermieanlagen gespeist. Als weitere zentrale Komponenten werden Wärmepumpe, Heizkessel, BHKW und Wärmespeicher eingesetzt. Zusätzlich sind die Gebäude des Quartiers mit dezentralen Solarkollektoren

ausgerüstet und verfügen über eigene Wärmespeicher.

In Abbildung 10 erste Zeile rechts daneben dargestellten Vorhaben wird eine Wohnsiedlung im Plusenergiestandard errichtet. Forschungsfokus liegt hier auf der Verwendung von landwirtschaftlichen Nutzflächen als Energiequelle, was als Agrothermie bezeichnet wird. Die den Nutzflächen entzogene Erdwärme wird über ein Wärmenetz an die Gebäude verteilt und kann so von den dezentral installierten Wärmepumpen als Wärmequelle verwendet werden. Ein weiterer Untersuchungsaspekt dieses Vorhabens liegt auf dem stromnetzoptimierten Betrieb der dezentralen Heizenergiesysteme, bestehend aus Wärmepumpe und thermischem Speicher.

Der Neubau eines Plusenergie-Quartieres ist ebenfalls Ziel des in Abbildung 10 mittig visualisierten Projektes. Neben einem Nahwärmenetz, dessen Wärme durch ein BHKW erzeugt wird, verfügen die einzelnen Gebäude über reversible Wärmepumpen zur Wärme- und Kälteversorgung. Im Forschungsfokus steht der netzneutrale Betrieb der stromnetzgekoppelten Wärmeerzeuger BHKW und Wärmepumpe.

Im vierten Vorhaben wird die Verwendung von Abwasser als Wärme- und Kältelieferant untersucht. Das Abwasser-Wärmepumpensystem wird in Ergänzung zur konventionellen zentralen Versorgung des Quartieres über Kessel und BHKW installiert.

### 3.4 Projektkategorie Tools & Planungswerkzeuge

In der Kategorie Tools & Planungswerkzeuge gaben drei Forschungsprojekte einen Bezug zu Wärmepumpen an. So wird in einem Projekt ein Berechnungs- und Auslegungstool zur energieeffizienten Kühlung von Gebäuden mit thermisch angetriebenen Kältemaschinen und umschaltbaren Wärmepumpensystemen entwickelt. Ein weiteres Vorhaben gilt der Charakterisierung der Leistungsfähigkeit von Wärmepumpe-Heizsystemen mit quellenseitig installierten PVT-Kollektoren. Dazu erfolgt eine Modellentwicklung zur Integration in kommerzielle Planungswerkzeuge. Im dritten Projekt wird eine Online-Plattform zur Auswahl der geeigneten Wärmequellen auf Basis einer ganzheitlichen, energetischen und wirtschaftlichen Bewertung der auf dem Markt vorhandenen Wärmeübertragersysteme für Wärmepumpen entwickelt. [12]

### 3.5 Projektkategorie Methoden & Konzepte

In der Kategorie Methoden & Konzepte setzen sich gegenwärtig vier Projekte mit aktuellen Problemstellungen bezüglich Wärmepumpen auseinander. Da in der Praxis die angegebenen Nutzungsgrade oft nicht erreicht werden, beschäftigt sich ein Vorhaben mit der Entwicklung von Testszenarien zur realistischen Einschätzung der Effizienz von Wärmepumpen. Mit dem Forschungsfokus Netzdienlichkeit werden in einem anderen Projekt Betriebsführungsstrategien zur effizienten Versorgung von Gewerbe-, Handels- und Dienstleistungsbauten untersucht. Im dritten Vorhaben dieser Kategorie wird die Möglichkeit zum individuellen Lastmanagement durch die Entwicklung eines Latentwärmespeichers für Wärmepumpensysteme und eines prädiktiven Reglers geschaffen. Ziel der vierten Studie ist die messtechnische Untersuchung der Effizienz von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden zur Bewertung von Sanierungsmaßnahmen. [12]

### 3.6 Projektkategorie neue Technologien

In der Kategorie neue Technologien existieren 19 Forschungsprojekte, die auf unterschiedlichen Ebenen Entwicklungen im Bereich der Wärmepumpentechnologie berücksichtigen. Für die Auswertung wurden alle Projekte berücksichtigt, die in der Kurzbeschreibung ihres Vorhabens oder der Beschreibung des Forschungsfokus einen Bezug zur Wärmepumpen angeben. Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Projekte nach den technischen Ebenen Materialien, Komponenten, Anlagen und Gesamtsysteme.

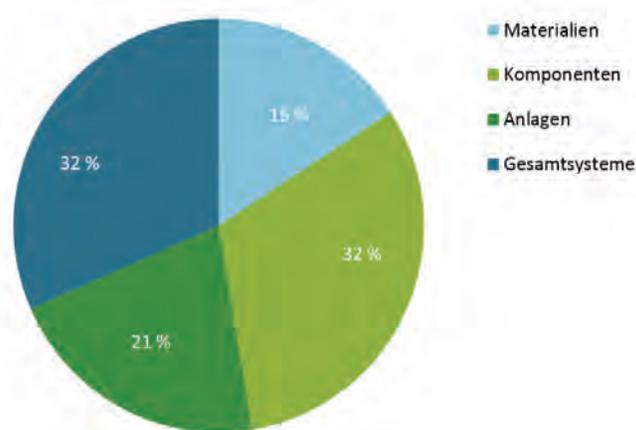


Abbildung 11: Verteilung der Wärmepumpenprojekte nach Ebenen der Technologieforschung

Auf der ersten Ebene, welcher mit 16 % die wenigsten Projekte zuzuordnen sind, werden Adsorptionsmaterialien, Phasenwechselmaterialien sowie Hinterfüll- und Sondenmaterialien entwickelt. Etwa ein Drittel der Vorhaben beschäftigt sich mit Komponenten für Wärmepumpensysteme. Hier ist auffällig, dass nicht Komponenten der Wärmepumpe oder diese selbst, sondern PVT-Kollektoren, Fassaden-Elemente und Wärmeübertrager im Fokus dieser Projekte stehen. Auf Anlagenebene werden Absorptionswärmepumpen im Feldtest, sowie deren Eignung für bestimmte Industrieprozesse untersucht. Darüber hinaus wird in einem Projekt eine mit natürlichen Kältemitteln betriebene Hochtemperatur-Kompressionswärmepumpe für industrielle Anwendungen näher betrachtet. In einem weiteren Projekt werden außerdem eine Gas- und eine Elektrowärmepumpe für den MFH-Gebäudebestand entwickelt. In allen Forschungsvorhaben, die sich auf der Technologieebene Gesamtsystem befinden, werden Wärmepumpensysteme mit solaren Systemen, insbesondere Solarthermie, aber auch PV oder PVT kombiniert. Die Systeme werden für unterschiedliche Gebäudetypen, von Wohngebäuden über Gewerbebauten bis hin zu Industriehallen, entwickelt. Im Forschungsfokus der Gesamtsystem-Projekte steht zumeist eine wirtschaftliche Dimensionierung der Systeme, aber auch der intelligente Betrieb.



## 4 Zusammenfassung

In der vorliegenden Auswertung wurden die bisherigen Entwicklungen der Wärmepumpentechnologie in Forschung und Anwendung untersucht. Neben der Beschreibung des Wärmepumpenmarktes wird der Einsatz der Technologie als Hauptwärmeerzeuger im Neubau und Bestand von Wohn- und Nichtwohngebäuden dargelegt. Darüber hinaus umfassen die Ausführungen aktuelle Forschungsfragestellungen zu Wärmepumpen im Bereich „Energie in Gebäuden und Quartieren“. Hierzu wurden die Vorhaben der Förderinitiative ENERGIEWENDEBAUEN analysiert.

Es wurde gezeigt, dass der Anteil an Wärmepumpen in neuen Wohngebäuden in den letzten Jahren auf 31 % angestiegen ist. Insgesamt stellt die Wärmepumpe somit die neben dem Gaskessel am häufigsten verwendete Technologie dar. Auch in neuen Nichtwohngebäuden wurden in den letzten Jahren vermehrt Wärmepumpen eingesetzt. In Wohngebäuden überwiegt der Anteil der Luft-Wasser-Wärmepumpen, in Nichtwohngebäuden wird die Wärmequelle Geothermie bevorzugt verwendet. Im Wohngebäudebestand konnten durch Fördermaßnahmen kurzzeitig mehr Wärmepumpen abgesetzt werden als in Neubauten. Diese Entwicklungen dauerten jedoch nur zwei Jahre an. Zuletzt wurden zur Anwendung im Bestand etwa dreimal weniger Wärmepumpen als zur Anwendung im Neubau abgesetzt. Der kumulierte Anteil der in [5] dokumentierten Wärmepumpen beträgt 0,6 % des Wohngebäudebestandes.

Seit 1947 wurden fast 300, vom BMWi geförderte, Forschungsprojekte zum Thema Wärmepumpen durchgeführt. Dabei zeigt sich ein progressiver Anstieg der Vorhabensanzahl ab 2010. In der Förderinitiative ENERGIEWENDEBAUEN wurden Wärmepumpenprojekte in den Kategorien Gebäude, Quartiere, Versorgungsnetze, Tools & Planungswerkzeuge, Methoden & Konzepte sowie neue Technologien identifiziert. In 18 Umsetzungsvorhaben werden Wärmepumpen in der Anwendung demonstriert. Dabei reicht der Forschungsfokus vom netzdienlichen Betrieb, über solare Gesamtkonzepte bis hin zu Plusenergiegebäuden- und Quartieren. Die drei Toolentwicklungsprojekte zielen durch Erstellung von Online-Plattformen und der Integration von neuen Modellen in weit verbreitete Planungswerkzeuge auf einen Übertrag der bisherigen Forschungserkenntnisse in die Praxis ab. In den vier Projekten der Kategorie Methoden & Konzepte wird die technische und systemische Bewertung von Wärmepumpen überdacht. Weitere Fragestellungen beschäftigen sich mit intelligenten, digitalen Versorgungssystemen und der Eignung von Wärmepumpen für den Gebäudebestand. In neunzehn Technologieprojekten werden Wärmepumpensysteme auf Material-, Komponenten, Anlagen- und Gesamtsystemebene untersucht und weiterentwickelt.



## Literaturverzeichnis

- [1] Deutsche Energie-Agentur (dena), Allianz für Gebäude-Energie-Effizienz (geea), „Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor,“ Berlin, 2017.
- [2] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), „Energiesystem Deutschland 2050,“ Freiburg, 2013.
- [3] Fraunhofer IWES/IBP, „Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Eine Studie im Auftrag von Agora Energiewende,“ Kassel, 2017.
- [4] Statistisches Bundesamt, „Baugenehmigungen/Baufertgstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach Art der Beheizung und Art der verwendeten Heizenergie, Lange Reihen ab 1980,“ Wiesbaden, 2016.
- [5] eclareon GmbH, „Wärmepumpenatlas,“ [Online]. Available: <http://www.waermepumpenatlas.de/>. [Zugriff am 24. Oktober 2017].
- [6] Bundesverband Wärmepumpe e.V., „Wärmepumpe im Neubau,“ [Online]. Available: <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/neubau/>. [Zugriff am 09 August 2018].
- [7] Bundesverband Wärmepumpe e.V., „Ratgeber Energieeinsparverordnung (EnEV),“ November 2015. [Online]. Available: [https://www.waermepumpe.de/uploads/tx\\_bcpagflip/Ratgeber\\_EnEV.pdf](https://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bcpagflip/Ratgeber_EnEV.pdf). [Zugriff am 09 August 2018].
- [8] M. Tuschinski, „Wärmegesetz 2011: Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG,“ 2012. [Online]. Available: [http://www.enev-online.de/eewaermeg/2011/anlage\\_3\\_geothermie\\_und\\_umweltwaerme.htm](http://www.enev-online.de/eewaermeg/2011/anlage_3_geothermie_und_umweltwaerme.htm). [Zugriff am 09 August 2018].
- [9] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „Heizen mit Erneuerbaren Energien - Wärmepumpen,“ 2018. [Online]. Available: [http://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen\\_mit\\_Erneuerbaren\\_Energien/Waermepumpen/waermepumpen\\_node.html](http://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Waermepumpen/waermepumpen_node.html). [Zugriff am 09 August 2018].
- [10] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „Förderübersicht Wärmepumpe (Basis-, Innovations- und Zusatzförderung),“ 02 Januar 2018. [Online]. Available: [https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ew\\_waermepumpen\\_foerderuebersicht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ew_waermepumpen_foerderuebersicht.pdf?__blob=publicationFile&v=5). [Zugriff am 09 August 2018].
- [11] Bundesverband Wärmepumpe e.V., „KfW-Förderung für Wärmepumpen,“ [Online]. Available: <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/foerderung/bafa-foerderung-fuer-waermepumpen/kfw-foerderung-fuer-waermepumpen/>. [Zugriff am 09 August 2018].
- [12] EnArgus – Zentrales Informationssystem Energieforschungsförderung, „Kurzbeschreibungen der Forschungsprojekte“.





Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Impressum

Herausgeber: Wissenschaftliche Begleitforschung\_ENERGIEWENDEBAUEN  
RWTH Aachen University  
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik  
Mathieustraße 10  
52074 Aachen

E-Mail: [begleitforschung@eonerc.rwth-aachen.de](mailto:begleitforschung@eonerc.rwth-aachen.de)  
Internet: [energiewendebauen.de](http://energiewendebauen.de)

Autoren: Sarah Henn<sup>1</sup> unter Mitwirkung weiterer Mitglieder der Wissenschaftlichen Begleitforschung  
ENERGIEWENDEBAUEN

Bildquelle sofern nicht explizit anders angegeben Wissenschaftliche Begleitforschung.

Für den Inhalt und das Bildmaterial der einzelnen Beiträge tragen alleine die Autoren die Verantwortung.  
Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder in einem anderen  
Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert oder unter Verwendung elektroni-  
scher Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

**ISBN: 978-3-942789-97-4**

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

