



Johann Rossmann, BSc

Die Rolle von Wärmepumpen im künftigen Elektrizitätssystem

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Elektrotechnik

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Udo Bachhiesl

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation

Graz, Februar 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen / Hilfsmittel nicht benutzt und die, den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum

Unterschrift

DANKSAGUNG

Ich möchte mich bei jenen Personen bedanken, die mir bei der Realisierung meiner Masterarbeit behilflich waren.

Für die gute Zusammenarbeit, Unterstützung und den damit verbundenen Zeitaufwand gilt mein besonderer Dank meinem Betreuer Herrn **Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Udo Bachhiesl** und Herrn **Univ.-Prof. Mag.rer.soc.oec. Dipl.-Ing. Dr.techn. Heinz Stigler** seitens des Institutes für Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation der TU Graz.

Ich bedanke mich auch bei meinen Freunden und Studienkollegen, welche mich bei meinem Studium begleitet haben, sowohl für die gegenseitigen Hilfestellungen und für die fachlichen Diskussionen.

Ein ganz großes Dankeschön gilt aber vor allem meinen Eltern **Johann und Erika Rossmann**, welche mir mein Studium ermöglicht und mich immer tatkräftig unterstützt haben.

KURZFASSUNG

Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels hat sich die Politik ambitionierte Klima- und Umweltziele gesetzt. Um diese Vorgaben zu erreichen werden CO₂-arme, energieeffiziente und erneuerbare Energiesysteme forciert. Ein großer Energiebedarf und damit entsprechende Nachfrage fällt im Bereich der Raumwärmebereitstellung an. Beim Bau von neuen Häusern ist ein Trend in Richtung Niedrigenergiebauweise deutlich zu erkennen. Gerade bei diesen Konzepten stellen Wärmepumpen effiziente Heizungssysteme dar, da Niedertemperaturheizungssysteme verwendet werden können. Des Weiteren ist aufgrund der großen vorliegenden thermischen Speichermassen ein Potential zur Laststeuerung vorstellbar, sodass das Energiesystem künftig auf diese Weise entlastet werden kann.

Wärmepumpen nutzen die regenerative Umgebungswärme aus Luft, Wasser und dem Erdreich um die benötigte Wärme bzw. auch Kälte in den Gebäuden zu generieren. Mit ihnen kann eine Steigerung der Energieeffizienz, die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energieträgern und gleichzeitig die Senkung der Betriebskosten erreicht werden. Die Wärmepumpentechnologie hat grundsätzlich somit das Potenzial sich sukzessive zu einer Schlüsseltechnologie vor allem im Raumwärmebereich zu entwickeln.

Im Rahmen der Arbeit werden die aktuelle Ausgangslage sowie die Vor- bzw. Nachteile der Wärmepumpensysteme aufgezeigt und für das bessere Verständnis der Wärmepumpentechnologie die Grundlagen zu diesem Thema ausführlich dargestellt. Weiters wurde auch ein wirtschaftlicher Heizkostenvergleich mit anderen Heizungssystemen dargestellt. Der derzeitige Ist-Stand des Wärmepumpeneinsatzes in Österreich und in der Europäischen Union wird anhand einer Analyse des Raumwärmebedarfs sowie des Wärmepumpenmarktes erarbeitet.

Des Weiteren werden verschiedene Ansätze zur Regionalisierung des Wärmepumpenbestandes untersucht und eine zukünftige Methodik auf den österreichischen Wärmepumpenmarkt angewendet.

Es wird auch auf die Zukunftsperspektive für den Einsatz von den Wärmepumpensystemen eingegangen. Hierzu werden vielseitige Anwendungsmöglichkeiten im Raumwärmebereich, bei der Anwendung der Heizungsanlage als Steuerungselement im elektrischen Netz, in thermischen Fernwärmenetzen, im industriellen Bereich und zur Nutzung der Wärmepumpen in Elektroautos aufgezeigt, wobei auch auf konkrete Beispiele eingegangen wird.

ABSTRACT

Due to the progressive climate change, policy has set ambitious climate and environmental targets. In order to reach these requirements, low-carbon, energy-efficient and renewable energy systems are being promoted. A large energy demand is given for heating our buildings. A trend towards low-energy construction is clearly visible in the field of building new houses.

Heat pumps represent efficient heating systems particularly in these concepts because they can use low temperature heating systems. Furthermore, due to the large available thermal storage masses a possibility for load control is thinkable to relieve the energy system in future.

Heat pumps use regenerative ambient heat from air, water and the ground to generate the required heat or even cold for the buildings. They are able to increase the energy efficiency and the use of renewable energy sources and at the same time they reduce the operating costs. Heat pump technology has the principally potential to evolve into key technology especially in the sector of room heating.

In this thesis the current situation as well as the advantages and the disadvantages of heat pump systems are demonstrated. For a better understanding of the heat pump technology, the basics are described in detail. Additionally, an economic comparison of heating costs was presented. The present status of the use of heating pumps in Austria as well as in the European Union is elaborated by analyzing the heat demand and the heat pump market.

Furthermore various approaches for the regionalization of the heat pump stock are investigated and a promising methodology is applied to the Austrian heat pump market.

The future perspective for the use of heat pump systems is also discussed. For this purpose, multilaterally areas of use in the space heating area, the application of the heating system as a control element of the electrical network, the thermal district heating networks, the industrial heat pump application and the use of heat pumps in electric cars are being demonstrated. Specific examples are also considered.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	Ausgangslage.....	1
1.2	Aufbau der Arbeit.....	2
1.3	Vorteile und Nachteile von Wärmepumpen.....	3
2	GRUNDLAGEN VON WÄRMEPUMPEN	6
2.1	Historische Entwicklung der Wärmepumpe.....	6
2.2	Aufbau, Funktion und Grundprinzip der Wärmepumpe	7
2.3	Arbeitsprinzipien	11
2.3.1	Kompressionswärmepumpen	11
2.3.2	Sorptionswärmepumpen.....	15
2.4	Betriebsweise	16
2.4.1	Monovalente Betriebsweise	17
2.4.2	Monoenergetische Betriebsweise	17
2.4.3	Bivalente Betriebsweise.....	17
2.4.3.1	Bivalent-parallele Betriebsweise.....	18
2.4.3.2	Bivalent-teilparallele (alternative) Betriebsweise	18
2.5	Kältemittel.....	18
2.6	Kennzahlen.....	20
2.6.1	Jahresarbeitszahl – JAZ	21
2.6.2	Leistungszahl – COP (Wirkungsgrad).....	21
2.7	Arten der Wärmequellen und Wärmepumpen.....	22
2.7.1	Wasser - Hydrothermale Wärmepumpen.....	24
2.7.2	Luft - Luftwärmepumpen.....	25
2.7.3	Erdreich - Erdwärmepumpen	26
2.7.4	Zusammenfassung der Vorteile/Nachteile der Wärmepumpentypen.....	28
2.8	Einsatzgebiete von Wärmepumpen	28
2.8.1	Heizungswärmepumpe/Raumwärmepumpe	29
2.8.2	Brauchwasserwärmepumpe	30
2.8.3	Lüftungswärmepumpe	30
2.8.4	Industriewärmepumpe	30
2.8.5	Entfeuchtungswärmepumpe für Schwimmbäder	30
2.9	Wirtschaftlicher Heizkostenvergleich	31
3	WÄRMEPUMPEN IN ÖSTERREICH	35
3.1	Analyse des Raumwärmebedarfs	35
3.2	Wärmepumpenmarkt	39
3.2.1	Der österreichische Inlandsmarkt.....	39
3.2.2	Der österreichische Exportmarkt.....	43
3.3	Förderung von Wärmepumpen	44
4	AKTUELLER STAND VON WÄRMEPUMPEN IN DER EUROPÄISCHEN UNION.....	51
4.1	Analyse des Raumwärmebedarfs	51

4.2	Wärmepumpenmarkt	55
5	REGIONALISIERUNG DER WÄRMEPUMPEN AUF NUTS-REGIONEN.....	69
5.1.1	Österreich.....	71
5.1.2	Ausblick Europäische Union	76
6	ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN FÜR WÄRMEPUMPENSYSTEME.....	77
6.1	Wärmepumpen im Raumwärmebereich und zur Warmwasseraufbereitung	80
6.2	Wärmepumpen als Steuerungselement im elektrischen Netz	83
6.3	Wärmepumpen in thermischen Netzen	87
6.4	Wärmepumpen im industriellen Bereich.....	91
6.5	Wärmepumpen in Elektroautos.....	92
7	ZUSAMMENFASSUNG	95
8	VERZEICHNISSE.....	97
8.1	Literatur	97
8.2	Abkürzungen	103
8.3	Abbildungen.....	106
8.4	Tabellen.....	108

1 EINLEITUNG

1.1 AUSGANGSLAGE

Die künftige Energieversorgung ist einem grundlegenden Strukturwandel unterworfen, die im Spannungsfeld zwischen den Klimaschutzzielen, Ressourcenschonung, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit steht. Eine Schlüsseltechnologie der zukünftigen Energieversorgung ist die vermehrte Nutzung von regenerativen bzw. erneuerbaren Energieträgern und die effizientere Nutzung der elektrischen Energie, damit nachhaltige Entwicklungen möglich sind und zukünftige Generationen auch auf verbleibende Ressourcen zugreifen können. Die Wärmepumpentechnologie spielt dabei schon eine wesentliche Rolle für die Energieversorgungsunternehmen.

Die überwiegende Mehrheit der Klimaforscher erkennt die wissenschaftliche Meinung an, dass der verursachte CO₂-Ausstoß für den Klimawandel verantwortlich ist. In der UN-Klimakonferenz von Paris im Jahr 2015 wurde beschlossen, dass die Begrenzung des durchschnittlichen Temperaturanstiegs (die globale Erwärmung) der Erde, auf dem Temperaturniveau vor der industriellen Revolution auf maximal plus 2°C, möglichst 1,5°C zu beschränken ist. Würde dieser Wert überschritten, wären die weitreichenden Folgen des Klimawandels nicht mehr kontrollierbar und vorhersagbar.

Im Rahmen des Kyoto-Protokolls wurden 1997 erstmalig Ziele für die CO₂-Reduktion vereinbart. Leider ist es bisher nicht gelungen, auf internationaler Ebene verbindliche Vereinbarungen zur Reduzierung der Treibhausgase verpflichtend zu beschließen.

Deshalb hat die Europäische Union (EU) ihre energie- und klimapolitischen Ziele als Strategie „Europa 2020“ im Juni 2010 beschlossen. [SCHE 2016]

Die Europäische Union hat sich ein Paket aus verbindlichen Rechtsvorschriften geschnürt damit die Klima- und Energieziele bis zum Jahr 2020 erreichbar sind. Es folgen in einer Aufzählung die drei wichtigsten Ziele der EU [EUST 2007]:

- ✓ 20 % weniger Treibhausgasemissionen gegenüber dem Stand vom Jahr 1990
- ✓ 20 % des gesamten Energiebedarfs der EU sollen aus erneuerbaren Energieträgern gedeckt werden
- ✓ Eine 20 %-ige Verbesserung der Energieeffizienz

Die Europäische Union gab die EU-Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz heraus, die in allen Ländern der EU Mitgliedsstaaten als Gesetztext übernommen wurde. Auch in Österreich wurde diese Richtlinie als Bundes-Energieeffizienzgesetz am 9. Juli 2014 im Nationalrat beschlossen und kann im Bundesgesetzblatt nachgelesen werden. Ziel ist es die Forcierung von Energieeffizienzmaßnahmen um die EU-Ziele zu erreichen, ganz besonders die 20 %ige Steigerung der Energieeffizienz bis zum Jahr 2020. Damit sollen gleichzeitig die Versorgungssicherheit des elektrischen Netzes verbessert, der Anteil der erneuerbaren Energieträger wie z.B. Wind, Photovoltaik und Biomasse erhöht, sowie die CO₂-Emissionen reduziert werden. [BMFWF 2017]

Den größten Gesamtprimärenergieeinsatz (ca. 50 %) in Privathaushalten wird für die Wärmeerzeugung und für die Warmwasseraufbereitung aufgewendet. Immer mehr Eigentümer suchen sich ein umweltfreundliches und kostengünstiges Heizungssystem. Es werden thermische Maßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt um die Wärmeverluste reduzieren zu können. Eine Reihe verschiedener Systeme für die Wärmeerzeugung stehen zur Verfügung und jene Anlagen, die mit erneuerbaren Energieträgern arbeiten, werden immer beliebter. In letzter Zeit erfreut sich die Wärmepumpentechnologie einer starken Marktnachfrage. Die erzeugte Wärmeenergie stammt aus ca. 75 % Umgebungswärme, wie Luft, Erdreich oder Wasser und sie benötigt des Weiteren nur 25 % elektrischer Energie für den Betrieb des Verdichters. [SBP 2003]

Wärmepumpen können einen Beitrag zur Reduzierung des Raumwärmeenergiebedarfs bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch leisten, da zur Erhöhung der Heizenergieeffizienz ein großes Potenzial bezüglich der Energieeinsparung vorhanden ist.

1.2 AUFBAU DER ARBEIT

Im Kapitel 1 wird eine Einleitung über die Masterarbeit gegeben und die Ausgangslage, der Aufbau der Arbeit sowie die Vorteile sowie die Nachteile der Wärmepumpe dargestellt.

Kapitel 2 beschäftigt sich mit den Grundlagen von Wärmepumpen und es wird mit der Darstellung der historischen Entwicklung der Wärmepumpen begonnen. Im nächsten Unterpunkt wird der Aufbau, die Funktion und das Grundprinzip der Wärmepumpe erklärt. Es folgen die verschiedenen Arbeitsprinzipien der Wärmepumpen und danach werden noch die verschiedenen Betriebsweisen der Wärmepumpen herausgearbeitet. Weiters werden die Kältemittel für den Betrieb von Wärmepumpen dargestellt sowie verschiedene Kennzahlen zur Charakterisierung von Wärmepumpensystemen aufgezeigt. Des Weiteren werden die Arten der Wärmequellen und ihre Einsatzgebiete beschrieben. Zum Schluss dieses Kapitel wird noch ein wirtschaftlicher Heizkostenvergleich der verschiedenen Heizungssysteme dargestellt.

Das Kapitel 3 behandelt den aktuellen Stand der Wärmepumpen in Österreich. Hierzu wird zuerst eine Analyse des Raumwärmebedarfs in Österreich dargestellt um die Bedeutung dieses Anwendungsbereiches darzustellen. Als nächste wird der österreichische Wärmepumpenmarkt detailliert untersucht und es werden unterschiedliche Förderinstrumente für Wärmepumpen aufgezeigt.

Kapitel 4 stellt den aktuellen Stand von Wärmepumpen in der Europäischen Union dar. Ausgehend von einer Analyse des Raumwärmebedarfs der EU-28 und im Anschluss der allgemeine Wärmepumpenmarkt der EU untersucht.

Kapitel 5 erfolgt die Regionalisierung der Wärmepumpen auf die NUTS-Regionen. Exemplarisch wird die Regionalisierung der Wärmepumpen auf die NUTS-Regionen in Österreich dargestellt.

Im Kapitel 6 wird eine mögliche Zukunftsperspektive für den Einsatz von Wärmepumpen aufgezeigt. Im ersten Unterpunkt werden die Wärmepumpen im Raumwärmebereich und Warmwasseraufbereitung dargestellt, da diese zukünftig eine umweltschonende Beheizung

und Kühlung von Gebäuden gewährleisten können. Der nächste Unterpunkt behandelt die Wärmepumpen als Steuerungselement im elektrischen Netz. Mittels Wärmepumpen kann ein Ausgleich der Schwankungen im elektrischen Netz, z.B. verursacht durch die fluktuierende Erzeugung erneuerbarer Energieträger, im Sinne eines intelligenten Lastmanagements realisiert werden. Unterpunkt 3 untersucht die Wärmepumpen im thermischen Netz. Hier werden die Wärmepumpeneinsätze im Fernwärme- und Fernkältenetze untersucht. Als nächstes wird auch das Potenzial der Wärmepumpen im industriellen Bereich analysiert. Hier können sie ihren Vorteil des effizienten Energieeinsatzes in der Industrie ausspielen und somit eine Ressourceneinsparung bewirken, sowie die CO₂-Emissionen reduzieren. Ein weiteres Betätigungsfeld für Wärmepumpen ist ihre Verwendung in Elektroautos. Durch den Wegfall des Verbrennungsmotors kann die Abwärme nicht mehr zur Beheizung des Fahrzeugsinnenraums verwendet werden. Es müssen neue Möglichkeiten gefunden werden, die nicht die Batterie und somit die Reichweite des Elektroautos beeinträchtigen. Deshalb kann die Wärmepumpe mit ihrem entscheidenden Vorteil der Energieeffizienz auch zur Beheizung und Kühlung des Fahrgastraumes eingesetzt werden.

Kapitel 7 beinhaltet eine Zusammenfassung aller wichtigen Punkte der geschriebenen Masterarbeit.

1.3 VORTEILE UND NACHTEILE VON WÄRMEPUMPEN

Um die besprochenen Klimaziele von Kyoto und Paris einhalten zu können, ist das Elektrizitätssystem besonderen Herausforderungen unterworfen. Es müssen entsprechende Lösungen für die CO₂-Reduktion zur Eingrenzung der globalen Erwärmung gefunden werden. Ein Lösungsansatz ist die Steigerung der Energieeffizienz und die Verwendung von erneuerbaren Energieträgern. Das Ziel des effizienten Energiemanagements ist es eine wirtschaftliche Verbesserung (Kosteneinsparung) und die geforderten politischen Umweltschutzzvorgaben (Grenzwerte für Emissionen einzuhalten, Schutz der Umwelt) zu erreichen. Ein großes Potential ergibt sich bei der Nutzung von Wärmepumpen und deshalb sind sie ein zukunftsträchtiges Heizungssystem mit ihren speziellen Vor- und Nachteilen. Nachfolgend werden die Vorteile von Wärmepumpen dargestellt. [SBP 2003]

Die erzeugte Wärmeenergie besteht aus nur 25 % elektrischer Energie, die zum Betrieb des Verdichters benötigt wird und die verbleibenden 75 % stammen aus der Umwelt. Sie sind umweltfreundlich, energiesparend und ressourcenschonend. Mit der Arbeitszahl lässt sich die Effizienz der Wärmepumpentechnologie bestimmen. Es wird dabei das Verhältnis zwischen der abgegebenen Wärmeleistung an das Heizsystem und der aufgenommenen elektrischen Hilfsenergie angegeben. Bei Wärmepumpen welche die Energiequelle Luft nutzen liegt die Arbeitszahl im Bereich 2,5 – 4,5, bei erdgekoppelten Wärmepumpen 3,5 - 4,5 und bei Nutzung der Energiequelle Wasser ist die Arbeitszahl mit 3,5 – 5 angegeben. Wie ökologisch die Wärmepumpe arbeitet hängt im wesentlichen nur vom Strommix für die Hilfsenergie des Verdichters ab. In Österreich ist der Anteil aus erneuerbaren Energieträgern für die Stromerzeugung hoch und soll noch weiter zunehmen um umweltfreundlichen Strom zu liefern.

Die Wärmepumpenanlagen sind lokal emissionsfrei, denn sie besitzen ein geschlossenes System und produzieren keinen Schadstoffausstoß im Betrieb und gelten somit als schadstofffreie Heizungsanlagen.

Der Energieverbrauch ist gegenüber fossilen Heizungsanlagen geringer, da sie etwa $\frac{3}{4}$ der Wärmeenergie aus ihrer Umwelt (Luft, Erde oder Wasser) beziehen.

Mit dem Bedarf von nur ein $\frac{1}{4}$ der Heizenergie aus elektrischem Strom, fallen auch nur geringe Betriebskosten für die Heizungsanlage an. Die Umgebungsluft, Erdwärme und Wasser sind kostenlose Umweltenergieträger, welche die Sonnenenergie gespeichert haben und werden von der Wärmepumpentechnologie zu Heizzwecken verwertet.

Die Energiequellen für die Wärmepumpen sind unabhängig, mengenmäßig unbegrenzt vorhanden und krisensicher. Sie unterliegen keinem politischen Risiko wie Öl oder Gas. Deshalb stellen Wärmepumpenheizungen auch eine gewisse Versorgungssicherheit dar und erzeugen keine gefährlichen Abhängigkeiten von Rohstoffen für die Zukunft.

Die Wärmepumpenheizungen benötigen keinen Lagerraum für Brennstoffe, keinen Kamin, arbeiten wartungsfrei und werden vollautomatisch gesteuert. Meistens werden Wärmepumpenheizungen mit einem Niedertemperatur-System wie Fußboden- und/oder Wandheizung gearbeitet, dies sorgt für ein angenehmes Wohnklima im Haus. Somit zeichnet sich die Wärmepumpe mit einem großen Komfortgewinn aus.

Bei Niedrigenergiehäusern und bei Passivhäusern sind Wärmepumpenheizungen die ideale Besetzung, da solche Gebäude für niedrige Heizleistung ausgelegt wurden und sie sind auch die wirtschaftlichste Methode Wärme für das Gebäude zu erzeugen.

Es gibt auch umkehrbare (reversible) Wärmepumpen, welche die Gebäude im Winter nicht nur heizen sondern im Sommer auch kühlen. Sie können ohne Mehraufwand an Investitions- und Betriebskosten als Multifunktionsgeräte zum Einsatz kommen.

Es herrschen auch in Bezug auf Wärmepumpen gewisse Vorurteile in der Bevölkerung, die größtenteils unbegründet sind. Die drei gängigsten sind folgend aufgeführt:

- „Die Wärmepumpe heizt im Winter nicht richtig und es bleibt kalt im Haus.“ Dies trifft nur dann zu, wenn beim Einbau und Dimensionierung der Wärmepumpenheizungsanlage falsche Entscheidungen von unerfahrenen Installateuren getroffen worden sind.
- „Mit der Wärmepumpe bin ich absolut abhängig vom Strom.“ Stimmt, aber die Energiepolitik eines jeden Staates ist bemüht, eine ausreichende und kostengünstige Stromversorgung für jeden Einwohner zu garantieren. Auch jedes andere Heizungssystem benötigt Strom um zu funktionieren.
- „Ein Wärmepumpensystem ist wesentlich teurer als alternative Systeme.“ Nicht nur die Investitionskosten eines Heizungssystems sind für einen wirtschaftlichen Betrieb entscheidend, sondern auch die jährlichen Ausgaben für den Betrieb. In der Anschaffungsphase sind die Investitions- und Installationskosten höher als bei anderen Heizungssystemen. Im Gegenzug sind die Betriebskosten bei einer richtig dimensionierten Wärmepumpenanlage sehr gering. Bereits bei einer Betriebsdauer von 10 Jahren fallen im Vergleich die Gesamtkosten mit anderen Heizungssystemen günstiger aus.

Die Wärmepumpe bietet die Möglichkeit natürliche Wärmequellen aus der Umgebung, wie Luft, Erde oder Wasser zu nutzen. Für die letztendlich erzeugte Wärme in Gebäuden benötigt sie nur 25 % der Heizenergie aus elektrischem Strom. Die Wärmepumpenanlagen können nicht nur zum Heizen von Gebäuden sondern auch zur Kühlung verwendet und als umkehrbare Wärmepumpen am Markt verkauft werden.

Ein weiterer großer Vorteil der Wärmepumpenanlagen ist, die Möglichkeit besteht erneuerbare Energieträgerquellen wie Wind und Photovoltaik in ein intelligentes elektrisches Netz (Smart Grids) zu integrieren. Somit können Lastverschiebungsmaßnahmen im elektrischen Netz mit Hilfe der Wärmepumpenpools realisiert werden.

Der größte Nachteil der Wärmepumpen ist ihre Abhängigkeit von elektrischer Energie. Gerade bei sehr tiefen Temperaturen, benötigen diese auch elektrische Energie für den Betrieb und belasten dadurch zusätzlich das elektrische Energieversorgungsnetz. Diese Jahreshöchstlast im Winter, wird oftmals mit Hilfe der thermischen Kraftwerken abgefangen um das Netz stabil zu halten und verursacht hohe volkswirtschaftliche Kosten. Bei niedrigen Außentemperaturen sinkt der Wirkungsgrad der Wärmepumpen, deshalb müssen Gebäude die Wärmepumpen als Heizungssystem nachrüsten wollen Maßnahmen in der Energieeffizienz wie z.B. Gebäudedämmung, Installation einer Niedertemperaturheizung mit Flächenspeichern wie Fußboden- und Wandheizungen vornehmen. Es ist unerlässlich eine entsprechend fachgerechte Auslegung und Einrichtung der Wärmepumpenanlagen für jedes Gebäude explizit zu machen. Ein weiterer Nachteil sind die vergleichsweise hohen Investmentkosten bei der Installation der Wärmepumpenanlagen. Ein Nachteil bei Wärmepumpen, mit der Energiequelle Wasser ist, dass sie dem Wasserrecht unterliegen und deshalb genehmigungspflichtig sind. Genauso müssen vertikale Erdsonden-Wärmepumpen eine Genehmigung für die Bohrung erhalten um sie dann installieren zu können. Bei Erdflächenkollektoren-Wärmepumpen muss der benötigte Flächenbedarf vor Ort beachtet werden und diese Flächen dürfen auch nicht mit Bäumen bepflanzt sowie verbaut werden. Bei Erdwärmepumpen sollte auch die Beschaffenheit des örtlichen Bodens berücksichtigt werden. Bei den Außenheiten von Luftwärmepumpen, die im Freien aufgestellt sind, kann die Gefahr der Vereisung bei sehr feuchten Luftverhältnissen auftreten. Damit die Luftwärmepumpe trotzdem ordnungsgemäß funktioniert ist eine automatische Abtaufunktion integriert, wobei in dieser Zeit die Wärmepumpe keine Heizleistung erbringen und erst danach wieder den Wärmeentzug fortsetzen kann. Bei außen aufgestellten Luftwärmepumpen können die Ventilatoren Lärmemissionen verursachen, diese können mit Konstruktionsänderungen des Ventilators und einem geeigneten Aufstellort vermindert werden. Wärmepumpenanlagen die klimaschädliches Kältemittel verwenden, sind ebenfalls problematisch. Deshalb sollten Wärmepumpen die mit natürlichen Kältemitteln arbeiten bevorzugt werden.

2 GRUNDLAGEN VON WÄRMEPUMPEN

2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER WÄRMEPUMPE

1824 legte der französische Ingenieur Sadi Nicolas Léonard Carnot den Grundstein für die Thermodynamik/Wärmelehre. In seinem 43 seitigen Buch, „Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance“, was auf Deutsch „die Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen“ bedeutet, veröffentlichte er seine Theorien. Er untersuchte die Zusammenhänge der Dampfmaschinen und erkannte, dass alle Prozessabläufe bei der Umwandlung von Wärme in Kraft im Prinzip auch reversibel, also umkehrbar sind. Des Weiteren hat er festgestellt, dass der Wirkungsgrad der Dampfmaschine vom Temperaturniveau des Prozesses und von der nutzbaren Temperaturdifferenz abhängt. Sein Grundsatz besagt, dass der natürliche Wärmefluss von warm nach kalt durch die Zufuhr von einer höherwertigen Energie, wie z.B. Kraft aus mechanischem Verdichter umkehrbar sein muss. Dies wird heute als der linksläufige Carnot-Prozess bezeichnet und bildet die Grundlage für die Wärmepumpe und die Kältemaschine. Damit war Carnot der Wegbereiter für den ersten und zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, die vom deutschen Arzt Julius Robert Mayer 1842 erstellt wurden. Der deutsche Physiker Rudolf Clausius verknüpfte im Jahr 1850 die beiden Grundgedanken von Carnot und Mayer zu den Hauptsätzen der Thermodynamik.

Der US-amerikanische Maschinenbauer und Erfinder, Jacob Perkins baute 1834 die erste mechanische Kompressionskältemaschine, die nach dem umgekehrten Carnot'schen Prozess arbeitete. Seine Maschine bestand aus den Basisbauteilen, welche noch heute zum Einsatz kommen, wie Verdichter, Entspannungsventil, einem wärmeabgebenden (Verflüssiger) und wärmeaufnehmenden (Verdampfer) Bauteil. Als Kältemittel verwendete er Diethylether und erreichte Temperaturen unter dem Gefrierpunkt von Wasser. Leider neigt Ether in Verbindung mit Luft zur Explosion, dies erschwerte den Einsatz des Kühlgeräts auf Schiffen. Der Schotte, John Gorrie entwickelte 1851 die Perkins-Maschine weiter und ersetzte das hochexplosive Kühlmittel Ether durch Ammoniak und ließ seine Eismaschine patentieren.

Erst der englische Physiker William Thomson, 1. Baron Kelvin beschrieb 1852 das Arbeitsprinzip der Wärmepumpe auf Basis der Carnotschen Wärmetheorie (Thermodynamik) und führte eine absolute Temperaturskala ein, die später nach ihm benannt wurde. Er bewies, dass man Kältemaschinen auch zum Heizen benutzen kann, heute bekannt unter der Bezeichnung Wärmepumpe. Weiters belegte er, dass Wärmepumpen durch die Nutzung von Wärmeenergiequellen aus der Umgebung, wie Luft, Wasser oder Erde sehr viel weniger Primärenergie aufwenden müssen, als würde der Brennstoff Holz oder Kohle fürs Heizen der Gebäude verwendet werden. [REB 2002]

Die Saline Ebensee in Oberösterreich realisierte 1857 unter der Leitung vom Österreicher Peter Ritter von Rittinger, den Bau der ersten industriellen Wärmepumpe. Diese Anlage fand Verwendung als Soleverdampfer für die Salzproduktion. Sein Verfahren versprach eine 80 % ige Energieersparnis gegenüber dem bisher verwendeten Eindampfprozess. Der Grund für dieses Projekt war, dass nicht mehr genügend Holz vorhanden war, weil die Wäl-

der in der Umgebung der Saline bereits gerodet waren. Auch war die Eisenbahnverbindung, die genügend Kohle heranschaffen hätte können, noch nicht fertig gebaut war. Die benötigte Energie für die Brüdenverdichtungsanlage wurde mit Hilfe eines Wasserrades produziert. Die Anlage nutzte den entstehenden Wasserdampf aus der Sole indem es diesen mit einem Verdichter auf eine höhere Temperatur brachte und dann zur Vorwärmung der Sole benutzte. Zu dieser Zeit stand der Aspekt des Umweltschutzes und der Ressourcenschonung noch nicht im Vordergrund. Diese Anlage war nur kurz in Betrieb, da sie konstruktionsbedingt Probleme beim Verdichter (aggressive Salzsole verursacht Korrosion) hatte. Ein weiterer Grund war die Fertigstellung der Eisenbahnlinie. Mit dieser Anlage gelang es ihm die mathematischen Analysen von Carnot zu beweisen und die erste funktionierende industrielle Wärmepumpenanlage in Betrieb zu nehmen. [SBP 2003]

Im Jahr 1938 wurde die erste großtechnische Wärmepumpenanlage in Zürich zur Beheizung des Rathauses in Betrieb genommen. Die Wärmeenergie wurde vom Wasser aus dem Fluss Limmat entnommen. Aufgrund der Versorgungsknappheit mit Brennstoffen nach dem ersten Weltkrieg wurde in der Schweiz der Einsatz von Wärmepumpen notwendig. [REB 2002]

Nach dem zweiten Weltkrieg, also in den 50er Jahren gab es in den USA einen großen Boom an Wärmepumpenanlagen. Die größte Beliebtheit erreichte dort die umschaltbare Wärmepumpe, die nicht nur im Winter heizen, sondern auch im Sommer kühlen kann. [REB 2002]

Durch die erste Ölkrise erlebten die elektrisch betriebenen Wärmepumpenanlagen in Europa in den 1970er Jahren ihren ersten großen Aufschwung. [REB 2002]

Die Entwicklung und der Betrieb von Wärmepumpen für die Wärmeversorgung (Raumheizung und Warmwasseraufbereitung) wird in Zukunft immer mehr an Bedeutung zulegen. Ein Grund dafür liegt im Vorteil von der Energieeffizienz und der Umweltfreundlichkeit.

2.2 AUFBAU, FUNKTION UND GRUNDPRINZIP DER WÄRMEPUMPE

Die Wärmepumpe entzieht den Energiequellen Erde, Wasser oder Luft die gespeicherte Sonnenenergie in Form von Wärme und gibt diese Wärmeenergie an die Heizung oder an den Warmwasseraufbereiter ab. Somit können nicht genutzte und frei zur Verfügung stehende Umweltenergieressourcen verwendet werden. Eine effizient betriebene Wärmepumpe benötigt im Vergleich zu anderen Energieträger wie z.B. Öl- oder Kohlebrenner nur einen Bruchteil der Primärenergie, für die Beheizung von Gebäuden. [SCHE 2016]

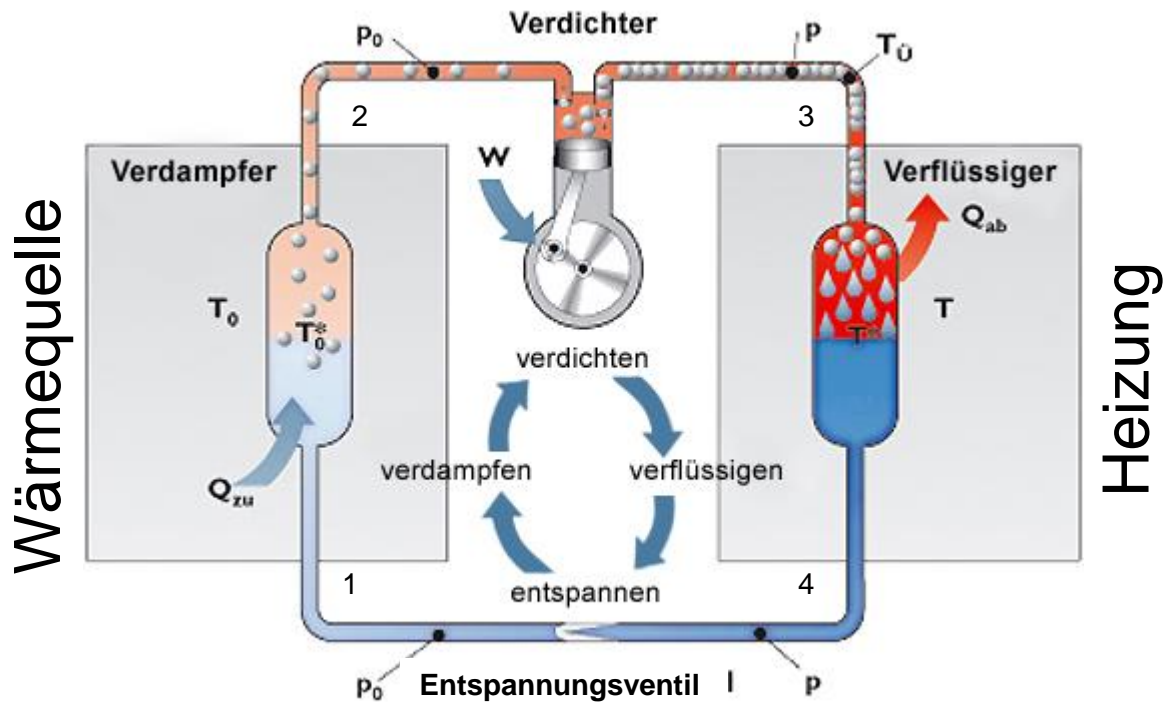


Abbildung 1: Funktionsprinzip einer Wärmepumpe [SCHE 2016]

In der obigen Abbildung 1 wird das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe dargestellt. Die Wärmepumpentechnologie greift auf einen geschlossenen thermodynamischen Kreisprozess zurück. Ein so genanntes Arbeitsmittel ist für den Transport der Heizungsenergie zuständig. Der Kreislauf beginnt bei der zugeführten Wärmequelle (Q_{zu}), wo das Kältemittel verdampft, danach folgt der Verdichter, wo es komprimiert wird. Infolge dieser Arbeitsenergie steigt der Druck und die Temperatur an. Anschließend gelangt das Arbeitsmittel zum Verflüssiger, wo dieses die Wärme (Q_{ab}) an das Heizungssystem abgibt und sich verflüssigt. Der Abbau des Druckes findet mit Hilfe des Expansionsventils statt und das Kältemittel kühlt infolge der Volumenvergrößerung wieder entsprechend ab. Somit ist das Kreislaufsystem geschlossen und kann erneut von vorne beginnen. [SCHE 2016]

Die Temperaturdifferenz von der Wärmequelle zur Heizung ist ein ausschlaggebender Faktor für die Effizienz der Wärmepumpe. Die Temperaturdifferenzspanne muss mit Hilfe eines Verdichters in Form von elektrischer Arbeit/Energie ausgeglichen werden. Der Einsatz von Wärmepumpen eignet sich hervorragend vor allem bei Heizungssystemen mit niedriger Vorlauftemperatur wie in Fußboden- und Wandheizungen, die in Neubau und thermisch gut sanierten Altbauten eingesetzt werden. Die Hauptkomponenten einer Wärmepumpe sind der Verdampfer, der Verdichter, der Verflüssiger und das Entspannungsventil. Dieser thermodynamische Kreisprozess ist ein in sich abgeschlossenes System. Wärmepumpen greifen auf die folgenden Umgebungsenergiequellen zu [SCHE 2016]:

- Luft
- Erde
- Wasser

In Tabelle 1 wird der Prozess mit den einzelnen Stufen und den Aggregatzuständen des Wärmeträgermediums aus der Abbildung 1 ausführlich beschrieben.

Tabelle 1: Ausführliche Beschreibung eines Wärmepumpenprozesses [TISC 2007]

Prozessstufe	Aggregat	Beschreibung
1 → 2	Verdampfer	Die Wärmeenergie Q_{zu} wird der Umgebung, wie z.B. der Luft, entzogen. Das flüssige Kältemittel wird bei niedrigem Druck durch die Umgebungswärme erwärmt, bis das Wärmeträgermedium verdampft und in den gasförmigen Aggregatzustand übergeht. Wärmezufuhr
2 → 3	Verdichter	Das gasförmige Wärmeträgermedium wird vom Verdichter angesaugt. Der Verdichter komprimiert das Kältemittel mit Hilfe der mechanischen Arbeit auf ein höheres Druckniveau. Dadurch steigt die Temperatur des gasförmigen Wärmeträgermediums erneut an. Arbeitsenergiezufuhr
3 → 4	Verflüssiger	Nach der Komprimierung kommt das gasförmige Kältemittel auf der Hochdruckseite des Wärmetauschers an. Im Verflüssiger kondensiert das gasförmige Wärmeträgermedium und gibt die freiwerdende Wärmeenergie Q_{ab} an das Heizungssystem ab und verflüssigt sich wieder. Wärmeabgabe
4 → 1	Entspannungsventil	Im Expansionsventil wird das flüssige Kältemittel entspannt und erreicht das niedrige Druckniveau des Verdampfers. Dabei vergrößert sich das Volumen des Kältemittels und gleichzeitig verringert sich auch die Temperatur des Wärmeträgermediums. Dies geschieht solange bis die Temperatur des Verdampfers erreicht wird und der Prozess somit von vorne beginnen kann. Arbeitsenergieabgabe

Beim linksläufigen Kreisprozess wird also Arbeit hinzugeführt um die Wärme des Kältemittels von einem niedrigeren auf ein höheres, nutzbares Temperaturniveau zu heben (Wärmepumpenprozess). Diese Arbeitsenergie kann in Form von elektrischer Energie zugeführt werden. [TISC 2007]

In der Thermodynamik werden T-s-Diagramme für die Darstellung von Wärmeträgern angewendet. Hierzu werden die Temperatur und die Entropiewerte dargestellt. Die Wärme wird im T-s-Diagramm als Fläche unter der Zustandskurve als Betrag herausgelesen. In der Abbildung 2 wird die Zunahme von Wärme mit Hilfe einer zugeführten Arbeit beim linksläufigen Prozess dargestellt. [TISC 2007]

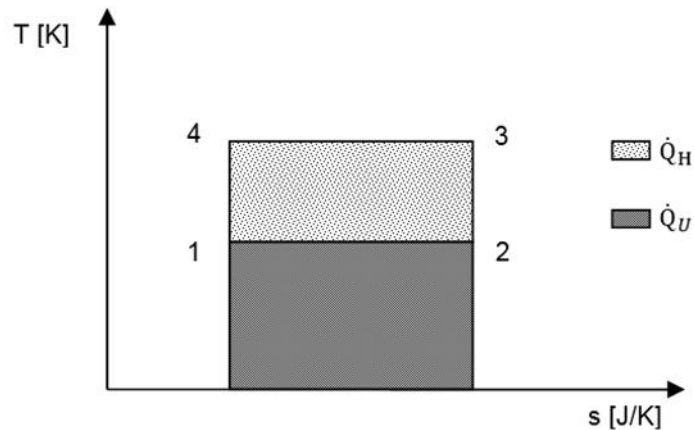


Abbildung 2: Darstellung des linksläufigen Kreisprozesses im T-s Diagramm [TISC 2007]

Die aufgenommene Wärme \dot{Q}_U wird in der Abbildung 2 als Fläche unter der Zustandskurve von $1 \rightarrow 2$ dargestellt. Durch die Zuführung von Arbeit, die ein Verdichter in der Prozessstufe $2 \rightarrow 3$ verrichtet, nimmt die Energiemenge zu. Die neue Heizwärmemenge \dot{Q}_H wird in der Zustandskurve $3 \rightarrow 4$ dargestellt. [TISC 2007]

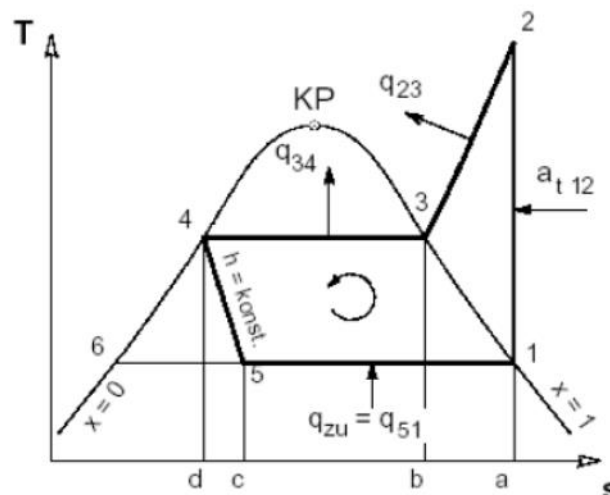


Abbildung 3: T-s-Diagramm eines idealen Wärmepumpenprozesses [SBP 2003]

Abbildung 3 zeigt einen idealisierten Wärmepumpenkreislauf im T-s-Diagramm. Auf der vertikalen Achse ist die Temperatur T und auf der horizontalen Achse wird die Entropie s aufge-

tragen. Der Kreisprozess wird gegen den Uhrzeigersinn durchlaufen, deshalb wird er bei Wärmepumpen als linksläufiger Prozess bezeichnet, weil Arbeit in den Prozess zugeführt wird. Vom Punkt 1 nach 2 wird dem dampfförmigen Arbeitsmittel die mechanische Arbeit a_{12} hinzugefügt. Der Verdichter erhöht durch die Komprimierung des Dampfes die Temperatur. Vom Punkt 2 nach 3 wird der verdichtete Dampf bei konstantem Druck bis zum Taupunkt im Kondensator abgekühlt und gibt Wärmeenergie q_{23} ab. Vom Punkt 3 nach 4 wird das Arbeitsmittel bei konstanter Temperatur weiter verflüssigt und gibt die Kondensationswärme q_{34} an das Heizungssystem ab. Vom Punkt 4 nach 5 kommt das flüssige Arbeitsmittel in die Drossel und wird dort ohne Energiezufuhr entspannt. Es sinkt die Temperatur und das Volumen des Kältemittels wird gleichzeitig erhöht. Vom Punkt 5 nach 1 wird das Arbeitsmittel im Verdampfer durch die Zuführung von Umgebungswärme q_{zu} (Luft, Erde oder Wasser) zum Verdampfen gebracht und liegt im Punkt 1 dampfförmig vor. Somit kann der Prozess wieder von vorne beginnen. [SBP 2003]

2.3 ARBEITSPRINZIPIEN

Unter den Wärmepumpen werden unterschiedliche Arbeitsprinzipien und Funktionsweisen unterschieden, diese sind die Kompressionswärmepumpen und die Sorptionswärmepumpen.

2.3.1 Kompressionswärmepumpen

Das wichtigste Bauteil dieser Wärmepumpenart ist der Kompressor, in der Praxis auch oft als Verdichter bezeichnet. Er bringt das Wärmeträgermedium auf ein sehr hohes Temperaturniveau durch die Verdichtung. Es gibt verschiedene Bauformen:

- Scrollverdichter
- Hubkolbenverdichter
- Rollkolbenverdichter

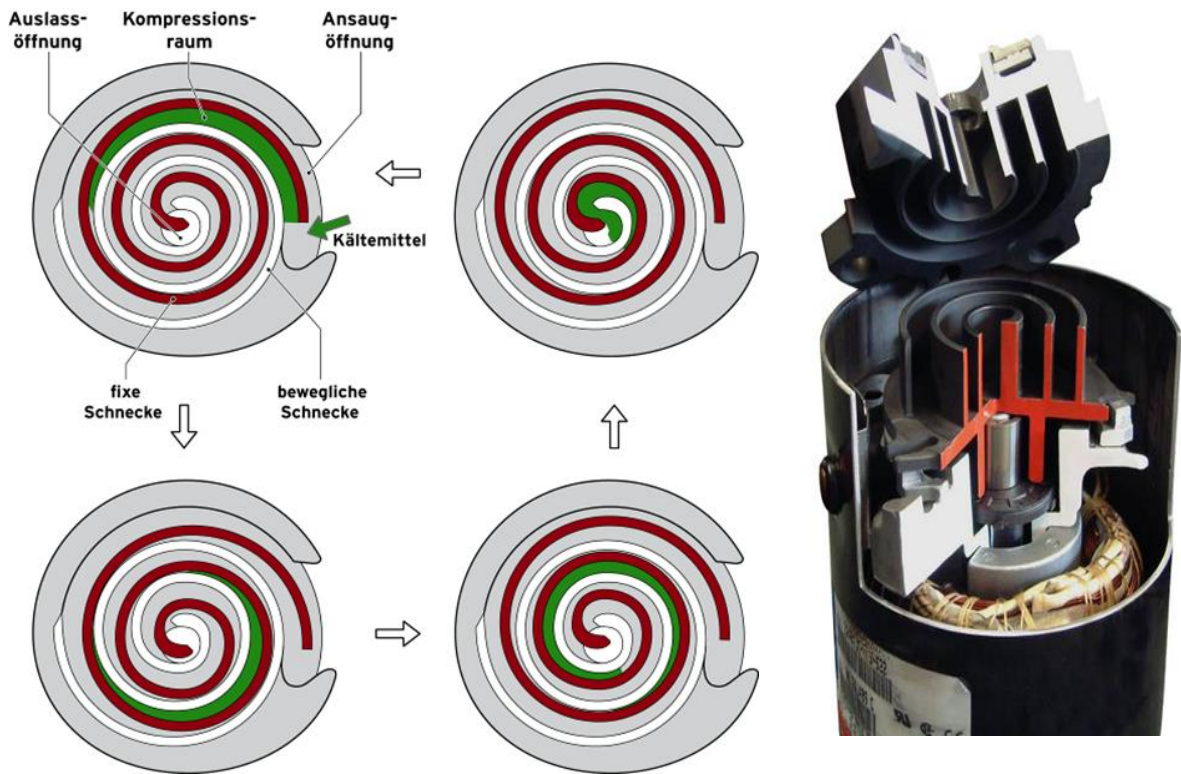


Abbildung 4: Darstellung eines Scrollverdichters [SBZ 2015]

Der Scrollverdichter verwendet das Prinzip der Verdrängung und besteht aus zwei ineinander gesteckten/verschachtelten Spiralen, wie oben in der Abbildung 4 zu sehen ist. Es folgt eine kurze Erklärung der Funktion des Scrollverdichters. Eine der beiden Spiraleschnecken ist fix während sich die andere auf einer exzentrisch kreisförmigen Bahn bewegt. Durch die Bewegung der Schnecke wird das Kältemittel in die Ansaugöffnung befördert. Mit fortschreitender Bewegung verringert sich der Kompressionsraum kontinuierlich und das Kältemittel wird verdichtet. In der Mitte der Schnecke befindet sich die Auslassöffnung, wo das komprimierte Kältemittel über die Druckkammer in die Druckleitung ausgestoßen wird. Der Scrollverdichter besitzt sehr wenige Bauteile und erreicht dadurch eine sehr hohe Leistungszahl bei sehr hohen Heizkreistemperaturen und/oder bei Wärmequellen die eine sehr niedrige Temperatur aufweisen. Beim Scrollkompressor ergeben sich konstruktionsbedingt sehr geringe Strömungsverluste, da er keine Arbeitsventile braucht. Es bleibt ein gleichbleibender Druck durch den kontinuierlichen Verdichtungsprozess vorhanden. Die größten Vorteile dieses Kompressors sind die hohe Laufruhe, die geringe Lautstärke (Lärmentwicklung) im Arbeitsprozess und dass diese ohne Öl arbeiten. [SBZ 2015]

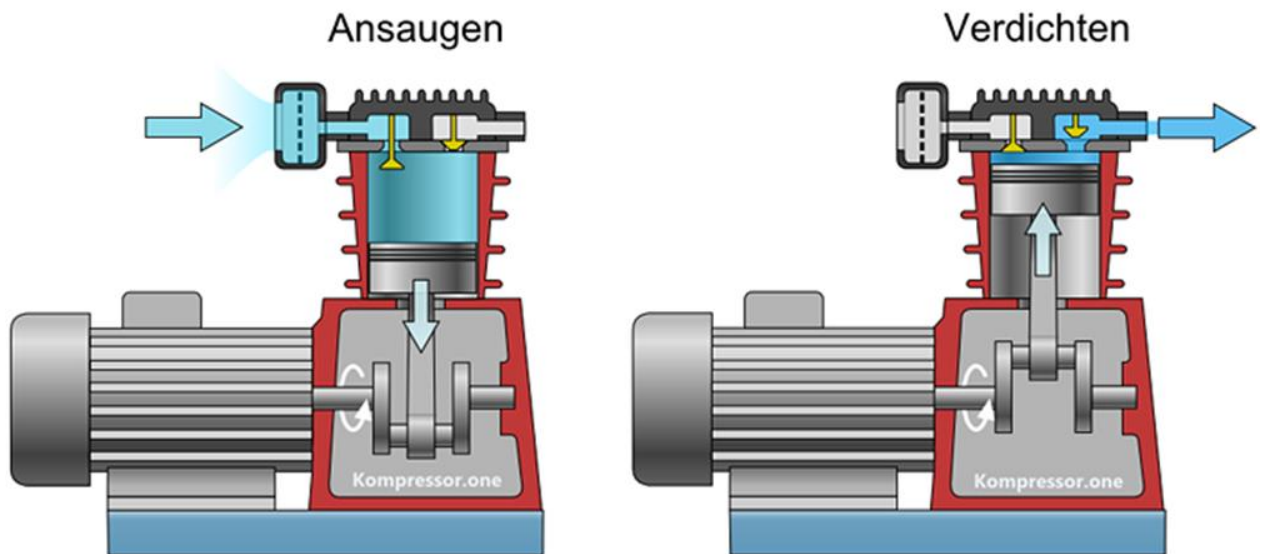


Abbildung 5: Darstellung eines Hubkolbenverdichters [Kp 2016]

Wie in der Abbildung 5 zu sehen, wechseln sich die Arbeitstakte zwischen Ansaugen und Verdichten beim Hubkolbenkompressor periodisch ab. Im Inneren eines Zylinders befindet sich der sogenannte Kolben, der sich auf und ab bewegen kann. Zwischen dem Kolben und der Zylinderwand befindet sich eine Dichtung um eine Kompression des Hubkolbenkompressors gewährleisten zu können. Der Kolben bewegt sich im Zylinder nach unten und saugt somit die Luft über die Ansaugöffnung und das Einlassventil an. Fährt der Kolben nach oben verschließt sich das Einlassventil wieder und die darin befindliche Luft wird verdichtet. Durch die Verringerung des Luftvolumens steigt der Gasdruck an und dadurch erwärmt sich die darin befindliche Luft. Diese erwärmte Luft wird über das Auslassventil am obersten Punkt des Kolbenhubs hinausgestoßen. [Kp 2016]

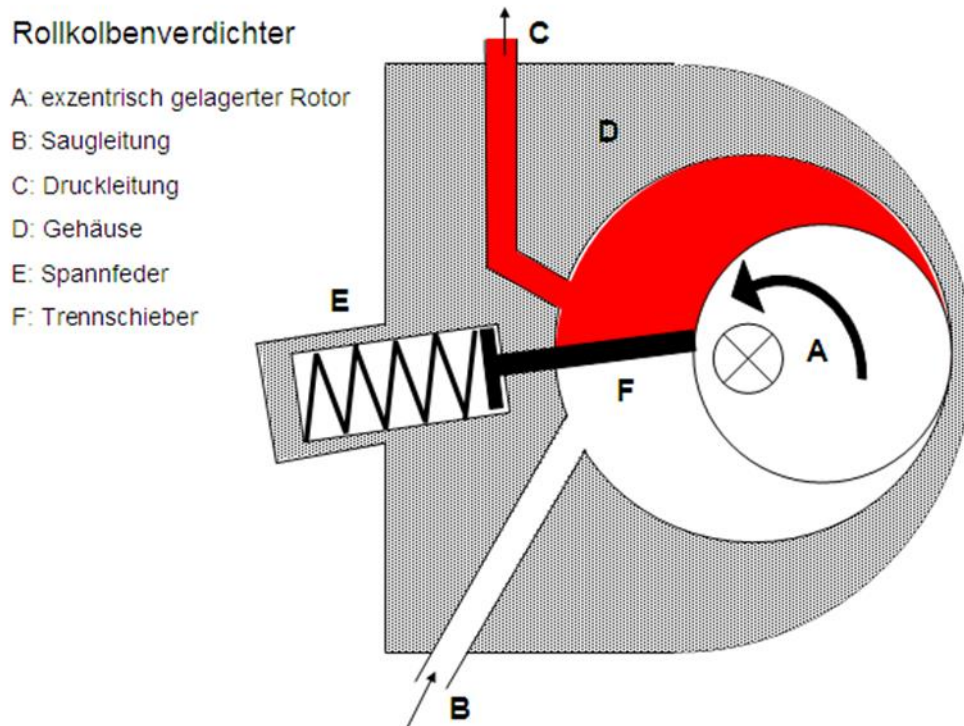


Abbildung 6: Darstellung eines Rollkolbenverdichters [WIKI 2016]

Der Rollkolbenverdichter besteht aus einem Gehäuse, indem sich ein exzentrisch gelagerter Rotor und ein sogenannter Trennschieber mit einer Feder befindet (siehe Abbildung 6). Der Trennschieber wird mit Hilfe der Schraubenfeder gegen den rotierenden Rollkolben gedrückt und trennt die Saugkammer von der Druckkammer. Durch die konstante exzentrische Bewegung des Rollkörpers wird die Luft unten von einer Saugleitung angesaugt und anschließend verdichtet. Durch die Komprimierung erwärmt sich die Luft und wird anschließend mit dem Rollkolben, oberhalb des Gehäuses über die sogenannte Druckleitung abgeleitet. [WIKI 2016]

Als Antriebe für die Wärmepumpenkompressoren werden meistens Elektromotoren verwendet. Bei Wärmepumpenanlagen die eine größere Heizleistung ab 100 kW haben, werden auch Gas- oder Dieselmotoren als Antriebsaggregate eingesetzt. Hier können zusätzlich zur Umgebungswärme die Abgase und Abwärme der Motoren als zusätzliche Heizenergie genutzt werden. [TISC 2007]

2.3.2 Sorptionswärmepumpen

Die Sorptionswärmepumpen arbeiten auf einem reversiblen physikalisch-chemischen Prozess. Hier werden durch Wärmezufuhr zwei Stoffe, die zunächst als Gemisch vorliegen voneinander getrennt. Mit dem anschließenden Absorptionsprozess werden diese beiden Stoffe wieder miteinander vereint, wobei Wärme freigesetzt wird. Diesen Vorgang wird in der Technik als ein reversibler Prozess genannt, das heißt dieser Prozess kann demnach in beide Richtungen ablaufen. Vorteil gegenüber der Kompressionswärmepumpe ist, dass kein Verdichter benötigt wird. [TISC 2007]

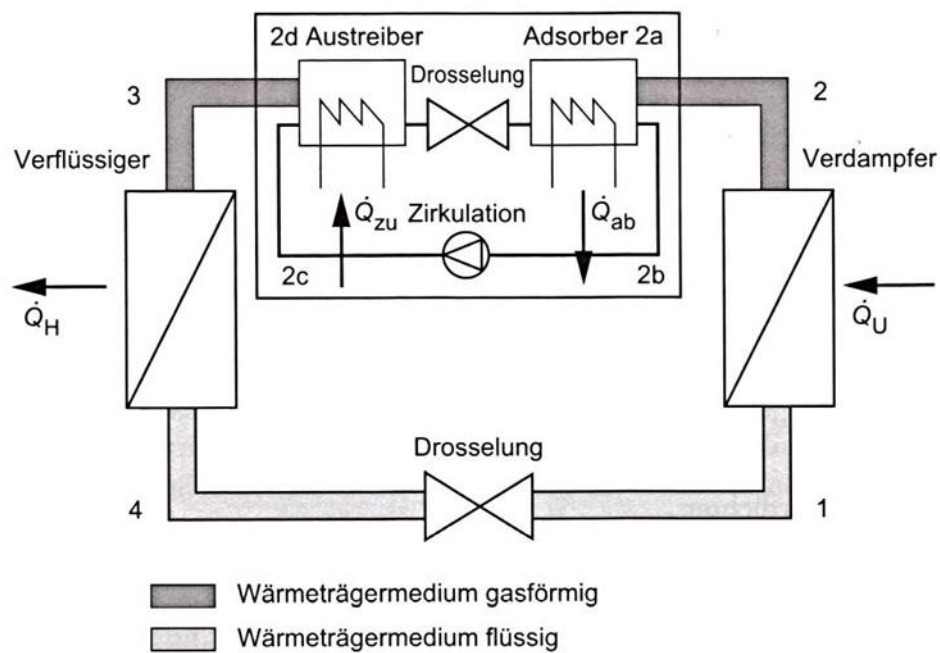


Abbildung 7: Schematische Darstellung eines Sorptionswärmepumpenprozesses [TISC 2007]

Die Prozessstufe von 2 → 3, der Verdichterprozess läuft hier anders ab als bei der Kompressionswärmepumpe. In der Tabelle 2 ist die veränderte Prozessstufe in mehreren Teilstufen genau beschrieben. Diese neue Prozessstufe wird auch als thermische Verdichtung und das Bauteil als Thermoverdichter bezeichnet. Auch hier wird letztendlich ein höheres Temperatur- und Druckniveau erreicht. [TISC 2007]

Tabelle 2: Ausführliche Beschreibung der Prozessstufen in einem Thermoverdichter [TISC 2007]

Prozessstufe	Aggregat	Beschreibung
2a → 2b	Absorber	Der Absorber saugt sich das dampfförmige Kältemittel an. Im Absorber wird dieses dann von einem Lösungsmittel (z.B. Wasser gelöst) absorbiert. Es wird Wärmeenergie freigesetzt \dot{Q}_{ab} und über einen Wärmetauscher an das Heizungssystem geliefert. Wärmeabgabe
2b → 2c	Lösungsmittelpumpe	Das Stoffgemisch mit einem niedrigen Arbeitsenergieeinsatz wird von der Lösungsmittelpumpe zum Austreiber transportiert. Arbeitsenergiezufuhr
2c → 2d	Austreiber	Durch die Zufuhr von Wärmeenergie \dot{Q}_{zu} ist es möglich einen der beiden Stoffe, aus dem Stoffgemisch wie z.B. das Ammoniak verdampfen zu lassen. Dies ist möglich, da die beiden verwendeten Kältemittel unterschiedliche Siedetemperaturen besitzen. Somit wird dem Verflüssiger z.B. das Ammoniakgas hingeleitet und die Prozessstufe 3 → 4 aus der Tabelle 1 ist realisierbar. Wärmeaufnahme
2d → 2a	Drosselung	Im Drosselventil entspannt sich das Lösungsmittel und eine Volumenänderung findet statt. Arbeitsenergieabgabe

Als Nachteil wird die Anzahl der notwendigen Bauteile und Baugruppen bei der Sorptionswärmepumpe gegenüber der Kompressionswärmepumpe gesehen. Dies erklärt auch, dass die Beschaffungskosten hier höher angesetzt sind. [TISC 2007]

2.4 BETRIEBSWEISE

Die folgenden Kriterien sind für die Betriebsweise und Auslegung von Wärmepumpenanlagen von Bedeutung [SCHE 2016]:

- Bedarf an Heiz- und Warmwasseraufbereitungsenergie
- Betriebstemperatur des Heizungssystems
- Wahl der Wärmeenergiequelle bezüglich Temperatur und Verfügbarkeit
- Kosten für die Installation, Investition und Betrieb der Anlage

Es folgen die fünf Betriebsweisen die zur Verfügung stehen, um die unterschiedlichen Anforderungen und Anwendungen von Wärmepumpen abzudecken. [TISC 2007]

2.4.1 Monovalente Betriebsweise

Wie der Name schon sagt, übernimmt bei dieser Betriebsweise die Wärmepumpe die komplette Versorgung des Gebäudes und ersetzt den Heizkessel und somit entfallen zusätzliche Investitionskosten. Arbeitet die Wärmepumpe in monovalenter Betriebsweise wird der gesamte jährliche Wärmebedarf von ihr erledigt ohne jegliche andere Heizquellen. Auch bei sehr tiefen Außentemperaturen muss die Wärmepumpenanlage ausreichend und immer genügend Wärme bereitstellen können. Für die monovalente Betriebsweise ist klar, dass das Gebäude in Bezug auf seinen Wärmebedarf optimal an die Wärmepumpenanlage angepasst sein muss. Deshalb ist es vorrangig bei Neubauten und für Niedrigenergiegebäude vorzusehen. [TISC 2007] [WPA 2016]

2.4.2 Monoenergetische Betriebsweise

Bei der monoenergetischen Betriebsweise wird bei sehr kalten Außentemperaturen der Wärmepumpenanlage, das heißt im Bedarfsfall automatisch eine elektrische Zusatzheizung wie z.B. ein Heizstab eingeschaltet und unterstützt somit die Wärmepumpe. Der Vorteil liegt bei der Entzugsleistung und deshalb kann die Anlage kleiner dimensioniert werden. Beide Systeme müssen dieselbe Energieform verwenden, d.h. also elektrischen Strom, dann wird von einem monoenergetischen Betrieb gesprochen. Im Verhalten entspricht diese Art der bivalenten Betriebsweise. Es wird davon ausgegangen, dass nicht mehr als 5 % des jährlichen Heizwärmebedarfs von der Hilfsheizung erzeugt werden dürfen, die restliche Wärmeenergiemenge muss die Wärmepumpe selbst bewerkstelligen können. [TISC 2007] [WPA 2016]

2.4.3 Bivalente Betriebsweise

Im Unterschied zur monoenergetischen Betriebsweise werden bei der bivalenten Betriebsweise zwei unterschiedliche Wärmeenergieerzeugungsformen verwendet. Neben der Wärmepumpe gibt es noch einen zweiten Wärmeerzeuger (Öl-, Gaskessel oder Biomasse z.B. Kachelofen), der bei tiefen Temperaturen die Beheizung des Gebäudes unterstützt. Wann es zur Zuschaltung vom zweiten Wärmeerzeugers kommt, hängt im wesentlichen vom Bedarf einer hohen Vorlauftemperatur oder aber der Wärmestrom aus der Wärmequelle kann die geforderte Höchsttemperatur nicht erreichen. Der sogenannte Bivalenzpunkt, ist jener Punkt der bei der Dimensionierung der Heizungsanlage von der verwendeten Wärmequelle und/oder des benötigten Wärmebedarfs des Gebäudes abhängt. Es können zwei verschiedene Betriebsweisen abgeleitet werden. [TISC 2007] [WPA 2016]

2.4.3.1 Bivalent-parallele Betriebsweise

Bei dieser Betriebsweise arbeiten beide Wärmeerzeuger gemeinsam und können jede beliebige Vorlauftemperatur erreichen. Die Wärmepumpe und ein zweiter Wärmeerzeuger sind ab einer definierten Außentemperatur (z.B. + 3 °C) gemeinsam in Aktion. Dieser Zustand wird bivalent-parallele Betriebsweise genannt. Diese Art wird nur dann gewählt, wenn eine höhere Heizenergie bzw. Vorlauftemperatur erforderlich ist. Dies kommt meist bei Altbauten und oder Sanierungsprojekten mit Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen vor und hier können die alten vorhandenen Kesselanlagen als zweiten Wärmeerzeuger weiter verwendet werden. Bei dieser Betriebsweise ist der Jahresdeckungsanteil sehr gering und findet deshalb heute kaum noch Anwendung. [TISC 2007] [WPA 2016]

2.4.3.2 Bivalent-teilparallele (alternative) Betriebsweise

Bei der bivalent-alternative Betriebsweise wird die Wärmepumpe bei nicht Erreichen der Beheizungsparameter (hohe Vorlauf- und Rücklauftemperaturen) abgeschaltet und der zweite Wärmeerzeuger (Öl-, Gaskessel oder Biomasseanlage wie z.B. Scheitholz, Pellets) übernimmt alleine die vollständige Wärmeversorgung des Gebäudes. Von den zwei Wärmeerzeugern arbeitet immer nur ein System, das heißt entweder die Wärmepumpe oder bei sehr tiefen Außentemperaturen der zweite Heizenergielieferant. Diese Anwendung ist vorrangig bei Altbauten und Sanierungsprojekten vorgesehen, weil auch hier die vorhandene Kesselanlage genutzt werden kann. Diese Methode hat einen vergleichsweise zu den anderen Betriebsweisen einen niedrigen Jahresdeckungsgrad und deshalb wird diese Strategie gegenwärtig nicht mehr gewählt. [TISC 2007] [WPA 2016]

2.5 KÄLTEMITTEL

Kältemittel werden als Arbeitsmedium bei Wärmepumpenanlagen benötigt. Sie erfüllen die Funktion des Wärmetransports im Anlagensystem. Wegen ihrer thermodynamischen Eigenschaften sollen sie schon bei einer sehr niedrigen Temperatur verdampfen und durch die Verdichtung auf ein höheres nutzbares Temperaturniveau heben. Folgende Eigenschaften müssen gegeben sein [SBP 2003]:

- niedrigen Siedepunkt
- kleines Dampfvolumen
- hohe volumenbezogene Kälteleistung
- niedrige Druckverluste bei der Strömung
- verträglich mit Schmierstoffen, Öl und Elastomeren
- chemisch und thermisch stabil
- einfache Handhabung
- kostengünstig
- einsetzbar in einem breiten Druck- und Temperaturbereich
- gute Mischbarkeit bzw. Löslichkeit mit Schmierstoffen

Nicht zu vernachlässigen sind bestimmte Sicherheits- und Umweltschutzaspekte, wie [SBP 2003]:

- ungiftig,
- nicht explosiv,
- nicht brennbar,
- keine Auswirkung auf die Ozonschicht und keine Verursachung des Treibhauseffekts.

Leider gibt es kein Kältemittel die alle diese Kriterien erfüllen kann, deshalb müssen Kompromisse eingegangen werden.

Die Kältemittel werden in vier Gruppen unterteilt [SBP 2003]:

- FCKW
- H-FCKW
- H-FKW
- natürliche Kältemittel

Viele Jahre wurden Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) verwendet, die nicht brennbar, nicht giftig und reaktionsfrei gegenüber anderen Werkstoffen sind. Später wurde bekannt, dass sie sehr umweltschädlich sind und zudem sie die Ozonschicht der Erde zerstören. Deshalb werden sie nicht mehr eingesetzt und sind in Österreich seit 1995 auch gesetzlich verboten. [SBP 2003]

Aufgrund des gesetzlichen FCKW Verbots wurden teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (HFCKW) entwickelt. Leider sind HFCKW genauso ozonschicht- und klimaschädlich FCKWs, jedoch in geringerem Maße. Seit Jänner 2002 sind auch sie bei Kälteanlagen in Österreich verboten und sind nicht mehr zum Verkehr zugelassen. [SBP 2003]

Als Ersatz für HFCKW wurden die teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW) von der chemischen Industrie angewendet. Diese Substanzen schädigen die Ozonschicht nicht, jedoch tragen diese zum Treibhauseffekt bei und werden seit dem Kyoto-Protokoll auch als umweltschädlich definiert. Eine seit 2002 erlassene österreichische Verordnung sieht auch hier ein Verbot der H-FKW als Kältemittel in Wärmepumpenanlagen vor. [SBP 2003]

Deshalb bemühen sich die Wärmepumpenhersteller neben synthetisch erzeugten Kältemitteln auf natürliche Kältemittel auszuweichen, welche nicht ozonschichtabbauend und nicht klimaschädlich sind. Diese Stoffe sind Ammoniak (NH_3), Propan, Propen bzw. Propylen, Butan, Dimethylether, Kohlenwasserstoffe, Kohlendioxid (CO_2) oder Wasser. Die Kältemittel Propan, Propen oder Butan sind brennbare Stoffe, die wiederum eine erhöhte Anforderung an die Sicherheitstechnik stellen. Ammoniak, Kohlendioxid und Wasser sind im Gegenzug nicht brennbar, aber benötigen einen höheren technischen Aufwand bezüglich ihrer thermodynamischen Eigenschaften. In den industriellen Kühlanlagen (wie z.B. Brauerei) und in Absorptionswärmepumpenanlagen werden hauptsächlich NH_3 und CO_2 als Kühlmittel eingesetzt. [SBP 2003]

Welches Arbeitsmedium schlussendlich zum Einsatz kommt hängt im Wesentlichen von der Quellen- und Zieltemperatur, vom Druck am Verdampfer und Kondensator sowie auch von

der Verdichterarbeit der Wärmepumpenanlage ab. Eine weitere wichtige Rolle spielt die Überhitzungstemperatur im Kreisprozess der Wärmepumpe. [Ru 1978]

In der DIN 8960 wird die Bezeichnung des Arbeitsmittels geregelt. Alle Kältemittel fangen mit dem Buchstaben R an, der für „refrigerant“ steht, danach folgen Ziffern, die einen Aufschluss über ihre chemische Zusammensetzung geben. Gemische aus verschiedenen Kältemitteln beginnen nach dem Buchstaben R mit der Ziffer 4. [VIS 2011]

Folgende Kältemittel inklusive der DIN-Bezeichnung finden in Wärmepumpenanlagen Verwendung [SBP 2003]:

- R 11: Trichlorfluormethan (CCl_3F)
- R 12: Dichlordifluormethan (CCl_2F_2). Das häufigste verwendete FCKW-Kältemittel.
- R 22: Chlordifluormethan (CHClF_2). Das häufigste verwendete H-FCKW-Kältemittel in den USA.
- R 502: ein Gemisch aus R 22 (Dichlordifluormethan, CHClF_2) und R 115 (Chlorpentafluorethan, C_2ClF_5).
- R 410A: ein Gemisch aus R 32 (Difluormethan, CH_2F_2) und R 125 (Pentafluorethan, C_2HF_5), als Ersatzstoff für R 22.
- R 407C: ein Gemisch aus R 32 (Difluormethan, CH_2F_2), R 125 (Pentafluorethan, C_2HF_5) und R 134a (Tetrafluorethan, CHF_2CF_3), als Ersatzstoff für R 22.
- R 134a: Tetrafluorethan ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$), als Ersatzstoff für R 12.

Zu den natürlichen Kältemitteln zählen:

- R 744: Kohlendioxid (CO_2)
- R 717: Ammoniak (NH_3)
- R 718: Wasser (H_2O)
- R 290: Propan (C_3H_{10})
- R 600a: Butan (C_4H_{10})
- R 1270: Propen (C_3H_6)

2.6 KENNZAHLEN

Die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der elektrisch angetriebenen Wärmepumpen werden mit Kennwerten beurteilt [SCHE 2016]:

- Leistungszahl, im Englischen Coefficient of Performance (COP) genannt,
- Jahresarbeitszahl (JAZ) auch als Seasonal Performance Factor (SPF) bezeichnet.

2.6.1 Jahresarbeitszahl – JAZ

Mit der Arbeitszahl wird die Effizienz einer Wärmepumpenanlage gekennzeichnet.

$$\text{Arbeitszahl} = \frac{\text{erzeugte Wärmeleistung}}{\text{elektrische Antriebsenergie}} \quad (1)$$

Wird die Arbeitszahl auf ein Jahr bezogen, so ist die JAZ wie folgt definiert [SCHE 2016]:

$$\text{JAZ} = \frac{Q_{ab}[\text{kWh}]}{W_{el}[\text{kWh}]} \quad (2)$$

Sie ist das Verhältnis von der jährlich gelieferten Wärmemenge $Q_{ab}[\text{kWh}]$ der Wärmepumpe und der eingesetzten elektrischen Arbeit $W_{el}[\text{kWh}]$ des Verdichters in der Wärmepumpenanlage. [SCHE 2016]

Eine Arbeitszahl mit dem Wert 4 bedeutet, dass bei 1 kWh aufgenommener Arbeitsleistung für den Verdichter, dann die Wärmepumpe eine Wärmeenergie von 4 kWh bereitstellt. Die restlichen 3 kWh Wärmeenergie werden quasi gratis aus der Umwelt (Luft, Erde oder Wasser) entnommen. Effiziente Wärmepumpenanlagen werden an der Höhe ihrer Arbeitszahl erkannt. Eine der größten Einflussfaktoren auf die Arbeitszahl ist die Temperaturdifferenz zwischen der kostenfreien Energiequelle Luft, Erde oder Wasser und der Vorlauftemperatur der Heizungsanlage. Umso kleiner diese Temperaturdifferenz ist, desto weniger muss die Wärmepumpe die fehlende Wärmeenergie durch Arbeitsenergie ausgleichen und desto höher ist dann auch der Wert der Jahresarbeitszahl. Um ein effizientes Wärmepumpensystem zu erhalten gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste Variante versucht eine Energiewärmequelle mit einer konstanten Temperatur, wie z.B. Nutzung von Erdsonden oder Grundwasserbrunnen zu finden. Die zweite Alternative ist, die Vorlauftemperatur des Heizungssystems so niedrig als möglich mit bis zu 35 °C zu halten. Um dennoch die gewünschten Räumlichkeiten beheizen zu können werden großflächige Fußboden- und Wandheizungen eingesetzt. Vorlauftemperaturen von 55 °C - 65°C sind für das Wärmepumpensystem kein Problem, jedoch wirkt sich dies negativ auf die Energieeffizienz der Wärmepumpe aus. Damit eine Wärmepumpe optimal und effizient arbeiten kann, ist es unerlässlich eine sorgfältige und fachmännische Planung für das Zusammenspiel von Wärmequelle und Heiztechnik durchzuführen. [WPAEO 2016]

2.6.2 Leistungszahl – COP (Wirkungsgrad)

Die weitere Kennziffer für die Wärmepumpe stellt die Leistungszahl (Wirkungsgrad) dar, im englischen Sprachgebrauch als Coefficient of Performance (COP) bezeichnet. Die COP kennzeichnet das Verhältnis der momentan erzeugten Wärmemenge $\dot{Q}_{ab}[\text{kW}]$ und der elektrisch eingesetzten Arbeitsleistung $P_{el}[\text{kW}]$. Der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe wird mit der Formel (3) berechnet [SCHE 2016]:

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{ab}[\text{kW}]}{P_{el}[\text{kW}]} \quad (3)$$

Sie gibt Auskunft, wie gut die Wärmepumpe in einem optimalen und konstanten Betriebspunkt unter Laborbedingungen am Prüfstand arbeitet. Die in Häusern betriebenen Wärme-

pumpen unterliegen einem ständigen Wechsel von unterschiedlichen Bedingungen. Deshalb kann COP somit nur als Qualitätsmerkmal für die Hersteller der Wärmepumpenlieferanten und Wärmepumpenmodelle untereinander herangezogen werden. Der COP Wert ist immer größer als die erreichte JAZ bei der gleichen Wärmepumpe. Der COP von 5 bedeutet nicht gleich eine Wärmeenergie von 5 kWh, bei einer elektrischen Arbeitsleistung von 1,25 kWh. Die Effizienz der Wärmepumpe hängt von der Temperaturdifferenz der Energiequelle und dem Heizungsvorlauf ab. Je kleiner sie ist, desto höher ist der Wirkungsgrad der Wärmepumpe. Der COP-Wert liegt bei Heizungsanlagen zwischen 3 und 5. Bei einer JAZ von mindestens 3 wird die Wärmepumpe als eine effektive und kostenrentable Lösung gesehen. [SCHE 2016] [WPAEO 2016]

Neben dem Wirkungsgrad wurde seit September 2015 die neue Kennzahl „Seasonal Coefficient of Performance“ (SCOP) für Wärmepumpen eingeführt. Der Wert SCOP wird auch als JAZ in Betrieb herangezogen. Der SCOP bildet den realistischeren Wert für den elektrischen Leistungsbedarf einer Wärmepumpe ab. Diese Leistungsmessung findet bei vier verschiedenen Temperaturbereichen statt. Des Weiteren werden zusätzlich die möglichen Verluste einer Wärmepumpenanlage berücksichtigt. Gerade jene Geräte, die ihre Leistung bei Bedarf entsprechend anpassen, schneiden aufgrund der neuen Kennzahl besser ab. [WPAEO 2016]

2.7 ARTEN DER WÄRMEQUELLEN UND WÄRMEPUMPEN

Für die Wärmepumpe stehen drei Arten der Energiewärmequelle zur Verfügung [REB 2002]:

- Wasser
- (Umgebungs-) Luft
- Erdreich

Bei der Nutzung der oben genannten Wärmequellen sind folgende Kriterien von großer praktischer Bedeutung [REB 2002]:

- möglichst hohes Temperaturniveau
- ausreichende Verfügbarkeit
- kostengünstige Erschließung
- möglichst hohe Speicherfähigkeit
- ausreichende Regeneration
- geringer Wartungsaufwand

Diesen Anforderungen werden die einzelnen Wärmequellen in unterschiedlichen Maßen gerecht. Das Erdreich kann die Sonnenwärme über einen längeren Zeitraum gut speichern, wodurch sie das ganze Jahr eine gleichmäßige Temperatur für die Wärmepumpe bereitstellen kann. Die Wärmequelle Grundwasser ist aus energetischer Sicht für die Wärmepumpe besonders günstig. Das Wasser hat eine nahezu konstante Wassertemperatur von ca. 10 °C über das gesamte Jahr. Die Umgebungsluft ist eine überall und leicht nutzbare Wärmequelle, jedoch für die Wärmepumpe nicht besonders gut geeignet, da die Außenluft einer verhältnismäßig großen natürlichen Temperaturschwankung unterliegt. [REB 2002]

Die Wärmequellen sind der maßgebliche und ausschlaggebende Faktor für eine gute betriebswirtschaftlich funktionierende Wärmepumpenanlage. Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen der Energiewärmequelle und der Vorlauftemperatur des Heizungssystems ist, desto effizienter und kostengünstiger arbeitet die Wärmepumpe. Um diese Vorgabe zu erfüllen, eignen sich Heizungssysteme mit niedriger Temperatur wie z.B. Fußboden- und Wandheizungen oder Räume mit entsprechend großen Radiatorflächen. Bei tiefen Außentemperaturen steigt natürlich der Heizwärmebedarf, deshalb steigt somit auch die Heizvorlauftemperatur an. Die natürlichen Energiequellen Luft, Erde und Wasser unterliegen einer zeitlichen Temperaturschwankung, die ihre wirtschaftliche Heizleistung schwächt. Dies wiederum schmälert den Wirkungsgrad der Wärmepumpe vor allem im Winter und der Betrieb wird zunehmend wirtschaftlich ungünstiger. [CS 1978]

Wärmequelle Eigenschaften	Luft	Erde	Sonnenstrahlung	Grundwasser	Oberflächenwasser	Stadtwasser
Verfügbarkeit (örtlich)	überall	nur bei gelockerter Bauweise	überall	nicht gesichert	nur ausnahmsweise	in größeren Ortschaften
Verfügbarkeit (zeitlich)	immer	immer	stark wechselnd, nicht vorausschubar	immer – wenn nicht Wassermangel	immer – wenn nicht Wassermangel	immer – wenn nicht Beschränkungen am geringsten
Anlagekosten	verhältnismäßig gering	hoch	hoch	hängt von Kosten für Brunnenbohrungen ab. Im allgemeinen hoch	verhältnismäßig gering	Beschränkungen am geringsten
Betriebskosten	mittel	fast keine	fast keine, je nach Konstruktion des Strahlungsfängers	niedrig, wenn Rückfluß in zweiten Brunnen	verhältnismäßig niedrig	hoch
Temperatur und Temperaturschwankungen (ungefähre Werte)	-25 bis +15 °C, 90 % der Heizperiode über 0 °C. Im Antizyklus zum Wärmebedarf des Hauses	-5 bis +15 °C. Wird erst gegen Ende der Heizperiode kälter. Nicht beeinflusst von kürzeren Kälteeinbrüchen	> 0 °C im Antizyklus zum Wärmebedarf des Hauses	+10 bis +15 °C sehr konstant	0 bis 15 °C unter +2 °C nicht mehr verwertbar	+5 bis +15 °C
Platzbedarf	groß	Im Gerät praktisch keine Bodenfläche erforderlich	große bauliche Maßnahmen	im Gerät klein. Platzbedarf für Brunnen	klein	klein
Eignung für Massenproduktion besondere Merkmale	gut Bei größter Wärmeanforderung steht am wenigsten Leistung zur Verfügung. Bereiten des Luftkühlers erfordert Abtauatomatik, größere Leistung zur Kompensation, zweite Wärmequelle oder Zusatzheizung, Regelung wegen der starken Temperaturschwankungen schwierig. Bei Außenluftkühler Geräuschproblem	mäßig Begrenzt durch geolog. Verhältnisse (kein Fels). Verlegungskosten schwer zu schätzen. Reparaturen an Rohrschlange fast unmöglich. Erfordert für je 1000 kcal/h (1,16 kW) Heizleistung etwa 30 m ² Bodenfläche. Gefahr des Erfrierens bei Bepflanzung	mäßig Erfordert auf Südseite des Hauses oder auf dem Dach besondere bauliche Maßnahmen. Freier Raum nach Osten, Süden und Westen. Wärmespeicher oder zweite Wärmequelle erforderlich. Je Heizleistung etwa 2 m ² Strahlungsfänger erforderlich	gut Gefahr der Korrosion oder Ablagerung im Wasserkühler. Abfluß in Kanalisation oder 2. Brunnen erforderlich. Wassertemperatur, Zusammensetzung und Schüttung vor der Brunnen-gründung meist unbekannt	gut Korrosionen, Ablagerungen und Algenbildung möglich. Vorkehrungen für den Fall der Temperaturunterschreitung erforderlich (Zusatzheizung)	gut Korrosionen und Ablagerungen möglich. Gefahr von Verbrauchs-einschränkungen

Abbildung 8: natürliche Wärmequellen [CS 1978]

2.7.1 Wasser - Hydrothermale Wärmepumpen

Eine sehr gute Wärmequelle für die Wärmepumpe ist Wasser, da diese über eine sehr hohe Wärmekapazität, über eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit verfügt und immer ein relativ konstant hohes Temperaturniveau von 8 °C bis 12 °C zur Verfügung stellen kann. Die Wärmepumpe hat somit immer eine verhältnismäßig konstante Temperaturspreizung und erreicht daher eine sehr gute Effizienz. Als Grundvoraussetzung muss jedoch genügend Wasser von ca. 150 Liter bis 200 Liter pro kW Heizleistung zur Verfügung stehen. Mittels eines Förderbrunnens wird das Grundwasser hochgepumpt, angekommen bei der Wärmepumpenanlage wird dem Wasser die Wärmeenergie entzogen und anschließend über einen separaten und vom Förderbrunnen örtlich weit genug entfernten Schluck- oder Sickerbrunnen zurück zum Grundwasserspiegel abgegeben. Aufgrund einer Verknappung und einer Verteuerung der Grundwassernutzung nimmt die Verwendung dieser Ressource zunehmend ab. Besonders bei großen und komplexen Energieversorgungsanlagen ist dies der Fall. Des Weiteren ist die Nutzung des Wassers genehmigungspflichtig und im Wasserrecht verankert. Dabei macht es auch keinen Unterschied ob es entnommen und anschließen auch wieder dem Wasserkreislauf zurückgeführt wird. Im Wasserrecht ist zurzeit nur die Nutzung der Arbeitsfähigkeit des Wassers jedoch nicht die Wärmeentnahme und Wärmeeinleitung gesetzlich geregelt. Auch im Winter ist die Nutzung ungehindert möglich, da die Wärmequelle Grundwasser eine gleichmäßige und konstante Temperatur unabhängig von den Außentemperaturen garantiert. [SCHE 2016] [CS 1978]

Hydrothermale Wärmepumpen nutzen das Grundwasser als Wärmequelle, sofern die Voraussetzungen der Nutzung und der Regelbewilligung gegeben sind. Diese Technik benötigt einen Förderbrunnen und einen Sickerbrunnen mit einem großen Abstand zueinander. Im Förderbrunnen wird das Grundwasser hochgepumpt, die Wärmepumpe entzieht dem Wasser die Energie und anschließend wird das Grundwasser wieder über den Sickerbrunnen zurück geleitet (Abbildung 9). Mit dieser Technologie kann auch im Sommer das Gebäude/Haus sehr energiesparend passiv gekühlt werden. Hydrothermale Wärmepumpen erzielen die besten Leistungs- und Arbeitszahlen, da Grundwasser kaum einer Temperaturschwankung unterliegt. Nachteil dieses System mit Wasser ist die Regelbewilligungspflicht. [WPAQ 2016]

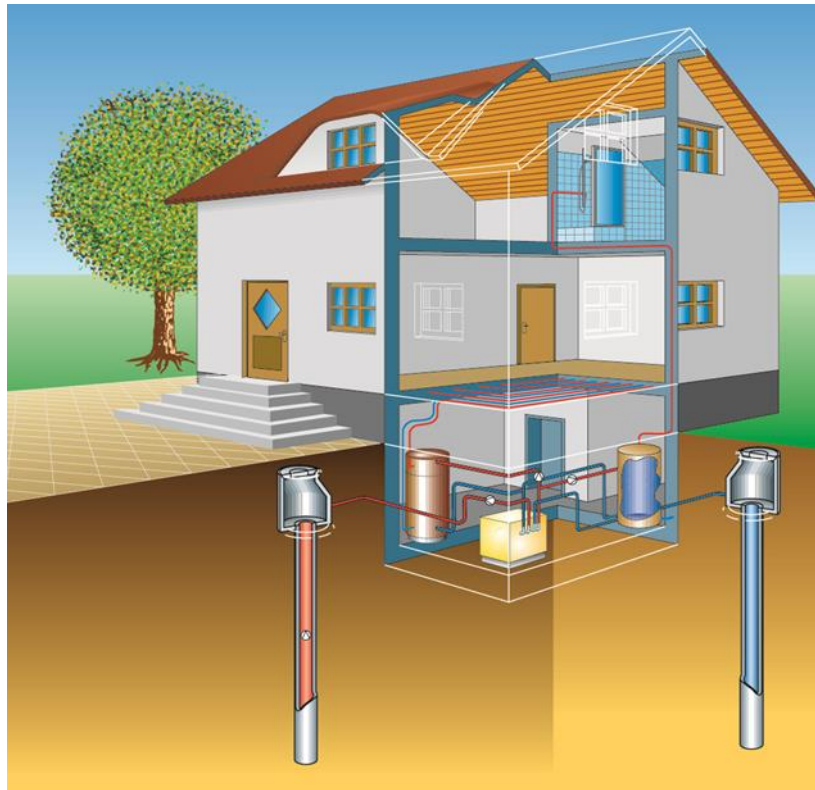


Abbildung 9: Grundwasser ist eine hervorragende Wärmequelle für Wärmepumpen
[WPAQ 2016]

2.7.2 Luft - Luftwärmepumpen

Die Wärmepumpenanlagen, welche die Wärmequelle Luft nutzen sind sehr einfach zu installieren. Der große Vorteil der Ressource Luft ist die ausgezeichnete Verfügbarkeit unabhängig von der Zeit und dem Standort. Die Außenluft kann beinahe jede gewünschte Wärmemenge liefern, aber sie unterliegt einer großen jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankung. Die Lufttemperatur und der Wärmeinhalt sind bei einer Luft-Luft Wärmepumpenanlage von größter Bedeutung bezüglich ihrer optimalen und effizientesten Betriebsweise. Der große Nachteil dieser Wärmequelle ist ihre geringe Energieeffizienz bei niedriger Außentemperatur gegenüber Erdwärmepumpen. Gerade wenn der größte Wärmebedarf besteht hat auch die Außenluft eine sehr niedrige Temperatur. Wegen der großen Temperaturspreizung kann die Wärmepumpe nicht mehr effizient arbeiten. Die Luftwärmepumpenanlagen können somit nur in sehr gut gedämmten Gebäuden, die über große Heizflächen verfügen und für sehr niedrige Heiztemperaturen ausgelegt sind, eingesetzt werden. [SCHE 2016] [CS 1978]

Die Luftwärmepumpen nutzen die Außenluft als Wärmequelle, die es in unbegrenzter Menge und überall vorhanden ist (Abbildung 10). Die Vorteile dieser Technik sind der geringe Installationsaufwand, die geringen Installationskosten und es bedarf keiner behördlichen Genehmigung. Deshalb kommt diese in Neubauten und auch bei Sanierungsbauten in Frage, da diese extrem einfach und nahezu überall eingesetzt werden kann. Im Sommer wird diese Technologie hauptsächlich zur Warmwasseraufbereitung genutzt, da die Außenluft konstant

hohe Temperatur liefert. Im Winter wiederum ist die Wärmequelle Außenluft, also zu Zeiten des höchsten Heizungsbedarfs, relativ niedrig. Deshalb arbeitet eine Luftwärmepumpe nicht so effektiv und effizient als erdgekoppelte oder hydrothermale Systeme, da sie vielmehr elektrische Arbeitsenergie benötigt. Jedoch ist die Luftwärmepumpe von den Investitionskosten niedriger, da sie einen wesentlich geringeren Bauaufwand gegenüber den anderen Systemen aufweist. [WPAQ 2016]



Abbildung 10: Sogenannte Luftwärmepumpen, die auf die Wärmequelle Luft zurückgreifen, sind besonders einfach zu installieren [WPAQ 2016]

2.7.3 Erdreich - Erdwärmepumpen

Eine weitere Wärmequelle für die Wärmepumpe ist Erdwärme. Die Wärmequelle Erdboden hat eine günstige Temperaturkonstanz, günstige Temperaturlage, günstige örtliche und zeitliche Verfügbarkeit somit ein sehr gutes Speichervermögen. Der Wärmeleitkoeffizienten λ , die Dichte ρ und die spezifische Wärmekapazität c sind bedeutende Parameter bei der Einschätzung der örtlichen Gegebenheiten. Die Klassifizierung der verschiedenen Bodenarten ist schwierig, da der Feuchtigkeitsgehalt und die Dichte entscheidende Auswirkungen auf die Wärmeleitfähigkeit des Bodens haben. Die Wärmeentnahme selbst hat den größten Einfluss auf die Erdreichtemperatur. Diese Temperaturabsenkung kann durch schrittweise Summierung der Wärmeentnahme (z.B. je Monat) berechnet werden. Die Ressource Erdwärme wird mit vertikalen Erdsonden oder horizontalen Erdwärmekollektoren nutzbar gemacht. [SCHE 2016] [CS 1978]

Bei den Erdwärmepumpen wird die Erdwärme mittels vertikalen Erdwärmesonden oder horizontalen Erdwärmekollektoren für Heizungs- und Warmwasseraufbereitung genutzt. Bei dieser Technik wird die oberflächennahe Geothermie angewendet. Dem Erdreich wird mit Hilfe eines frostsicheren Arbeitsmittel die Wärmeenergie entzogen und dann mit der Wärmepumpe

pe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Erdwärmesonden sind U-förmige Kunststoffrohre, die senkrecht über eine Bohrung ins Erdreich eingebracht werden. Vorteil dieses Systems sind der geringe Flächenbedarf und ihre hohe Effizienz, da ab ca. 10 m die Temperatur im Erdreich über das ganze Jahr nahezu konstant ist. Wie tief die Sonde sein muss hängt im Wesentlichen vom Wärmebedarf und Wärmeleitfähigkeit des Bodens ab. Bei einem Einfamilienhaus beträgt diese Tiefe im Durchschnitt 140 m (Abbildung 11). Für Erdwärmesonden kann eventuell ein Genehmigungsverfahren nötig sein, deshalb sollte dies beim Bohrunternehmen explizit im Leistungsumfang mitvereinbart worden sein um weitere Kosten für den Auftragsgeber zu vermeiden. Bei horizontalen Erdwärmekollektoren werden Flächenkolektorschlangen waagrecht (oder schräg/senkrecht) unter der Frostschutzgrenze in einer Tiefe von etwa 1 bis 1,5 m in einem Rohrsystem verlegt (Abbildung 12). Nachteil dieses Systems ist der benötigte Flächenbedarf, dieses Gebiet darf nicht versiegelt oder überbaut werden. Da der Boden die Wärme der Sonneneinstrahlung und Regenwasser aufnehmen muss, dürfen dort auch keine tiefwurzelnden Pflanzen stehen. Trotzdem sind die Aufwendungen und die Kosten für die Wärmequellenerschließung bei Erdwärmekollektoren um ca. die Hälfte günstiger als bei Erdwärmesonden. Im Sommer sind beide Systeme auch geeignet zur effektiven passiven Kühlung des Gebäudes bzw. Hauses. Dies führt zusätzlich zur „Regeneration“ der Erdwärme und somit im Winter zu einer erhöhten Quellentemperatur sowie zu einer effizienteren Wärmepumpenanlage. [WPAQ 2016]

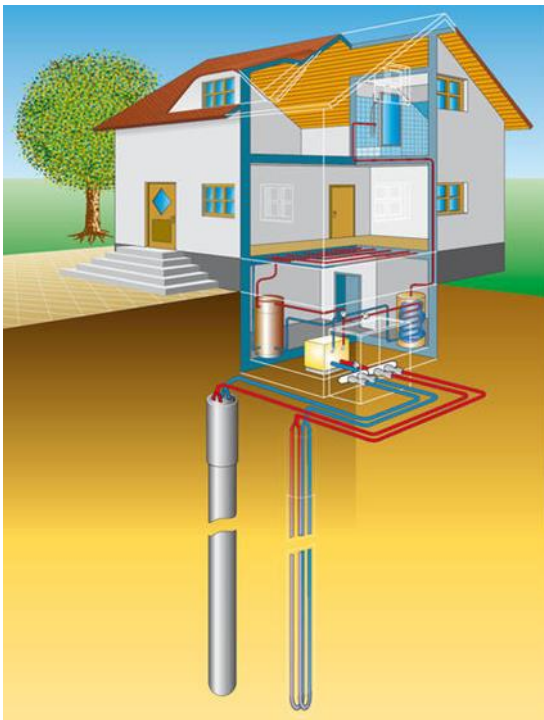


Abbildung 11: Senkrechte Erdsonden brauchen wenig Platz [WPAQ 2016]

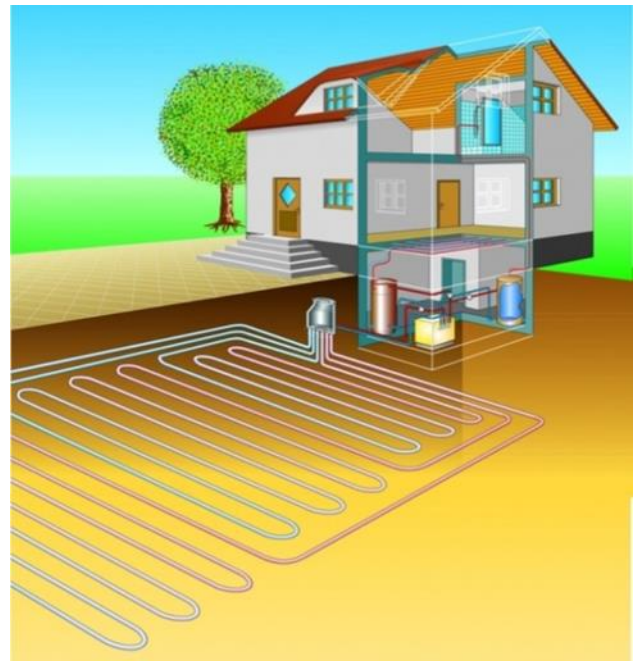


Abbildung 12: Horizontalen Flächenkollektoren mit besonders kostengünstiger Erdwärmenutzung [WPAQ 2016]

2.7.4 Zusammenfassung der Vorteile/Nachteile der Wärmepumpentypen

Tabelle 3: Zusammenfassung der Vorteile/Nachteile von unterschiedlichen Wärmepumpentypen

WP-Typ	Luft/Luft	Luft/Wasser	Sole/Wasser		Wasser/Wasser
Quelle	Umgebungsluft	Umgebungsluft	Erdsonde	Erdkollektor	Grundwasser
Voraussetzungen	Passivbauweise		geeigneter Untergrund benötigte Bodentiefe	großer Platzbedarf	Entnahmekollektoren Sickerbrunnen großer Abstand zwischen den beiden Brunnen notwendig
JAZ	3,0 – 3,5	2,5 - 4,5	3,5 - 5	3,5 – 4,5	3,5 – 5
Vorteile:	geringer Installationsaufwand geringer Platzbedarf effiziente Wärmerückgewinnung, Passivhaus	geringer Installationsaufwand geringe Investitionskosten geringer Platzbedarf geeignet für Sanierungsbauten bei guter Dämmung	ganzjährig stabile Quelltemperatur geringer Platzbedarf heizen und kühlen	bei Neubau geringer Bauaufwand heizen und kühlen	ganzjährig stabile Quelltemperatur hohe Energieeffizienz geringer Platzbedarf heizen und kühlen geringe Betriebskosten
Nachteile:	starke Temperaturabhängigkeit geringe Energieeffizienz höhere Betriebskosten regelmäßiger Wartungsaufwand	starke Temperaturabhängigkeit geringe Energieeffizienz höhere Betriebskosten Schallemissionen	hohe Installationskosten, Tiefenbohrung Effizienz von der Bodenstruktur abhängig	Flächenverlust Effizienz von der Bodenstruktur abhängig	nur bei bestimmten Rahmenbedingungen möglich, Grundwasserspiegel Genehmigungspflichtig, Wasserrecht
Betriebsweise	bivalent oder monoenergetisch	bivalent oder monoenergetisch	monovalent	monovalent	monovalent

2.8 EINSATZGEBIETE VON WÄRMEPUMPEN

Wärmepumpen können die Energiemengen aus der Umwelt nutzen und mit Hilfe von Arbeitsmaschinen auf ein höheres Energieniveau kommen. Der Prozess wird auf seine energetische Bewertung untersucht und der Wirkungsgrad der Anlage berechnet [TISC 2007]:

$$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\dot{Q}_H}{P_{el}} \quad (4)$$

Die elektrische Leistung P_{el} wird hier genutzt um aus der Wärmemenge der Umwelt \dot{Q}_U die Heizwärmemenge \dot{Q}_H zu erreichen [TISC 2007]:

$$P_{el} = \dot{Q}_H - \dot{Q}_U \quad (5)$$

Deshalb ist die elektrische Leistung einer Wärmepumpe von den Wärmemengen abhängig. [TISC 2007]

2.8.1 Heizungswärmepumpe/Raumwärmepumpe

Bei Neubauten von Einfamilienhäusern werden grundsätzlich Heizungswärmepumpen bis zu einer thermischen Leistung von 10 kW eingesetzt. Heizungswärmepumpensysteme dieses Leistungssegmentes können problemlos die Leistungsanforderungen in einem Niedrig- oder Niedrigstenergieeigenheim abdecken. Im österreichischen Inlandmarkt weisen die 10 kW Leistungssegmente die höchsten Verkaufszahlen und die größten Marktwachstumsraten auf. Die Wärmepumpen im Segment Eigenheim Neubau haben einen aktuellen Marktanteil von 75 % - 80 %, wenn kein Erdgas- oder Fernwärmeanschluss verfügbar ist. Wärmebereitstellungsanlagen die mit Biomasse betrieben werden stellen keine Konkurrenz für Wärmepumpen in diesem Marktsegment dar. Auch der seit Herbst 2014 anhaltende niedrige Öl- und Gaspreis ist im Bereich des Eigenheim Neubaus kein hemmender Faktor, jedoch im Sanierungsbereich von Gebäuden wird der Systemtausch von Kessel zu Wärmepumpen erheblich erschwert oder verhindert. Der niedrige Strompreis wird als fördernder Faktor bei Wärmepumpensystemen gesehen, weil dies niedrige Betriebskosten bedeutet und seitens der Energieversorger werden Anreize mit Wärmepumpentarifen noch zusätzlich geschaffen. Aber der niedrige Strompreis kann auch dazu führen, dass der Strom für Direktheizungen wieder interessanter wird. Insbesondere für Haushalte die über eine eigene Photovoltaikanlage verfügen, ist es interessant den Strom selbst zu verbrauchen anstatt mit einem niedrigen Preis den Strom ins Netz einzuspeisen. Beim Leistungssegment bis 10 kW ist ein großer Trend zu Luft-Wasser Wärmepumpen zu erkennen. Im Gegensatz dazu ist bei neu installierten Sole-Wasser Wärmepumpen ein Rückgang zu verzeichnen, dies ist auf die höheren Investitionskosten und auf die strukturellen Probleme bei der Errichtung (Bohrungen, flächige Erdarbeiten) zurückzuführen. In klassischen Einfamilienhäusern mit einer mittleren bis guten Energieeffizienzklasse werden Wärmepumpen im Heizungsbereich von 10 kW bis 20 kW thermischer Leistung eingesetzt. Auch entsprechend energetisch sanierte Altbauten (Fenstertausch, Vollwärmeschutz) können mit dieser Heizungswärmepumpengröße betrieben werden. Des Weiteren ist durch die Umstrukturierung der Bauwirtschaft von Neubauten auf Altbausanierungen eine weitere Steigerung der 10 kW bis 20 kW Anlagen ab dem Jahr 2020 zu erwarten. Der Heizungswärmepumpenbereich von größer 20 kW bis zu 50 kW wird hauptsächlich in großen Wohngebäudekomplexen und Gebäude im Dienstleistungssektor verwendet. Unter dem Begriff Dienstleistungssektor werden Büroanlagen, Einkaufsläden, öffentliche Gebäude wie Gemeindeämter, kleine Schulen, Kindergärten usw. verstanden. Auch in Sanierungsbauten werden hier zukünftig große Potenziale gesehen. Sehr große Heizungswärmepumpensysteme in der Leistungsklasse größer 50 kW werden in der Industrie und in großen Wohnungsanlagen eingesetzt. Jedoch erfordert diese Größendimension projektbezogene systematische Planung und Optimierung der Wärmepumpenanlagen bezogen auf ihre Energieeffizienz. Ein zusätzlicher möglicher Anwendungsbereich der großen Heizungswärmepumpen ist der Bereich der netzgebunden Wärmeversorgung (Fernwärmenetz). [ÖTRW 2016]

2.8.2 Brauchwasserwärmepumpe

Die Brauchwasserwärmepumpen werden vorwiegend für die Warmwasseraufbereitung in Wohngebäuden verwendet. Sie sind aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine ökonomische, attraktive und energieeffiziente Alternative zu Elektroboilern oder thermischen Solaranlagen. Der aktuell niedrige Strompreis wirkt sich als exogener Faktor fördernd bei Brauchwasserwärmepumpen aus. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist es jedoch schwierig die Investitionskosten von Brauchwasserwärmepumpen im Vergleich zu Elektroboilern mit Widerstandsheizung bei niedrigem Strompreis zu rechtfertigen. Bei Gebäuden mit Photovoltaikanlagen können die Brauchwasserwärmepumpen auch als Heizungswärmepumpen dienen und damit die Maximierung des Eigenstromverbrauchs gewährleisten. [ÖTRW 2016]

2.8.3 Lüftungswärmepumpe

Die Lüftungswärmepumpe ist ein integraler Bestandteil von Wohnungsgebäuden mit geringer Heizlast. Die Wärmepumpenanlage wird mit einer kontrollierten Wohnraumlüftung kombiniert. Es wird die Wärmequelle Abluft aus der Lüftungsanlage verwendet und als Wärmeträgermedium dient die Zuluft der kontrollierten Wohnraumlüftung. Der Einsatz der Lüftungswärmepumpe ist nicht nur auf das Passivhaussegment beschränkt, sondern kann auch in energieeffizienten Gebäuden ihre Anwendung finden. [ÖTRW 2016]

2.8.4 Industrierwärmepumpe

Industrierwärmepumpen werden für industrielle und gewerbliche Prozesse verwendet. Diese Wärmepumpenanlagen mit einer verhältnismäßig großen thermischen Leistung werden immer projektspezifisch geplant, gefertigt und installiert. [ÖTRW 2016]

2.8.5 Entfeuchtungswärmepumpe für Schwimmbäder

Es gibt auch Entfeuchtungswärmepumpen, die hauptsächlich für Schwimmbäder genutzt werden. Da die Anzahl dieser Anlagen sehr gering ist, kann eine weitere Beachtung in der Statistik unterbleiben. [ÖTRW 2016]

2.9 WIRTSCHAFTLICHER HEIZKOSTENVERGLEICH

Dieses Kapitel behandelt eine klare unmissverständliche, neutral objektiv belegbare und unabhängige Beurteilung der verschiedenen Heizungsanlagen untereinander. Die österreichische Energieagentur (AEA = Austrian Energy Agency) geht hierzulande von einem Referenzgebäude mit einer Wohnfläche von 118 m² aus. Dieses Referenzgebäude wird weiter in drei Qualitätsstufen gemäß ihrer thermischen Hülle differenziert [Tr 2015]:

- 175 kWh/m²a Heizwärmebedarf als thermisch unsaniertes Gebäude
- 75 kWh/m²a Heizwärmebedarf als thermisch saniertes Gebäude
- 50 kWh/m²a Heizwärmebedarf als Neubau

Es werden folgende Heizsysteme gegenübergestellt [Tr 2015]:

- Fernwärme
- Erdgas
- Öl
- Scheitholz
- Pellets
- Wärmepumpe

Die AEA hat eine Vollkosten-Heizungsvergleich-Statistik nach der Methodik der ÖNORM M 7140 (Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach dynamischen Rechenmethoden) bzw. nach der VDI 2067 (Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen) erstellt. Diese betriebswirtschaftliche Berechnung besteht aus folgenden veränderlichen Parametern [Tr 2015]:

- den kapitalgebundenen Kosten (darunter werden Investition- und Installationskosten verstanden)
- den verbrauchsgebundenen Kosten (wie z.B. Brennstoffkosten und Hilfsmittel)
- den betriebsgebundenen Kosten (beinhalten die Wartungs- und Instandhaltungskosten)
- den kalkulatorischen Zinsfuß (3 %), die Preissteigerungsrate (3 % pro Jahr) und die Energiepreissteigerungsrate (3 % pro Jahr)
- der Nutzungsdauer (20 Jahre) und der Instandhaltungsraten

Die Methode von AEA arbeitet nach der Grundlage der Zinseszinsrechnung (Annuitätenmethode) und liefert folgende Ergebnisse mit dem Stand der Investitionskosten vom Jänner 2017 (siehe Abbildungen). [Tr 2015]

Thermisch unsaniertes Gebäude

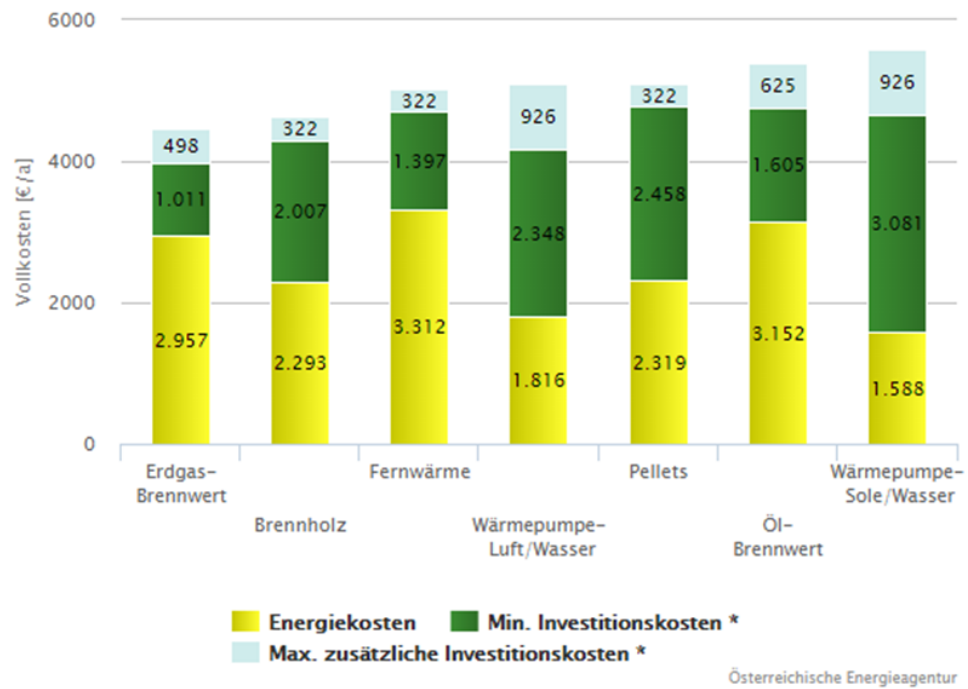


Abbildung 13: Heizkostenvergleich bei 175 kWh/m²a Heizwärmebedarf (unsaniert), Stand Jänner 2017 [Austrian Energy Agency]

Thermisch saniertes Gebäude

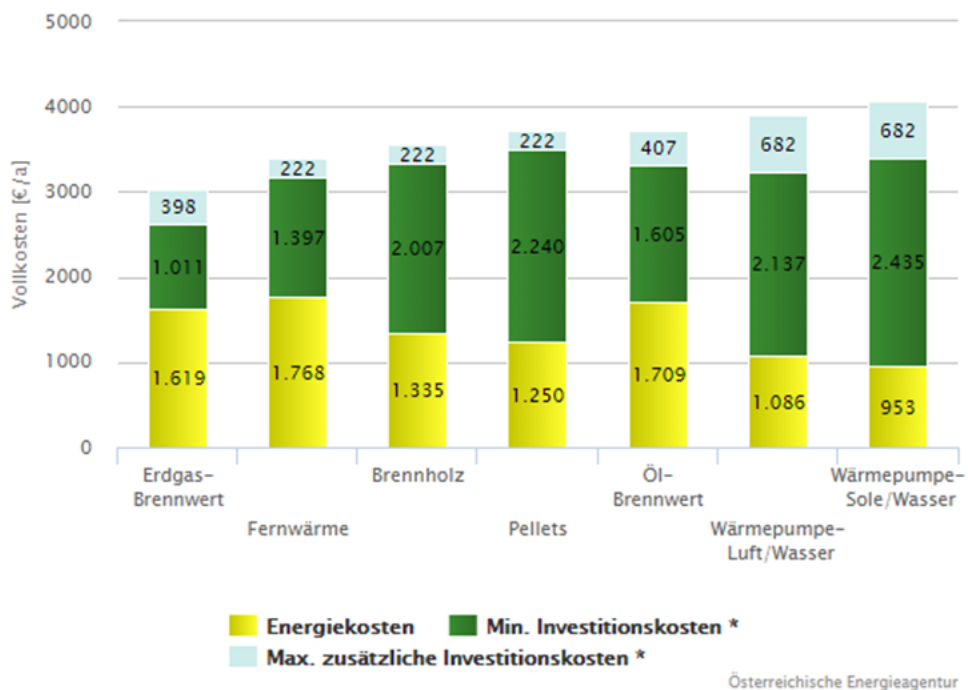


Abbildung 14: Heizkostenvergleich bei 75 kWh/m²a Heizwärmebedarf (saniert), Stand Jänner 2017 [Austrian Energy Agency]

Neubau

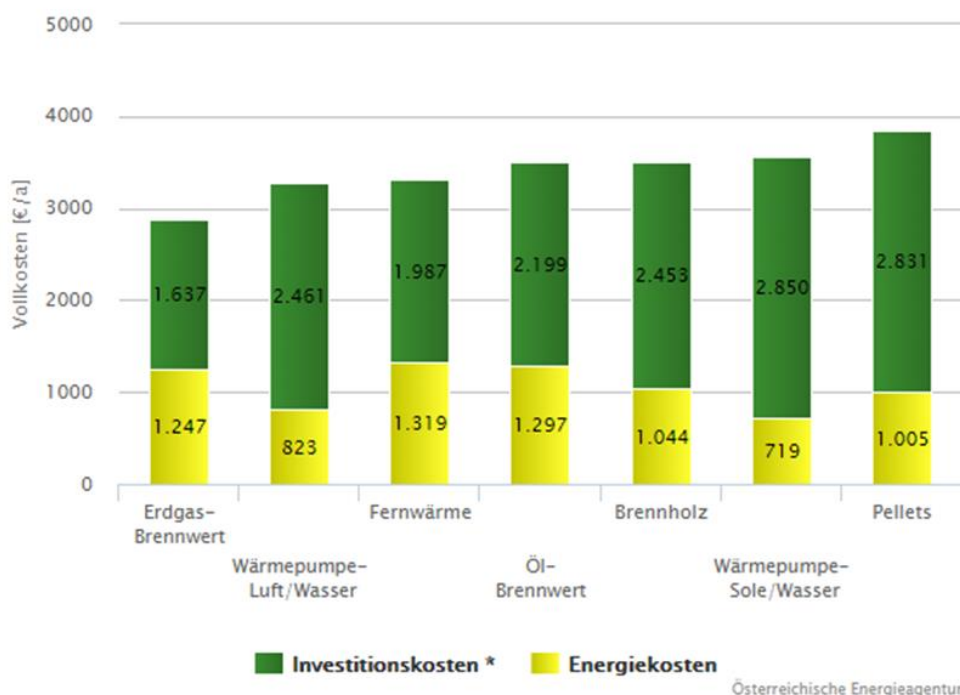


Abbildung 15: Heizkostenvergleich bei 50 kWh/m²a Heizwärmebedarf, Stand Jänner 2017 [Austrian Energy Agency]

Bei Neubauten sind die Investitionskosten (mit Wartungs- und Instandhaltungskosten) bei Pellets sehr hoch, ebenso ist dies auch bei thermisch unsanierten und thermisch sanierten Gebäudetypen der Fall. Die höchsten Energiekosten treten bei allen drei Referenzgebäuden vor allem bei Fernwärme und Öl-Brennwert Anlagen auf. Somit zählen diese beiden Heizungsanlagen zu den teuersten Systemen in Bezug auf die Energiekosten.

Die niedrigsten Energiekosten sind bei der Wärmepumpe mit Sole/Wasser, gefolgt von der Wärmepumpe mit Luft/Wasser zu finden. Die geringsten Investitionskosten finden sich bei allen drei Szenarien bei der Erdgas-Brennwert Anlage und hat auch noch den höchsten Wirkungsgrad zu vermelden, jedoch schneidet diese bei Treibhausgasemission zusammen mit dem Öl-Brennwert System am schlechtesten ab.

Vor allem bei Neubauten schneidet die Luft/Wasser-Wärmepumpe bezüglich der Investitions- und Instandhaltungskosten sowie der Jahresarbeitszahl sehr gut ab.

Dass die Erdgas-Brennwert Anlage bei allen drei Gebäudetypen bei den Vollkosten an erster Stelle liegt, ist auf den derzeit stabilen und günstigen Erdgaspreis zurückzuführen.

Die Fernwärme liegt bei allen drei Szenarien unter den Top 3, dies ist auf die günstigen Investitions- und Energiekosten zurückzuführen und ist eine der empfehlenswertesten Heizungs-systeme vor allem im städtischen Bereich.

Die Scheitholz-kessel profitieren am meistens von ihren niedrigen Energiekosten. Werden die Vollkosten und die CO₂-Emissionen kombiniert lässt sich Schlussfolgern, dass das Brennholz die beste Lösung bei allen drei Gebäudetypen ist. Es muss bedacht werden, dass

hier die Feinstaubentwicklung bei der Verbrennung von Holz vernachlässigt worden sind und in vielen Großstädten die Installation von neuen Scheitholzanlagen aus diesem Grund verboten wurde.

CO₂-Emissionen

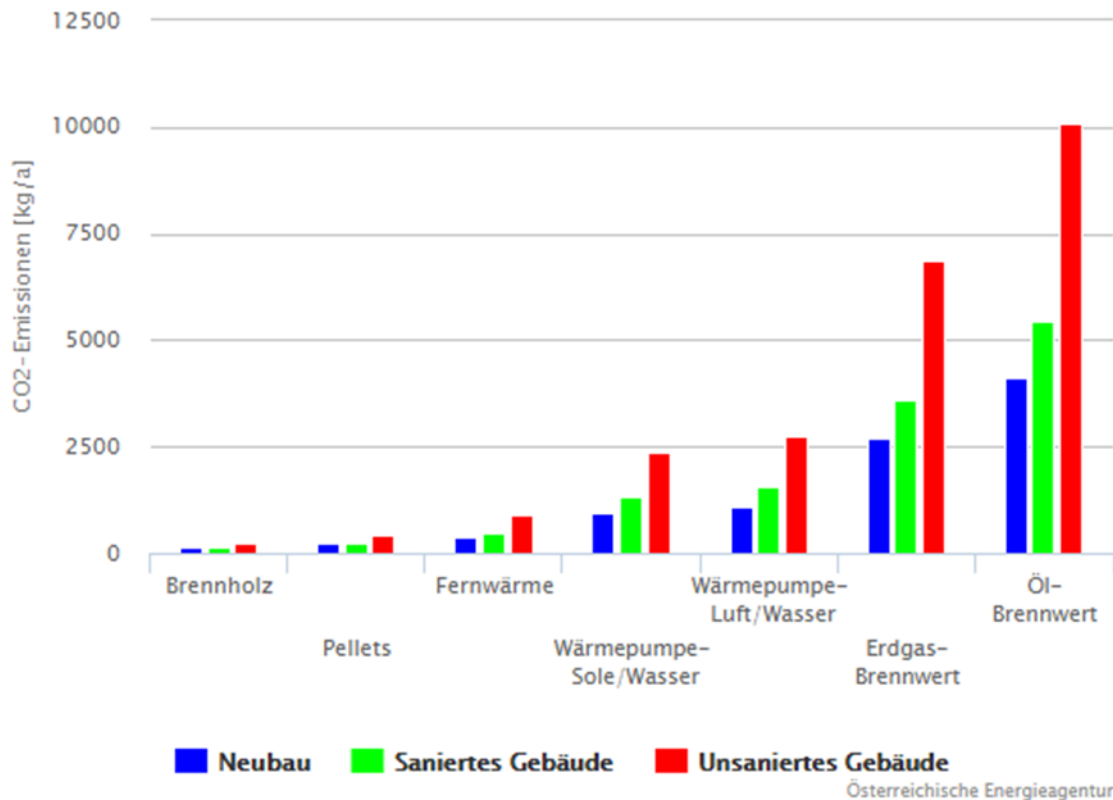


Abbildung 16: Die CO₂-Emissionen im Vergleich der Heizsysteme und Heizwärmebedarfs [Austrian Energy Agency]

Eine Einschätzung der CO₂-Emissionen erfolgt nach der OIB-Richtlinie 6 mit dem Titel „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ aus dem Jahr 2015. [Tr 2015]

Die Grafik der CO₂-Emissionen (Abbildung 16) zeigt, dass die Heizungssysteme Brennholz, Pellets und Fernwärme die geringsten Treibhausgase emittieren, der Feinstaub wurde hier nicht berücksichtigt.

Ein weiterer erheblicher Faktor der sich bei der Vollkostenrechnung bemerkbar macht, ist die Qualität der thermischen Hülle des Gebäudes. Es ist zu sehen, dass die jährlichen Energiekosten bei thermisch sanierten Gebäuden um einen Durchschnittsfaktor von 44 % geringer sind als bei thermisch un sanierten Häusern. Auch die CO₂-Emissionen sinken ebenfalls durchschnittlich um 56 % bei thermisch sanierten Gebäuden.

Schlussfolgernd stellen die Wärmepumpenanlagen auf längere Sicht in der Gesamtwertung vor allem im Neubau eine sehr gute Heizungslösung dar.

3 WÄRMEPUMPEN IN ÖSTERREICH

3.1 ANALYSE DES RAUMWÄRMEBEDARFS

Der energetische Endverbrauch in Österreich im Jahr 2014 betrug 1.063,2 PJ und entspricht bezogen auf die Einwohner einem durchschnittlichen energetischen Endverbrauch von 124,4 GJ bzw. 34.555 kWh oder 2,97 toe (Tonnen Öl-Äquivalent) pro Person. [SJOE 2017]

In der Abbildung 17 wird der Endenergieverbrauch nach Sektoren des Jahres 2014 dargestellt.

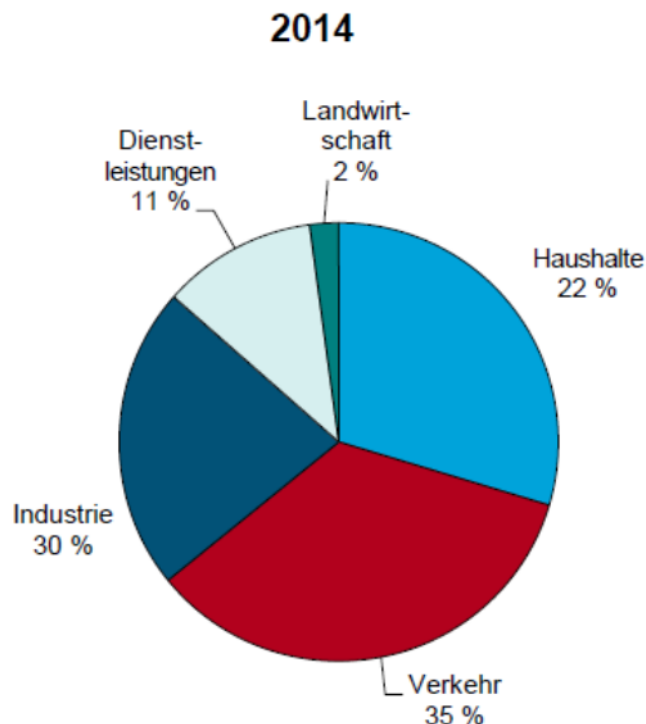


Abbildung 17: Energetischer Endverbrauch nach Sektoren in Österreich im Jahr 2014
[UK-E 2016]

Es ist zu erkennen, dass der Privathaushaltssektor mit 22 % (in früheren Jahren noch 30 % bis 33 %) den größten Anteil am Endenergieverbrauch aufweist und deshalb eine sehr gute Möglichkeit zur Energieeinsparung bzw. zu einer effizienteren Energienutzung bietet. Den größten Anteil des Energieverbrauchs im Privathaushaltssektor nehmen gemeinsam die Bereiche Raumwärme und Warmwassererzeugung mit ca. 66 % ein. [ES 2016]

Der größte Energieverbrauch fällt im privaten Haushalt bei der Wärmerzeugung und bei der Brauchwarmwasseraufbereitung an. Für die Erzeugung von Heizungswärme mit Wohnraumklimatisierung in Österreich wurden rund 31 % des Endenergieverbrauchs im Jahr 2014 aufgewendet. Um den Raumwärmebedarf eines Gebäudes senken zu können, müssen diese einen hohen thermischen Qualitätsstandart erfüllen. Aufgrund der immer größer werdenden

Wohnnutzflächen steigt der Raumwärmebedarf in Österreich stetig an. Ein nicht zu unterschätzender Faktor des Endenergiebedarfs im Bereich der Raumwärmeerzeugung ist die durchschnittliche Temperatur des jeweiligen Winters. Bei milden Wintertemperaturen, wie 2014, sinkt gleichzeitig der Energiebedarf für die Wärmeerzeugung und im Sommer herrscht natürlich keine Nachfrage an Wärmeenergie. Deshalb wird für die Berechnung des Endenergieeinsatzes ein langjähriger Durchschnittswert für die Heizgradtage¹ in den Wintermonaten benötigt. [UK-E 2016]

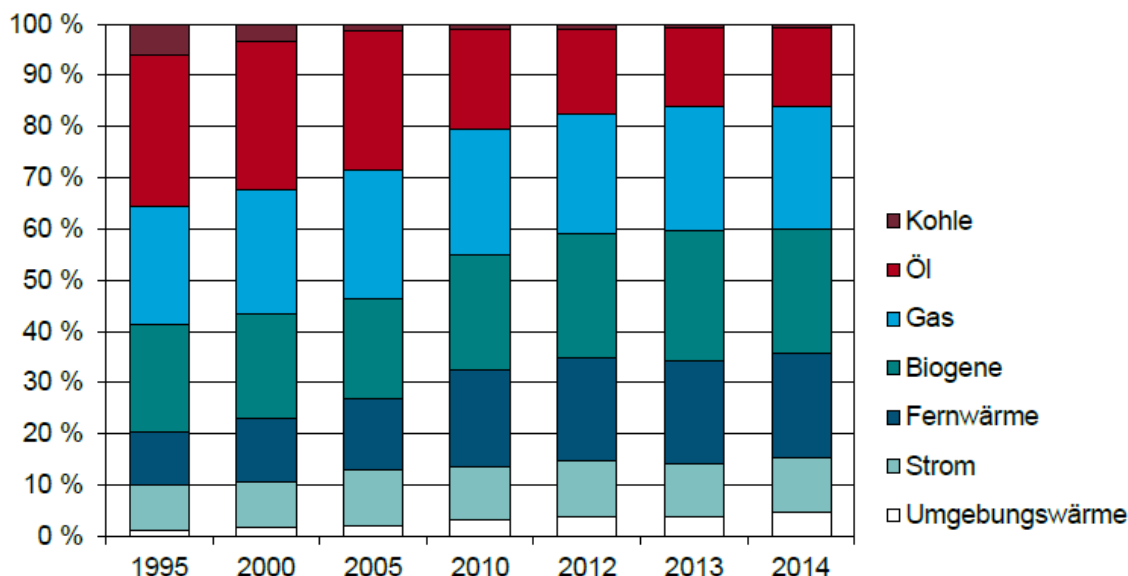


Abbildung 18: Endenergieeinsatz für Raumwärme (Heizung und Warmwasser) sowie Klimaanlage (heizgradtagbereinigt) [UK-E 2016]

Im Jahr 2014 betrug in Österreich der Bruttoinlandsverbrauch 383.559 GWh bzw. 1.381 PJ. Der gesamte erneuerbare Endenergieverbrauch wurde in Österreich mit 104.828 GWh (377.381 TJ) beziffert, dies entspricht einem Prozentanteil von 27,3 % des energetischen Endverbrauchs für das Jahr 2014. Im Vergleich dazu sind laut Eurostat in den EU-28 Staaten nur 15 % vom Bruttoendenergieverbrauchs den erneuerbaren Energieerzeugungssystemen zuzuschreiben. Die Endenergiebereitstellung aus erneuerbare Wärme beläuft sich auf 49.299 GWh, dies entspricht umgerechnet 177,5PJ. Davon liefert die Umgebungswärme einen Energiewert von 1.976 GWh, dies entspricht 1,9 % aus den erneuerbaren Energieträgern (siehe Abbildung 19). Mit Hilfe der Wärmepumpentechnologie ist es möglich die Umgebungswärme als Heizungswärme und zur Warmwasseraufbereitung in Gebäuden nutzbar zu machen. [Bi 2015]

¹ Die Heizgradtage sind eine Maßeinheit für die Ermittlung des Heizenergieverbrauchs eines Gebäudes in einer bestimmten Klimazone und örtlichen Begebenheit, die untereinander vergleichbar sind. Ausschlaggebend für die Länge der Heizperiode sind die definierten Heiztemperaturgrenzen. Als Heizgradtag wird deklariert, wenn es bei einer Außentemperatur von weniger als +12 °C und Innentemperatur von +20 °C das Gebäude beheizt werden muss (HGT_{20/12} nach ÖNORM B 8135). Alle Heizgradtage eines Jahres werden addiert und als Heizgradtage für die jeweilige Heizperiode definiert. [HGT 2017]

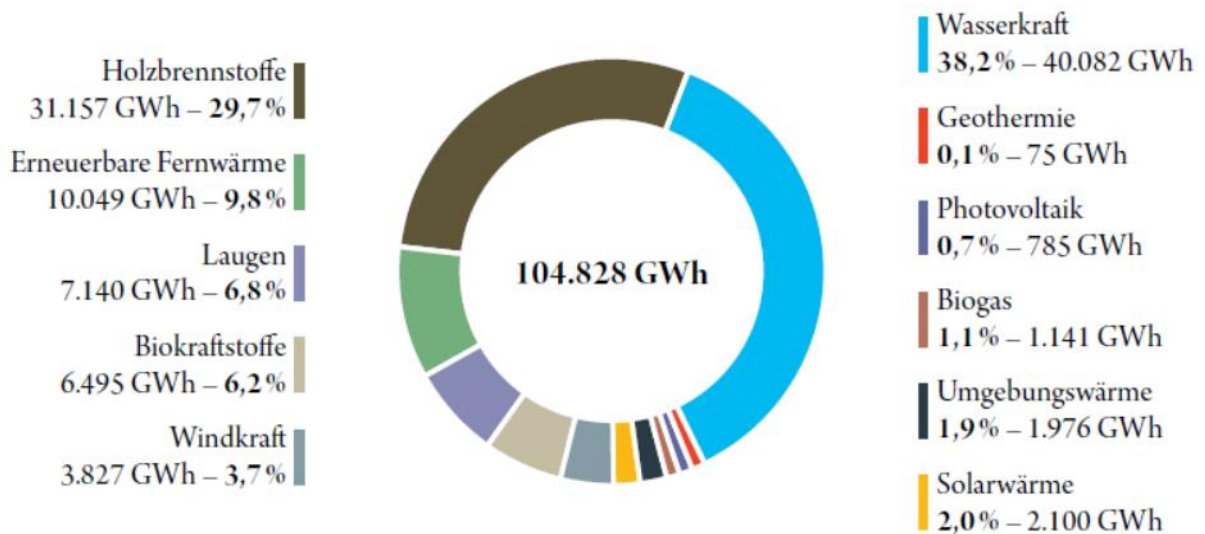


Abbildung 19: Anteile erneuerbarer Endenergie in Österreich im Jahr 2014 [Bi 2015]

Was bedeutet der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern für die Umwelt- und den Klimaschutz? Im Jahr 2014 konnten in Österreich 28,4 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent (t CO_{2äqu}) Emissionen durch die Verwendung von erneuerbare Energiequellen eingespart werden. Werden die Großwasserkraftwerke mit einer Leistung von 10 MW weggerechnet, wurde eine Emissionsreduktion von 16,5 Mio. t CO_{2äqu} bewirkt. Im Jahr 2104 wurden 9,6 Mio. t CO_{2äqu} Emissionen im Bereich des Wärmesektors vermieden. Davon trägt die Umweltwärme mit 4 % Anteilsvolumen mit 0,386 Mio. t CO_{2äqu} bei (siehe Abbildung 20). [Bi 2015]

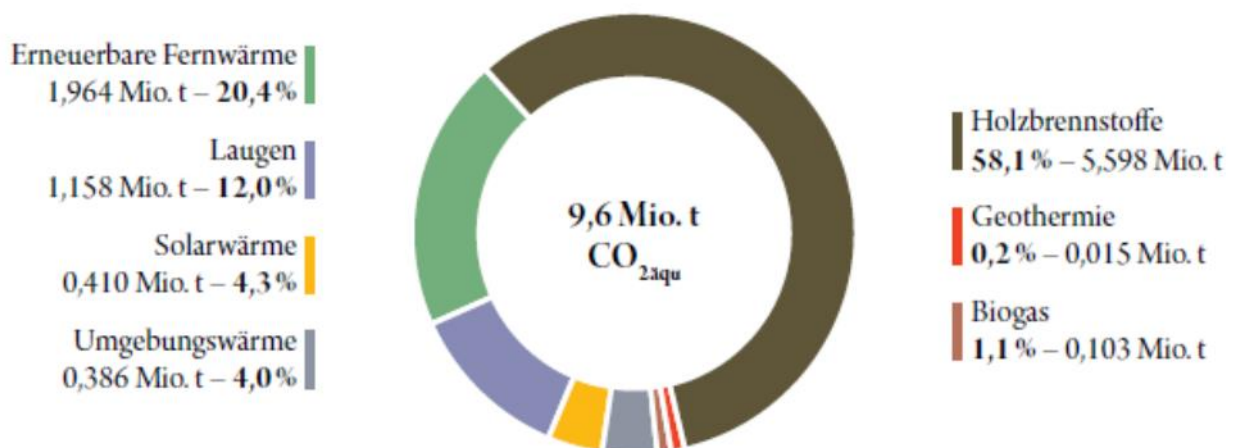


Abbildung 20: Vermiedene CO₂-Äquivalent Emissionen im Sektor Wärme 2014 [Bi 2015]

Der Bruttoinlandsverbrauch in Österreich lag im Jahr 2014 bei 1.380,8 PJ, davon sind 1.063,2 PJ als energetischer Endverbrauch zu bewerten. 237,5 PJ des Endenergieverbrauchs entfielen auf den Privathaushaltsektor. Der energetische Endverbrauch teilt sich in verschiedene Wirtschaftssektoren auf. Hierbei entsprach der Verkehr 33 % bis 35 %, die Industrie knapp 30 % und der private Haushalt 22 % bis 25 % des Gesamtverbrauchs. Der größte Teil des Verbrauchs in Privathaushalten wird der Wärmeerzeugung (inkl. Raumklimatisierung) und der Brauchwarmwasseraufbereitung (inklusive Kochen) zugeschrieben. Dieser Sektor unterliegt einer jahresabhängigen Wetterlage. Für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser stammten 28,8 % aus erneuerbaren Energieträgern, 24,4 % aus Gasthermen, 21,4 % aus der Fernwärme und 16 % aus Ölbrennern. Von der Statistik Austria ist zu entnehmen, dass in Österreich 2014 insgesamt 258.600 Stück Solar- und Wärmepumpenanlagen in Betrieb waren. [ES 2016]

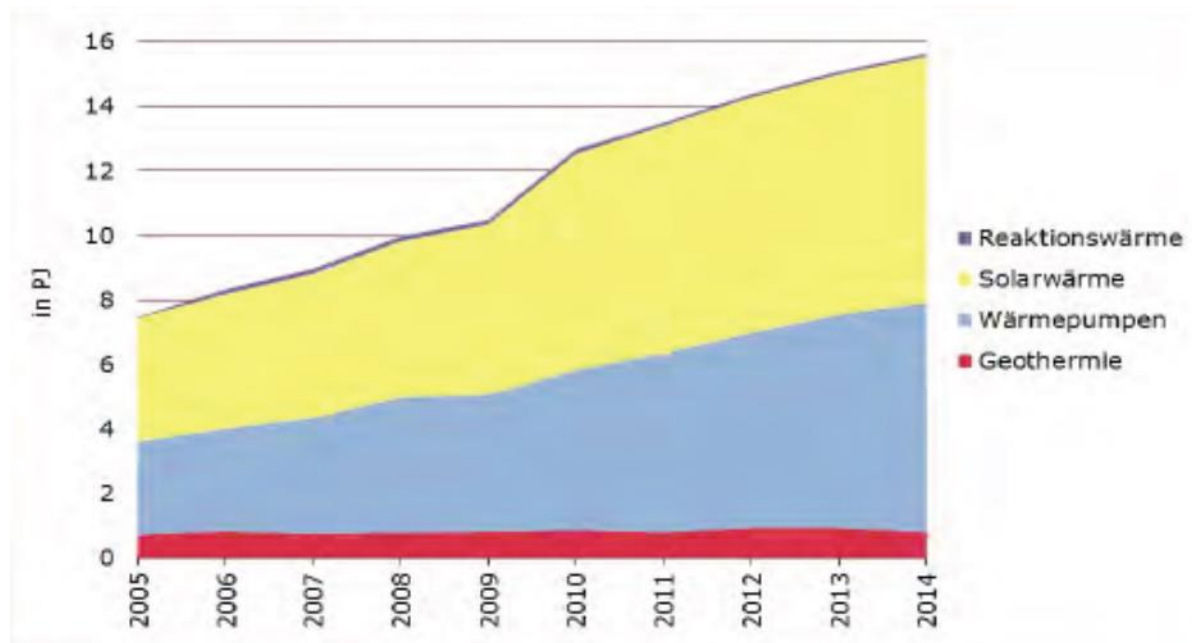


Abbildung 21: Inländische Erzeugung von Umweltenergie [ES 2016]

Es gibt verschieden erneuerbare Energieträger, aber das Hauptaugenmerk liegt hier bei der Umweltenergie. Im Jahr 2014 wies die Umweltenergie in Österreich 15,6 PJ auf. Unter der Bezeichnung Umweltenergie werden Wärmepumpenanlagen, solarthermische Anlagen, die Geothermie und die Reaktionswärme subsumiert. Den Hauptbestandteil der Umweltenergie nehmen die Solarwärme mit 49 %, die Wärmepumpe mit 45 % und die Geothermie mit 5 % ein (Abbildung 21). [ES 2016]

3.2 WÄRMEPUMPENMARKT

Der Gesamtabsatz von Wärmepumpen in Österreich (Inlandsmarkt und Exportmarkt) hält folgende Zahlen bereit:

- 28.959 Anlagen Wärmepumpen 2013 [IEÖMW 2014]
- 31.137 Anlagen Wärmepumpen 2014 [IEÖMW 2015]
- 32.931 Anlagen Wärmepumpen 2015 [IEÖMW 2015]

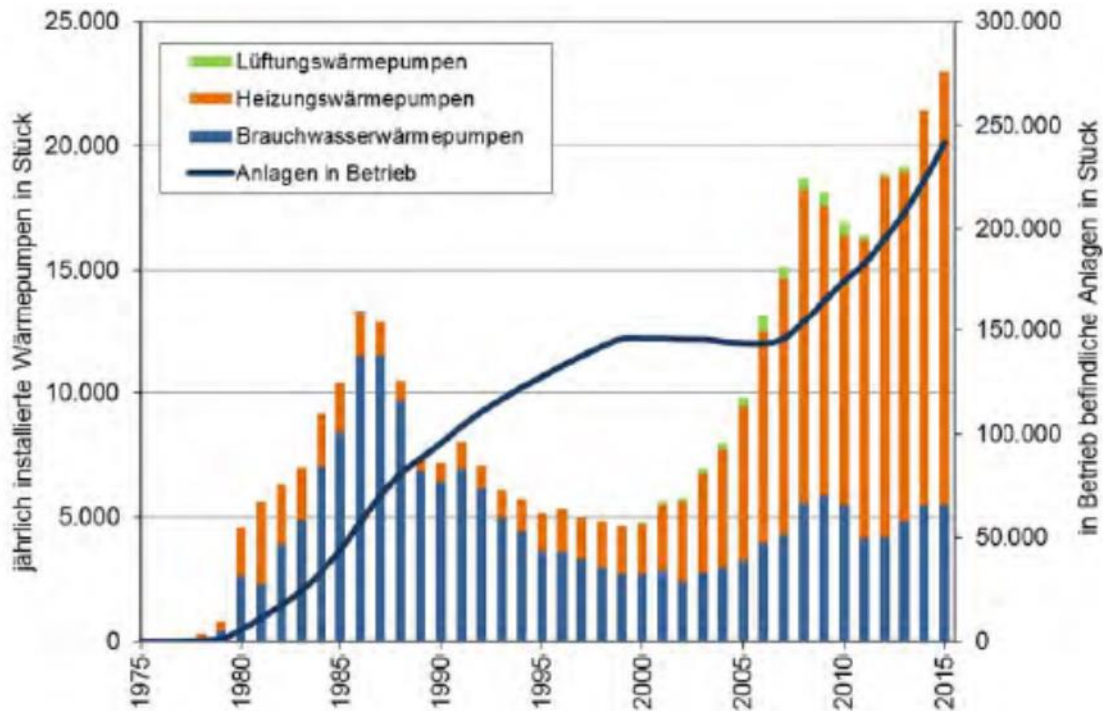


Abbildung 22: Die Marktentwicklung der Wärmepumpentechnologie in Österreich bis 2015, Quelle: EEG, [IEÖMW 2015]

Der Wirtschaftsbereich Wärmepumpenbranche (Produktion, Handeln und Installation) in Österreich machte im Jahr 2014 einen Gesamtumsatz von 245 Mio. Euro und im Jahr 2015 von 515 Mio. Euro aus. Durch den Einsatz von Wärmepumpen wurde im Jahr 2014 um die 504.290 Tonnen CO_{2äqu} Emissionen und im Jahr 2015 um die 560.980 Tonnen CO_{2äqu} Emissionen eingespart. [IEÖMW 2014] [IEÖMW 2015]

3.2.1 Der österreichische Inlandsmarkt

Im Jahr 2014 wurden 31.137 Anlagen und im Jahr 2015 bereits 32.931 Anlagen, ein Plus von 5,8 % in Österreich im Wärmepumpenmarkt (Inlandsmarkt plus Exportmarkt) verkauft. Es gab einen Zuwachs von 7,3 % für den Inlandsmarkt und 2,4 % für den Exportmarkt. Die größten Zuwächse im Inlandsmarkt finden bei kleinen Heizungs- und Brauchwasserwärmepumpen bis 10 kW mit rund 21,4 % und mit 12,2 % die Heizungs- und Brauchwasserwärmepumpen größer 20 kW bis 50 kW statt. In

den anderen Heizungswärmepumpenbereichen war der Marktumsatz gleichbleibend bis rückläufig. Im Bereich der Brauchwasserwärmepumpen konnte im Export ein Umsatzplus von 4,9 % erreicht werden. Der Gesamtabsatz des Exportmarktes im Jahr 2015 machte 30,2 % der gesamten Anlagen aus und war nur geringfügig kleiner als jener des Jahres 2014. [IEÖMW 2015]

Die Forschung und Entwicklung von Wärmepumpenanlagen geht in Richtung Kombinationsanlagen. Darunter wird die Kombination aus zwei verschiedenen Technologien wie Wärmepumpen mit solarthermischen Anlagen oder Photovoltaikanlagen verstanden. Die Wärmepumpen werden nicht nur zum Heizen sondern vermehrt auch zur Kühlung von Gebäuden genutzt. Große Wärmepumpenanlagen nutzen zunehmend auch Erdgas als Antriebsenergiequelle. Zudem kommt sukzessive der Einsatz von Smart Grids Systemen zu tragen. [IEÖMW 2015]

Um die aktuelle Marktsituation und Zukunftsentwicklung der Wärmepumpen in Österreich einzuschätzen wurden die österreichischen Wärmepumpenhersteller, Wärmepumpenlieferanten sowie die jeweiligen Förderungsstellen von Bund und Länder befragt. [IEÖMW 2015]

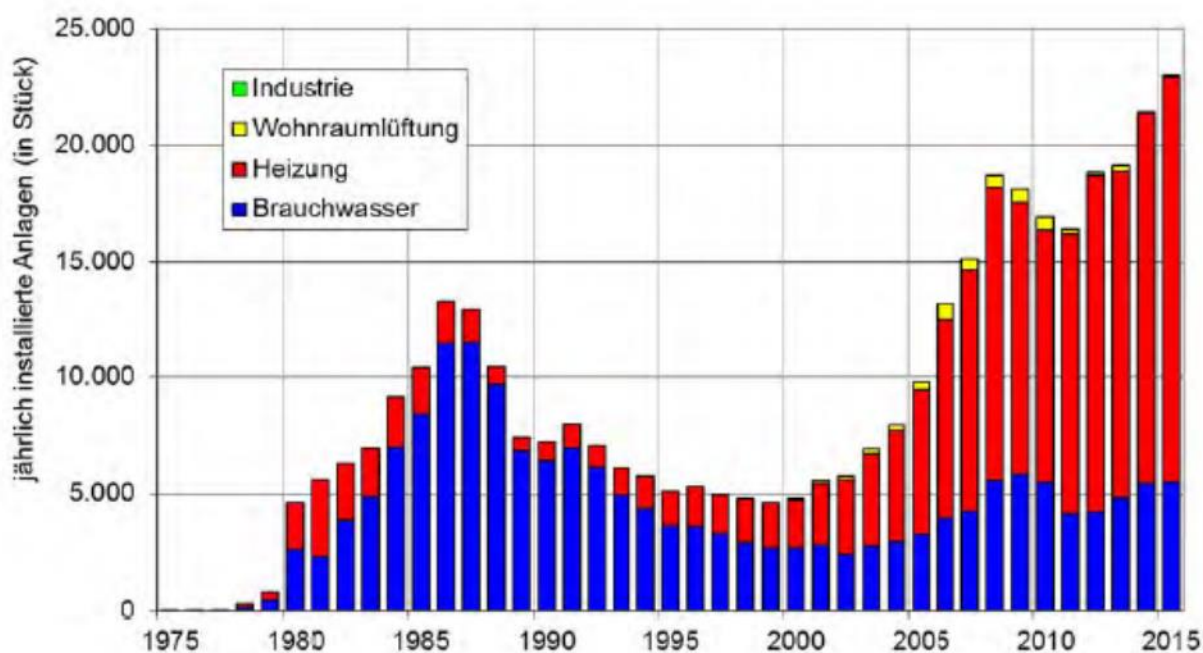


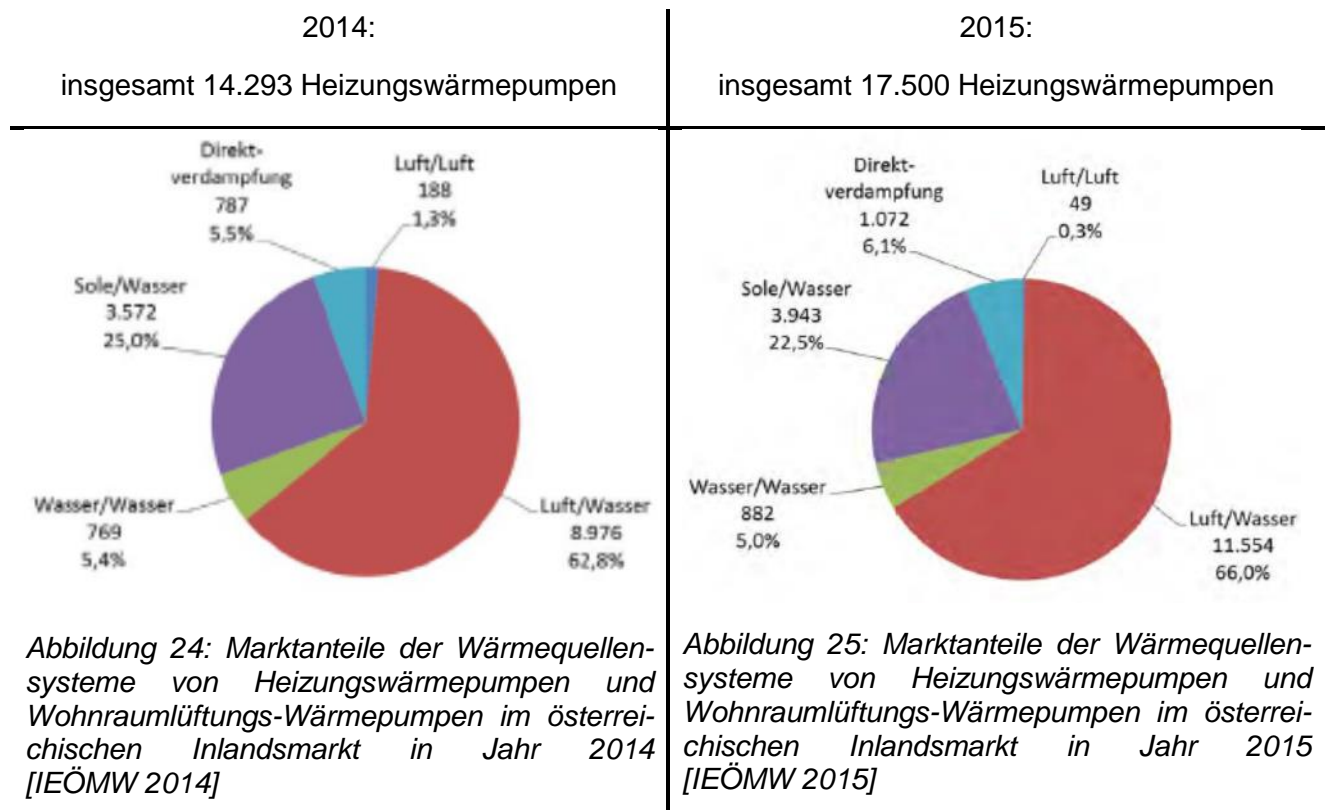
Abbildung 23: Entwicklung der Verkaufszahlen von Wärmepumpen in Österreich von 1975 bis 2015. Quellen: bis 2006: Faninger (2007), ab 2007: Biermayr et al. (2008 ff) [IEÖMW 2015]

In der Tabelle 4 ist die Verteilung der Verkaufte Heizungswärmepumpen nach Leistungsklassen und Wärmequellsystemen im österreichischen Inlandmarkt dargestellt. Bei der Betrachtung ist aufgefallen, dass ein starker Trend zu den Luft/Wasser Wärmequellsystemen in allen Leistungsklassen ersichtlich ist. [IEÖMW 2015]

Tabelle 4: Wärmepumpen-Inlandsmarkt nach Leistungsklassen und Wärmequellensystemen
[IEÖMW 2014] [IEÖMW 2015]

Leistungsklassen	Typ	Inlandsmarkt 2014 (Stück)	Inlandsmarkt 2015 (Stück)	Veränderung 2014/2015 (%)
bis 10 kW	Luft/Luft	188	49	-73,9
	Luft/Wasser	4.379	6.192	41,4
	Wasser/Wasser	227	255	12,3
	Sole/Wasser	1.476	1.574	6,6
	Direktverdampfung	299	364	21,7
	Summe	6.569	8.434	28,4
größer 10 kW bis 20 kW	Luft/Luft	0	0	0,0
	Luft/Wasser	4.254	4.892	15,0
	Wasser/Wasser	390	439	12,6
	Sole/Wasser	1.739	1.839	5,8
	Direktverdampfung	410	515	25,6
	Summe	6.793	7.685	13,1
größer 20 kW bis 50 kW	Luft/Luft	0	0	0,0
	Luft/Wasser	305	437	43,3
	Wasser/Wasser	101	148	46,5
	Sole/Wasser	290	443	52,8
	Direktverdampfung	78	173	121,8
	Summe	774	1.201	55,2
größer 50 kW	Luft/Luft	0	0	0,0
	Luft/Wasser	15	33	120,0
	Wasser/Wasser	49	40	-18,4
	Sole/Wasser	67	87	29,9
	Direktverdampfung	0	20	>
	Summe	131	180	37,4
alle Heizungs- Wärmepumpen (inkl. Wohnraum-lüftung)	Luft/Luft	188	49	-73,9
	Luft/Wasser	8.976	11.554	28,7
	Wasser/Wasser	769	882	14,7
	Sole/Wasser	3.572	3.943	10,4
	Direktverdampfung	787	1.072	36,2
	Summe	14.292	17.500	22,4

In der unten folgenden Tabelle sind die Stückzahlen und Marktanteile der unterschiedlichen Wärmequellsysteme des Jahrs 2014 und 2015 gegenübergestellt. [IEÖMW 2015]



Im österreichischen Inlandsmarkt haben die Wärmepumpenverkaufszahlen insgesamt zugenommen. Nur bei den Luft-Luft System gab es einen Installationsrückgang, alle andern Systeme wurden im Jahr 2015 gegenüber 2014 mehr gekauft. Der größte Anteil der Zunahme ist bei den Luft-Wasser Wärmepumpen deutlich zu erkennen. [IEÖMW 2015]

3.2.2 Der österreichische Exportmarkt

Der österreichische Exportmarkt für Wärmepumpen wies aufgrund der Wirtschafts- und Finanzkrise 2012 einen Rückgang auf. Seit dem Jahr 2014 und 2015 erholt sich dieser Wirtschaftssektor langsam mit einem schwachen aber konstanten Wachstum. Insgesamt wurden 9.858 Wärmepumpen im Jahr 2014 und 9.931 Stück im Jahr 2015 exportiert. [IEÖMW 2015]

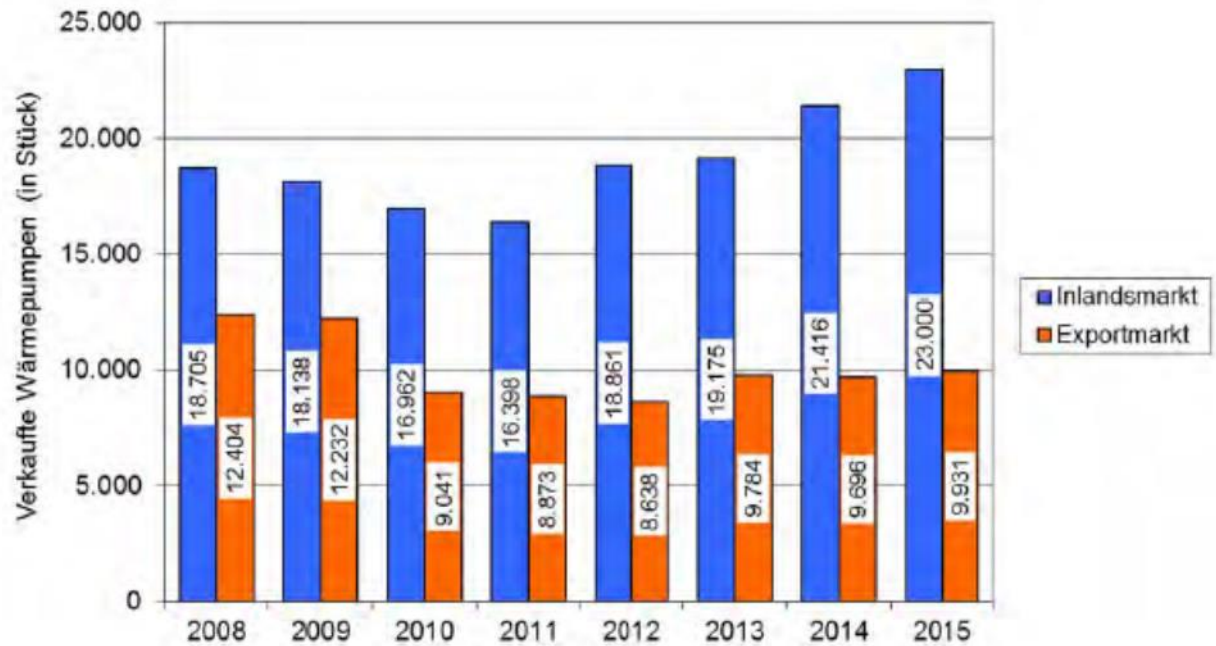


Abbildung 26: Inlandsmarkt und Exportmarkt für Wärmepumpen (alle Kategorien und Leistungsklassen) für die Jahre 2008 bis 2014. Quelle: Biermayr et.al. (2008 ff) [IEÖMW 2015]

Die wesentlichen Handelspartner für den Export von österreichischen Wärmepumpenproduzenten oder Wärmepumpenhandelsunternehmen im Jahr 2014 waren [IEÖMW 2015]:

1. Deutschland
2. Russland
3. Großbritannien
4. Italien

Es erfolgten auch Exporte nach: Liechtenstein, Bulgarien, Ungarn, Rumänien, Slowenien, Belgien, Niederlande, Luxemburg, Balkanstaaten, Schweiz, Tschechien, Ukraine, Kroatien Italien, Polen, Irland, Schweiz, Belgien sowie Slowenien. [IEÖMW 2015]

3.3 FÖRDERUNG VON WÄRMEPUMPEN

Die unterschiedlichen Modelle der Förderung der Wärmepumpen in Österreich aus öffentlichen Mitteln werden in diesem Kapitel eingehend behandelt. Es werden dabei die bundesspezifischen Subventionen und die von den Energieunternehmen gewährten Unterstützungen dargestellt.

Als Grundlage dienen die Förderlisten vom Wärmepumpen Verband Austria vom Stand 16. Jänner 2017. Es ist darauf hinzuweisen, dass alle Angaben ohne Gewähr und Anspruch auf Vollständigkeit gemacht wurden und die Förderregelung einer ständigen Weiterentwicklung unterliegt. [WPAF 2017]

Der Bund fördert bei Betrieben Wärmepumpen mit einem Zuschuss von bis zu 30 % der förderfähigen Kosten mit dem Vermerk „technologie- und leistungsabhängig“. [WPAF 2017]

Begrenzung der förderfähigen Kosten [WPAF 2017]:

- 30 % auf Anlagen < 400 kWth,
- 15 % auf Anlagen > 400 kWth.

Des Weiteren werden auch private Sanierungen mit einer Fördersumme bis zu 30 % der förderfähigen Kosten (bis zu max. € 6.000,-) vom Bund subventioniert. [WPAF 2017]

Das Bundesland Burgenland stützt die Wärmepumpen im Bereich der Sanierung und Neubaus mit einer Fördersumme von € 1.500,- bis max. € 2.600,- (Heizungswärmepumpen). Warmwasserwärmepumpen erhalten € 300,- bis max. € 600,-, je nach System (Unterscheidung der Energiequelle: Luft, Erde oder Wasser). [BGL 2017]

In Oberösterreich erhalten Neubauten und Neuanlagen eine Fördersumme von € 1.000,- (Stufe1) bzw. € 1.700,- (Stufe2). Des Weiteren wird die Umstellung von Heizungssystemen mit fossilen Brennstoffen auf Wärmepumpen mit einer Fördersumme von € 1.500,- (Stufe1) bzw. € 2.200,- (Stufe2) unterstützt. Wird eine alte Wärmepumpe durch eine neue Wärmepumpe ersetzt, wird eine Summe von € 500,- in diesem Bundesland ausgegeben. [OOE 2017]

Damit die Förderung ausbezahlt wird, müssen folgende Kriterien erfüllt werden [OOE 2017]:

- (Stufe1) Jahresarbeitszahl JAZ ≥ 4 bzw. $\geq 3,5$ bei Luftwärmepumpe
- (Stufe 2) Jahresarbeitszahl JAZ $\geq 4,5$

Zusätzlich unterstützt die Stadt Linz bei Neubau und Sanierung die Wärmepumpe mit einem Betrag von bis zu € 2.050,- bei Wärmepumpen ohne Wasseraufbereitung und € 1.675,- bei Wärmepumpen mit Warmwasseraufbereitung. Bei nachgewiesener Jahresarbeitszahl von

3,8 wird die Förderung ausbezahlt. Warmwasser-Wärmepumpen erhalten € 360,- als Pauschalzuschuss. [StLi 2017]

Das Land Salzburg gewährt bei Wärmepumpen einen max. Zuschuss von € 2.000,-, welcher auf max. 30 % der förderrelevanten Investitionskosten beschränkt ist. Die Jahresarbeitszahl JAZ der Wärmepumpe muss allerdings größer 3,0 sein um eine Subvention zu erhalten. [SLZ 2017]

Das Bundesland Steiermark unterstützt die Wärmepumpe mit einer Summe von max. € 600,- je kW Heizlast. Wird das Wärmeabgabesystem auf Niedertemperatur umgestellt (wie z.B. Fußboden- und Wandheizung), dann gibt es eine Fördersumme von max. € 1.200,- je kW Heizlast, aber nur in Kombination mit der Verwendung einer Wärmepumpe. Als Bedingung muss die Leistungsarbeitszahl $JAZ \geq 4,0$ bei Heizbetrieb bzw. $JAZ \geq 3,5$ bei Heizbetrieb in Kombination mit Warmwasseraufbereitung entsprechen. [STM 2017]

In Vorarlberg werden die Wärmepumpen in Neubauten und Sanierung mit einer Basisförderung von € 1.500,- subventioniert (max. 25 % der förderfähigen Kosten). Bonusstufe 1 wird mit € 2.000,- (max. 30 % der förderfähigen Kosten) und Bonusstufe 2 wird mit € 3.500,- (max. 35 % der förderfähigen Kosten) gewährt. Die Jahresarbeitszahl JAZ muss im Heizbetrieb mindestens 4,0 und beim kombinierten Heiz- und Warmwasseraufbereitungsbetrieb die Jahresarbeitszahl JAZ min. 3,5 erreichen. Beim Umstieg von Öl-Zentralheizungen oder Elektrodirektheizungen in Altbauten ist eine zusätzliche Subvention von € 2.500,- vorgesehen. [VAB 2017]

In Niederösterreich erfolgt die Höhe des Zuschusses mit der Berechnung mittels eines 100 Punktesystems nach bestimmten Kriterien. Es werden elektrisch betriebene Wärmepumpenanlagen unterstützt, mit einer Leistungszahl $COP \geq 3,5$ und die mit dem Qualitätsgütesiegel der EHPA versehen sind. Förderfähige Brauchwasser-Wärmepumpen müssen einer Leistungszahl $COP \geq 3,0$ entsprechen und das EHPA Qualitätsgütesiegel aufweisen. [NOE1 2017] [NOE2 2017]

Tabelle 5: Förderliste der Länder und Städte, Teil1

Land/Stadt	Heizungs-Wärmepumpen	Brauchwasser-Wärmepumpen	Bedingung
Bund	technologie- und leistungsabhängig Anlagen < 400 kW _{th} auf 30 % der förderfähigen Kosten Anlagen > 400 kW _{th} auf 15 % der förderfähigen Kosten		
Burgenland	€ 1.500,- bis max. € 2.600,- (max. 30 % der anfallenden Kosten) Hybrid-WP oder bivalent betriebene WP: € 800,- bis max. € 1.600,- (max. 30 % der anfallenden Kosten)	€ 300,- bis max. € 600,-	JAZ min 4,0
Oberösterreich	Neubau: € 1.000,- Umstellung von fossilen Altanlagen: € 1.500,- Erneuerung WP: € 500,-	---	JAZ min 4,0 bzw. JAZ min 3,5 bei Luft-WP
	Neubau: € 1.700,- Umstellung von fossilen Altanlagen: € 2.200,- Erneuerung WP: € 500,-	---	JAZ min 4,5
Stadt Linz	max. € 1.675,- mit Warmwasseraufbereitung max. € 2.050,- ohne Warmwasseraufbereitung	€ 360,-	JAZ min 3,8

Tabelle 6: Förderliste der Länder und Städte, Teil2

Land/Stadt	Heizungs-Wärmepumpen	Brauchwasser-Wärmepumpen	Bedingung
Salzburg	€ 2.000,- (max. 30 % der gesamten förderrelevanten Investitionskosten)	---	JAZ größer 3,0 Sole/Wasser-WP: COP 4,6 Direktverdampfung/Wasser-WP: COP 5,1 Wasser/Wasser-WP: COP 5,8 Luft/Wasser-WP: COP 3,6 mit EHP Qualitätsgütesiegel
Steiermark	max. € 600,- je kW Heizlast, bei Anpassung des Wärmeabgabesystems auf Niedertemperatur max. € 1.200,- nur in Kombination mit Wärmepumpe		Heizung $JAZ_{Heizung} \geq 4,0$ Raumwärme und Warmwasser $JAZ_{Gesamt} \geq 3,5$
Vorarlberg	Basisförderung: €1.500,- (max. 25 % der Kosten) Bonusstufe 1: € 2.000,- (max. 30 % der Kosten) Bonusstufe 2: € 3.500,-(max. 35 % der Kosten) Ersetzung der Altanlage (Öl, Gas oder Elektrodirektheizung): € 2.500,-		Heizung JAZ min. 4,0 Raumwärme und Warmwasser JAZ min. 3,5
Niederösterreich	Wohnbauförderungsdarlehen mit 100 Punkte- System		Heizung WP: $COP \geq 3,5$ und EHPA Qualitätsgütesiegel Brauchwasser-WP: $COP \geq 3,0$ und EHPA Qualitätsgütesiegel

Verschiedene Energieversorger unterstützen ebenfalls den Einbau von elektrisch betriebenen Wärmepumpen, zumeist in Form einer Rechnungsgutschrift für jene Kunden, die auch den Strom bei ihnen beziehen. Nur die VKW gewährt in Österreich eine direkte Einmalzahlung dem geförderten Wärmepumpenbesitzer auf deren Konto. [WPAF 2017]

Die Energie AG subventioniert Wärmepumpen mit € 250,- im Neubaubereich, € 500,- in der Altbausanierung und € 750,- in unsanierten Bestandsgebäuden. Die Förderung wird im Zuge des Energieeffizienzgesetzes gewährt, ansonsten wird max. € 250,- als Rechnungsgutschrift erstattet. Zusätzlich werden Brauchwasserwärmepumpen mit € 150,- in Form von Rechnungsgutschrift ausgestellt. [EAG 2017]

Die Enamo sieht eine Förderung von Brauchwasserwärmepumpen mit € 150,- vor, allerdings nur im Netzgebiet der Linz AG und Energie AG. Wärmepumpen bei Neubauten erhalten eine Fördersumme von € 250,-, im sanierten Altbau € 500,- und im unsanierten Bestand € 750,-

im Zuge des Energieeffizienzgesetzes, sonst gibt es max. € 250,-. Alle Förderungen werden mittels Rechnungsgutschrift abgegolten. [ENA 2017]

Die Linz AG lockt mit € 250,- für den Einbau von Wärmepumpenanlagen im Neubaubereich im sanierten Bestand mit € 500,- und in den unsanierten Bestandsgebäuden mit € 750,- im Zuge des Energieeffizienzgesetzes, sonst gibt es nur max. € 250,-. Der geförderte Betrag wird in den darauffolgenden 5 Jahren auf der Jahresabrechnung gutgeschrieben. [LAG 2017]

Der Energieversorger KELAG in Kärnten subventioniert die Heizungswärmepumpen mit € 500,- und bei Brauchwasserwärmepumpen mit € 160,-. Die subventionierte Fördersumme wird auf vier Jahre in der Stromrechnung berücksichtigt. Als KELAG Power Partner wird die Heizungswärmepumpen mit einem Förderbetrag von € 750,- und bei Brauchwasserwärmepumpen € 240,- honoriert. Auch hier wird eine Gutschrift auf vier Jahre auf die Energierechnung ausgestellt. [KEL1 2017] [KEL2 2017]

Bei Energie Burgenland erhalten Komfortkunden € 120,- bzw. Premiumkunden € 240,- bei Installation von einer Wärmepumpenheizung. Dieser Betrag wird auf die nächsten drei Jahre aufgeteilt und bei der Jahresrechnung berücksichtigt. [EBG1 2017] [EBG2 2017]

Die TIWAG in Tirol fördert Wärmepumpenanlagen mit einer Rechnungsgutschrift über einen Zeitraum von fünf Jahren mit pauschal € 500,- in Neubauten und € 1.000,- bei Bestandswohngebäuden. Die Brauchwasserwärmepumpen werden mit € 150,- pauschal subventioniert. Dies gilt nur für das Netzgebiet der TINET. [TIW 2017]

Das Energieversorgungsunternehmen Salzburg AG Sonnenbonus hat für Wärmepumpen in Neubauten mit € 800,-, für Bestandsgebäude mit € 800,- vorgesehen. In Kombination mit thermischer Sanierung (Fenstertausch, Dämmung der Gebäudehülle) kommen noch zusätzlich € 500,- hinzu, das ergibt eine max. Fördersumme von bis zu € 1.300,-. [SAG 2017]

Der Energieversorger VKW fördert die Installation von Wärmepumpen mit € 500,-. Die Fördersumme wird direkt mit einer einmaligen Überweisung auf das Konto des Wärmepumpenbesitzers ausbezahlt. [VKW 2017]

Tabelle 7: Förderliste der Energieversorgungsunternehmen

EVU's	Wärmepumpe im Neubau	Wärmepumpe im Altbau saniert	Wärmepumpe im Altbau unsaniert	Brauchwasser-Wärmepumpen	Förderart
Energie AG	€ 250,-	€ 500,-	€ 750,-	€ 150,-	Rechnungsgutschrift
Enamo	€ 250,-	€ 500,-	€ 750,-	€ 150,-	Rechnungsgutschrift
Linz AG	€ 250,-	€ 500,-	€ 750,-	€ 150,-	Rechnungsgutschrift aufgeteilt auf 5 Jahre
KELAG	€ 500,-			€ 160,-	Rechnungsgutschrift aufgeteilt auf 4 Jahre
KELAG Power Partner	€ 750,-			€ 240,-	Rechnungsgutschrift aufgeteilt auf 4 Jahre
Energie Burgenland Komfort Kunde	€ 120,-			---	Rechnungsgutschrift aufgeteilt auf 3 Jahre
Energie Burgenland Premium Kunde	€ 240,-			---	Rechnungsgutschrift aufgeteilt auf 3 Jahre
TIWAG	pauschal € 500,-	pauschal € 1000,-		pauschal € 150,-	Rechnungsgutschrift aufgeteilt auf 5 Jahre
Salzburg AG Sonnen Bonus Plus	€ 800,-	€ 1300,-	€ 800,-	---	Rechnungsgutschrift
VKW	€ 500,-			---	einmalige Konto-Überweisung

Nachfolgend werden die geförderten Wärmepumpenanlagen in Österreich aus dem Jahr 2015 im Überblick dargestellt. Die Länder (Wohnbauförderungsstellen) und Energieversorgungsunternehmen (EVU) fördern den Einbau von Wärmepumpen im Bereich Neubau und der Altbausanierung. Die Kommunalkredit Public Consulting GmbH (KPC) übernimmt den gewerblichen Bereich der Wärmepumpenförderung. Bei den Förderinstrumenten handelt es sich in den meisten Fällen um nicht rückzahlbare Investitionszuschüsse. Es kann sich aber auch in einigen seltenen Fällen um Annuitätenzuschüsse oder geförderte Wohnbaurdarlehen handeln. In der Tabelle 8 sind die Rechercheergebnisse des Jahres 2015 bezüglich der Wärmepumpenförderung in Österreich dargestellt. Die hier aufgeführte Wärmepumpenanzahl lässt nicht darauf schließen, ob diese Anlagen bereits alle im Jahr 2015 den Betrieb aufnahmen. Des Weiteren existieren auch Wärmepumpenanlagen die von Energieversorgungsunternehmen gefördert wurden. Da diese nicht öffentlich dokumentiert sind, werden sie nicht systematisch erfasst und scheinen daher in der Statistik nicht auf. Es wird angenommen, dass ca. 2/3 aller neu installierten Wärmepumpen im österreichischen Inlandsmarkt ohne Förderung installiert worden sind. Im Datenjahr 2015 haben die Förderstellen des Landes in Summe 5.261 Heizungswärmepumpen und 1.241 Brauchwasserwärmepumpen erfasst. Dies entspricht einer Gesamtfördersumme von mehr als € 11,3 Mio. Euro. Von Seiten der KPC

wurden 105 Stück Wärmepumpenanlagen mit einer Gesamtsumme von ca. € 1,1 Mio. Euro finanziert. Die Fördersumme betrug 2015 ca. € 12,5 Mio. Euro. [IEÖMW 2015]

Tabelle 8: Wärmepumpenförderung auf Landesebene und KPC im Jahr 2015 [IEÖMW 2015]

Land	Landesförderungen 2015			KPC 2015		Total 2015	
	WW-WP	HZ-WP	Förderung	WP	Förderung	WP	Förderung
	Stück	Stück	Euro	Stück	Euro	Stück	Euro
Burgenland	425	345	647.384	2	2.722	772	650.106
Kärnten	35	238	517.763	2	3.405	275	521.168
Niederösterreich	781	2.404	5.589.000	23	153.196	3.208	5.742.196
Oberösterreich	0	1.637	2.150.000	36	216.001	1.673	2.366.001
Salzburg	0	136	454.562	12	115.252	148	569.814
Steiermark	0	77	345.654	4	71.418	81	417.072
Tirol	0	255	917.595	14	97.510	269	1.015.105
Vorarlberg	0	167	581.071	11	173.924	178	754.995
Wien	0	2	134.400	1	294.526	3	428.926
Gesamt	1.241	5.261	11.337.429	105	1.127.954	6.607	12.465.383

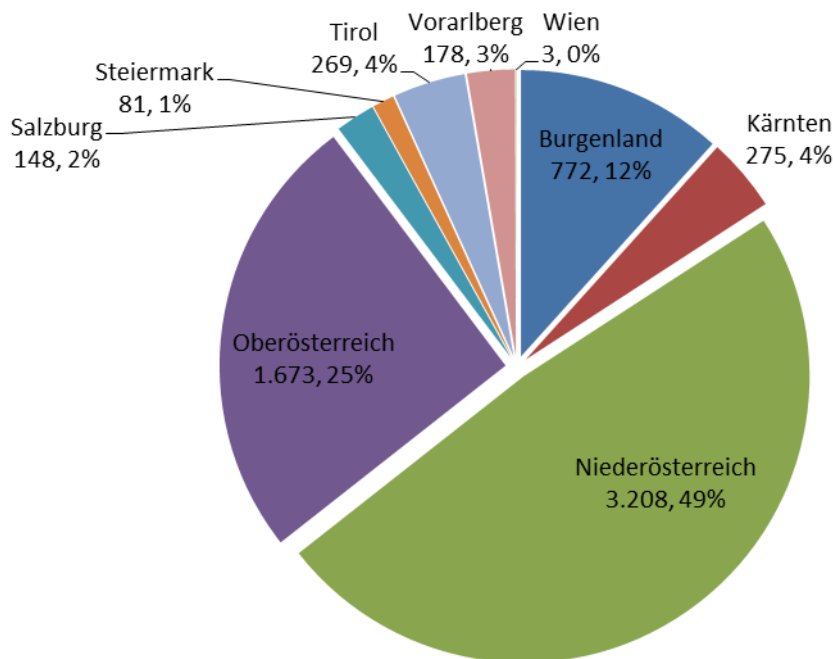


Abbildung 27: Anzahl und Prozentverteilung der geförderten Wärmepumpenanlagen durch die Länder und die KPC [IEÖMW 2015]

In der Abbildung 27 sind die Verteilungszahl der geförderten Wärmepumpenanlagen auf die einzelnen Bundesländern dargestellt. Aus der Grafik geht das Land Niederösterreich mit 49 % mit dem größten Anteil hervor, gefolgt vom Bundesland Oberösterreich mit 25 %, und Burgenland mit 12 % der geförderten Wärmepumpenanlagen in Österreich. [IEÖMW 2015]

4 AKTUELLER STAND VON WÄRMEPUMPEN IN DER EUROPÄISCHEN UNION

4.1 ANALYSE DES RAUMWÄRMEBEDARFS

In diesem Kapitel wird der Raumwärmebedarf der Europäischen Union analysiert. Laut Tabelle 9 betrug der energetische Endverbrauch der 28 EU-Staaten 1.061,7 Mtoe (Mega Tonnen Öl-Einheit), umgerechnet sind das 44,45 PJ im Jahr 2104. [Eurostat 2]

Tabelle 9: Energetischer Endverbrauch der EU-28 Staaten 2014 [Eurostat 2]

Staat	Energetischer Endverbrauch 2014 (Mtoe)	EU-28 Anteil 2014 (%)
Belgien	34,0	3,2%
Bulgarien	9,0	0,8%
Tsch. Republik	23,0	2,2%
Dänemark	13,5	1,3%
Deutschland	208,9	19,7%
Estland	2,8	0,3%
Irland	10,8	1,0%
Griechenland	15,6	1,5%
Spanien	79,2	7,5%
Frankreich	141,7	13,4%
Kroatien	6,2	0,6%
Italien	113,4	10,7%
Zypern	1,6	0,2%
Lettland	3,9	0,4%
Litauen	4,8	0,5%
Luxemburg	4,0	0,4%
Ungarn	15,4	1,4%
Malta	0,5	0,1%
Niederlande	47,3	4,5%
Österreich	26,8	2,5%
Polen	61,6	5,8%
Portugal	15,8	1,5%
Rumänien	21,7	2,0%
Slowenien	4,6	0,4%
Slowakei	10,1	0,9%
Finnland	24,4	2,3%
Schweden	31,2	2,9%
Großbritannien	129,8	12,2%
EU-28	1.061,7	100,0%

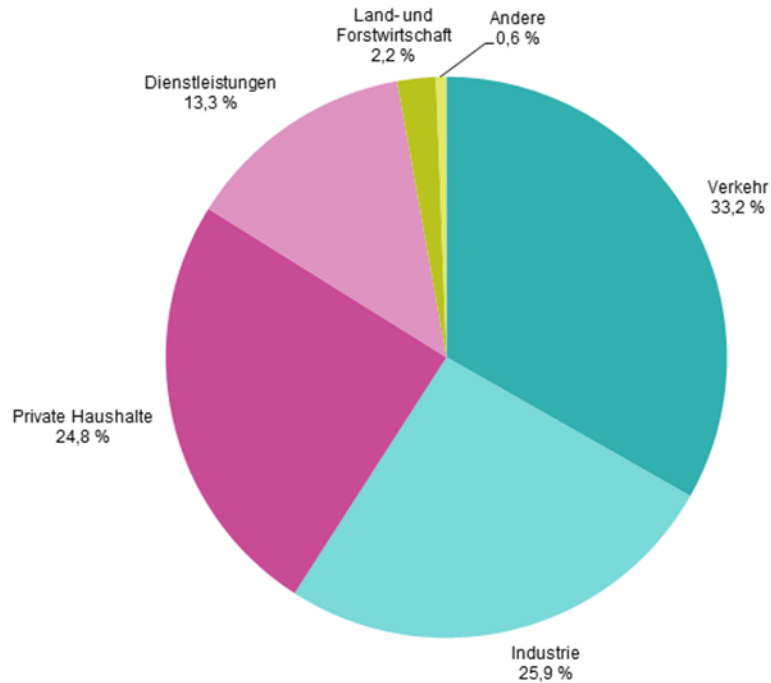


Abbildung 28: Energetischer Endverbrauch der EU-28 Staaten nach Sektoren 2014 [Eurostat 2]

Abbildung 28 zeigt die Sektorenverteilung des Endenergieverbrauches der EU-28 Staaten. Mit 24,8 % (263,222 Mtoe = 11,02 PJ) stellen die Privathaushalte auch hier den drittgrößten Verbrauchsbereich dar. [Eurostat 2]

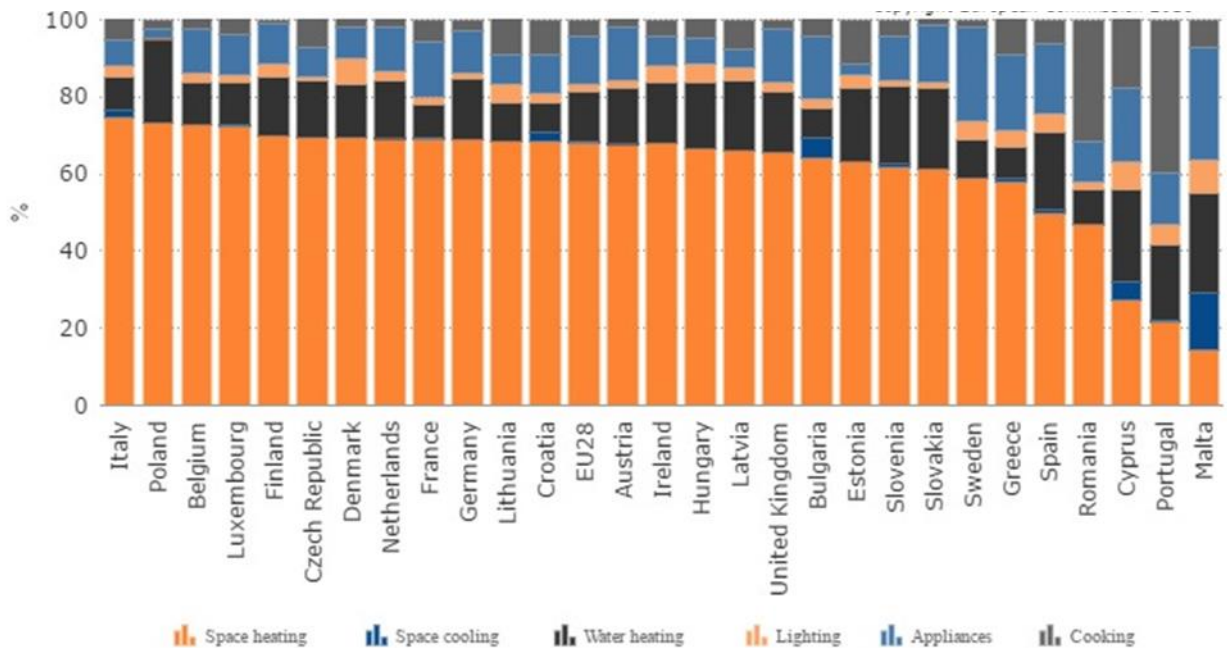


Abbildung 29: Endenergieverbrauch in Privatwohngebäuden 2013 [ECBF 2017]

Den größten Anteil des energetischen Endverbrauchs in Privathaushalten in den EU-28 Staaten wurde im Jahr 2013 mit 68 % der Raumwärmeerzeugung (Space heating) beziffert (siehe Abbildung 29). Im Großteil der Länder in der Europäischen Union beträgt die Raumheizung 60 % bis 80 % des privaten Endenergieverbrauchs. In den südlichen EU Ländern wie Malta, Zypern und Portugal liegt dieser Anteil unter 30 %. In Spanien und Rumänien werden 50% benötigt. An zweiter Stelle des energetischen Endverbrauchs in der EU-28 liegt mit 13 % Anteil die Warmwasseraufbereitung (Water heating). Es folgt mit 12 % der Bereich der elektrischen Geräteanwendungen (Appliances), danach mit 5 % das Kochen (Cooking) und mit 2 % die Beleuchtung (Lighting) im Privathaushaltssektor. [ECBF 2017]

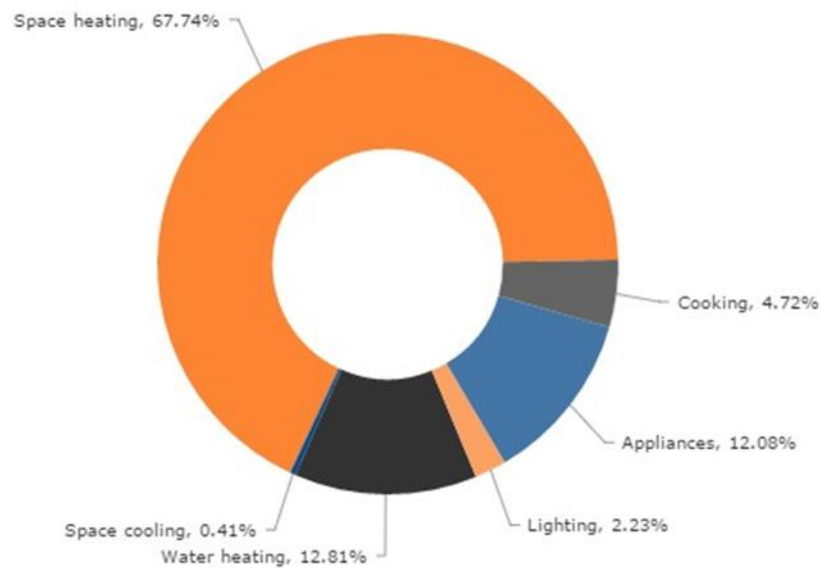


Abbildung 30: Europäischer Wohnenergieverbrauch nach Funktionen 2013 [ECBF 2017]

67,74 % des Energieverbrauchs in europäischen Wohnungen wurden im Jahr 2013 für die Beheizung der Räume (Space heating) benötigt (Abbildung 30). Für den Energieverbrauch sind der Wärmebedarf und das technische System verantwortlich. Den Wärmebedarf kann durch technische Maßnahmen wie Dämmung des Gebäudes bzw. Wohnung und durch eine richtige Bedienung beeinflusst werden. [ECBF 2017]

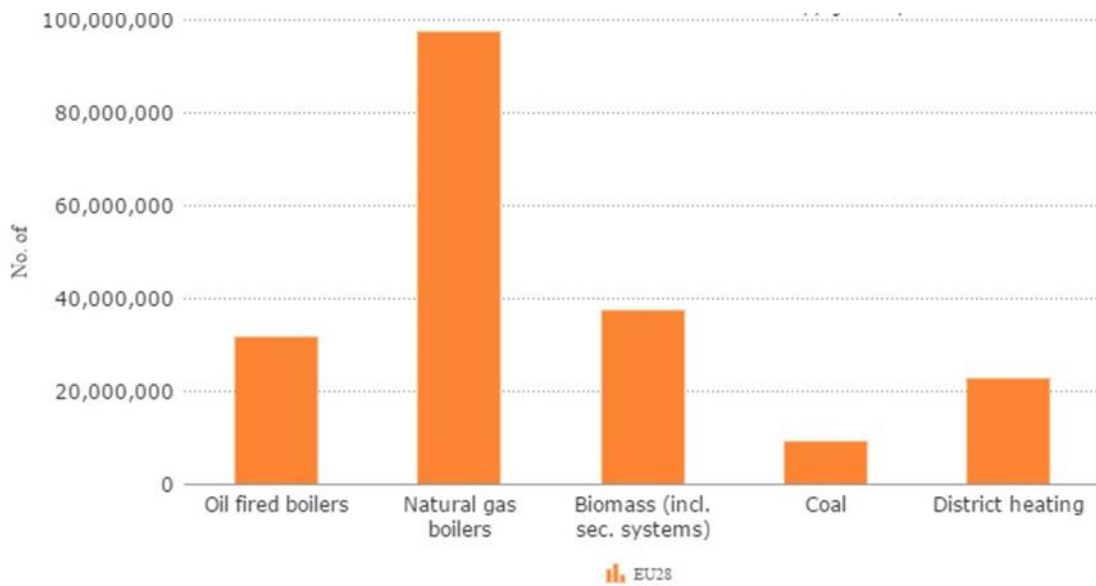


Abbildung 31: Raumheizungsanlagen in Europa (2010) [ECBF 2017]

In Europa existieren ca. 244 Mio. Wohnungen davon werden 221 Mio. mit separaten Raumwärmesystemen versorgt. In der Abbildung 31 sind die verschiedenen Heizungsanlagen systeme in Europa aus dem Jahr 2010 dargestellt. Aus der Grafik ist zu entnehmen, dass der Großteil der Gebäude mit Erdgasthermen beheizt wird. Gefolgt von Biomasseanlagen, die vor allem bei Häusern eingesetzt werden. In Europa gibt es schätzungsweise 23 Mio. Wärmepumpenanlagen und davon sind 22 Mio. Luftwärmepumpen. 19 Mio. Luftwärmepumpen werden auch zur Kühlung benutzt (reversible Luftwärmepumpen). 1 Mio. Erdwärmepumpen in Europa sind hauptsächlich für die Raumwärmebeheizung in Betrieb. [ECBF 2017]

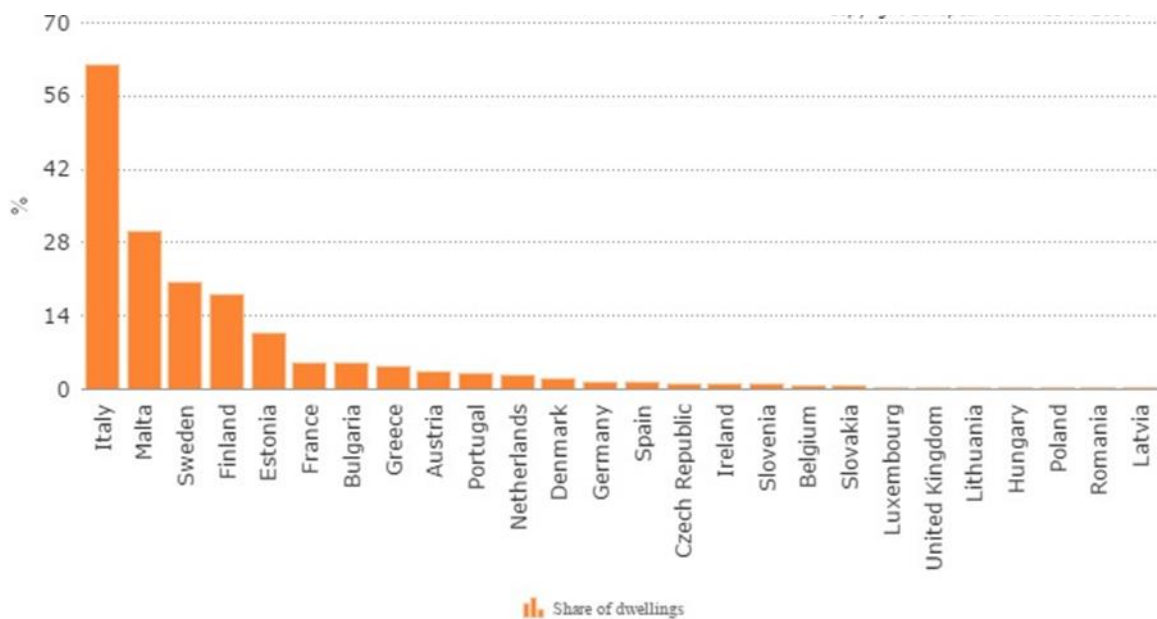


Abbildung 32: Verteilung der Wohnungs-Wärmepumpen im Jahr [ECBF 2017]

Der überwiegende Anteil an Wärmepumpen sind in Italien, Malta Schweden und Finnland zu finden. Diese Länder gelten in der Europäischen Union als Vorreiter der Wärmepumpentechnologie (siehe Abbildung 32). In Italien und Malta werden die meisten umkehrbaren Luftwärmepumpen, die hauptsächlich zur Kühlung Verwendung finden, verkauft. Die Wärmepumpen die ausschließlich zum Heizen genutzt werden sind in Schweden und Finnland aktiv. [ECBF 2017]

4.2 WÄRMEPUMPENMARKT

Dieser Abschnitt behandelt den Stand der Wärmepumpen in der Europäischen Union für die Jahre 2015 und 2016. Es werden dabei Wärmepumpenanlagen behandelt die zum Heizen von Gebäuden verwendet werden, die Brauchwasser-Wärmepumpen werden in den jüngsten Statistiken ab 2016 nicht mehr erfasst. [EurOb 2016]

Nachfolgend werden die Wärmepumpen nach Arten der Wärmequelle, der Heizelemente und der Anwendungsart unterschieden. Es gibt drei unterschiedliche Arten von Wärmequellen und diese sind Erde, Wasser und Luft. Bei den verwendeten Heizelementen kann es sich um Gebläse-Konvektoren, Fußbodenheizungen, Niedrig- oder Hochtemperaturheizkörper handeln. Wärmepumpen werden nicht nur zu Heizungszwecken, sondern auch für Kühlanwendungen von Gebäuden eingesetzt. [EurOb 2015]

Die Einteilung der Wärmepumpen erfolgt in folgende Kategorien [EurOb 2015]:

- Erdwärmepumpen: Diese entziehen der Erde die Wärme
- hydrothermale Wärmepumpen: Entzug der Wärme aus dem Wasser
- Luftwärmepumpe: Diese Technologie nutzt die Luft als Energiequelle

In den Statistiken werden die hydrothermalen Wärmepumpen und die Erdwärmepumpen zusammen als geothermale Wärmepumpen angeführt, dies ist in der Abbildung 33 zu erkennen. [EurOb 2015]

Aerothermal and geothermal heat pump park in function in European Union in 2014 (installed units).

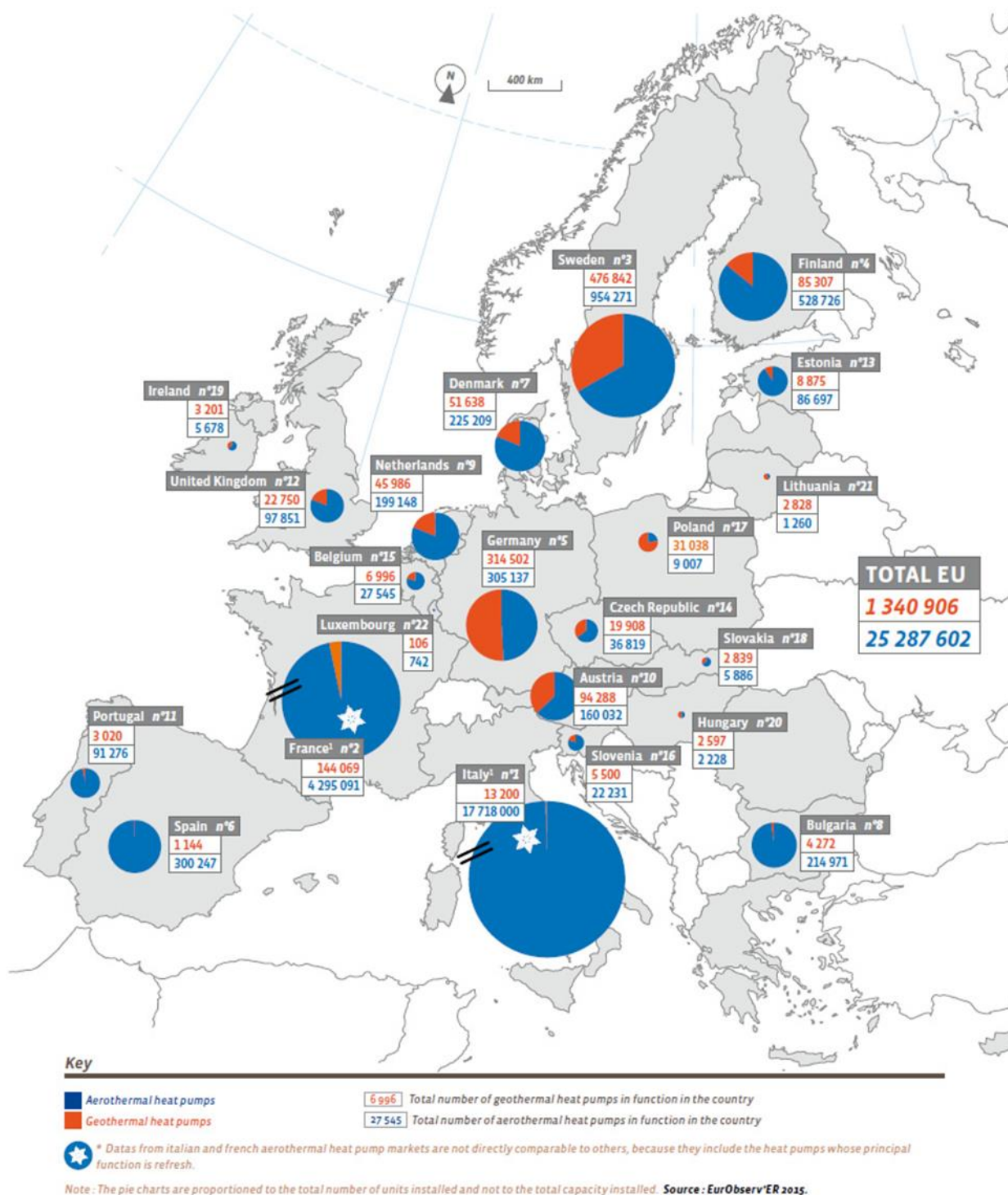


Abbildung 33: Installierte Luft- und geothermische Wärmepumpen in der EU im Jahr 2014 [EurOb 2015]

Folgend wird ein kurzer Überblick der Wärmepumpenmärkte in der EU dargelegt. In Nordeuropa gibt es seit Jahrzehnten eine starke Nachfrage der Wärmepumpentechnologie und mit dem Schwerpunkt Heizen. In einigen Ländern Europas wie z.B. in Großbritannien sind die Wärmepumpen kaum vertreten und deshalb gibt es hier ein großes Wachstumspotenzial. Die Einsatzmöglichkeiten der Wärmepumpen hängen maßgeblich mit den klimatischen Be-

dingungen zusammen. Wärmepumpen können nicht nur zum Heizen im Winter, sondern, auch umgekehrt für die Kühlung im Sommer in Gebäuden eingesetzt werden. Dies ist vor allem in den Ländern Südeuropas zu beobachten, das hier Wärmepumpen fast nur für Kühlzwecke installiert werden. In Italien, Spanien und Frankreich werden am meisten umkehrbare Wärmepumpen auf dem Markt verkauft und bieten den Vorteil im Winter heizen und im Sommer kühlen zu können. [EurOb 2015]

Der Europäische Wärmepumpenverband (EHPA) hat beschlossen nur jene Wärmepumpen in die Statistik aufzunehmen welche ausschließlich für Heizungszwecke installiert wurden. Wärmepumpen die nur für die Kühlung benutzt werden sind in diesem Bericht nicht gesondert berücksichtigt. Einzelne Länder wie Frankreich und Italien haben sich allerdings entschieden, auch umkehrbare Luft-Luft Wärmepumpen, sowie Anlagen die hauptsächlich für die Kühlung verwendet werden, trotzdem in die Statistik mit einzubeziehen. In der Richtlinie 2009/28/EG (Leitfaden für den Berechnungsanteils von erneuerbaren Energiequellen) der EU-Kommission wird dieser Umstand mit einem geringeren Energieertrag der installierten Anlagen berücksichtigt. [EurOb 2015]

Tabelle 10: Statistik der verkauften Luftwärmepumpen in der EU im Jahr 2013 und 2014 [EurOb 2015]

Country	2013			2014		
	Total Aerothermal HP	of which air-water HP	of which exhaust air HP	Total Aerothermal HP	of which air-water HP	of which exhaust air HP
Italy*	1 042 900	16 900	0	863 000	18 000	0
France*	485 394	53 925	0	415 708	69 671	0
Sweden	71 650	6 635	10 015	61 355	6 355	10 850
Finland	48 870	1 278	1 874	56 069	1 480	1 767
Germany	40 200	40 200	0	41 000	41 000	0
Spain	51 738	2 464	0	54 001	0	0
Netherlands	37 486	4 633	0	44 028	4 499	0
Bulgaria	14 300	716	357	20 727	1 036	518
Denmark	18 537	2 581	198	19 666	2 822	101
United Kingdom	15 656	15 656	0	16 360	16 360	0
Estonia	13 260	800	60	14 340	1 000	40
Austria	8 234	7 994	240	9 141	8 953	188
Portugal	9 197	437	0	7 521	461	0
Czech Republic	5 747	5 747	0	6 247	6 247	0
Slovenia	6 151	2 842	0	5 226	3 108	0
Belgium	4 167	4 167	0	4 552	2 732	0
Poland	2 119	2 119	0	2 308	2 308	0
Ireland	1 190	1 169	21	1 816	1 804	12
Lithuania	230	110	120	340	95	245
Slovakia	576	516	19	319	271	0
Hungary	273	226	47	273	226	47
European Union	1 877 875	171 115	12 951	1 643 997	188 428	13 768

* Data from Italian and French aerothermal heat pump markets are not directly comparable to others, because they include the heat pumps whose principal function is refresh. Source: EurObserv'ER 2015.

Die Analyse zeigt, dass der Wärmepumpenmarkt von fast 2 Millionen verkauften Anlagen im Jahr 2013 auf 1,7 Millionen verkauften Anlagen im Jahr 2014 geschrumpft ist. Dieser Rückgang ist größtenteils auf den italienischen Markt und auch geringfügig auf den französischen Markt zurückzuführen. Des Weiteren ist zu beobachten, dass sich die Märkte in Italien und Frankreich, die Wärmepumpenanlagen für Heizungszwecke verwenden, im Vergleich zu anderen europäischen Märkten sehr untypisch verhalten. Würden diese beiden Märkte aus der Statistik ausgeschlossen, hätte es im Jahr 2014 einen Zuwachs von fast 2 % zu verzeichnen gegeben. [EurOb 2015]

In der Statistik ist ein Trend erkennbar, bei der die Luft-Wasser Wärmepumpen stetig wachsen und im Gegenzug dafür die Erdwärmepumpen einen Rückgang am Wärmepumpenmarkt aufweisen. Im Luftwärmepumpensegment sind 88 % aller verkauften Anlagen Luft-Luft Wärmepumpen, die jedoch in letzter Zeit stagnieren. Es ist eine positive Entwicklung in Richtung Luft-Wasser Wärmepumpen wahrzunehmen und dies gilt auch für die Abluftwärmepumpen. [EurOb 2015]

Tabelle 11: Statistik der verkauften geothermalen Wärmepumpen in der EU im Jahr 2013 und 2014 [EurOb 2015]

Country	2013	2014
Sweden	24 897	23 356
Germany	21 100	18 500
Finland	12 341	11 125
Poland	5 142	5 275
Austria	6 073	5 127
France*	4 003	3 249
Netherlands	3 052	2 510
Denmark	2 503	2 242
United Kingdom	1 976	2 190
Czech Republic	1 743	1 578
Estonia	1 400	1 520
Belgium	1 336	988
Italy	1 036	780
Lithuania	470	735
Bulgaria	366	532
Hungary	510	510
Ireland	305	508
Slovenia	441	390
Slovakia	253	225
Spain	246	n.a.
Portugal	24	n.a.
European Union	89 217	81 340

* Ground/ground heat pumps not included for France. Source: EurObserv'ER 2015.

Tabelle 12: Gesamtanzahl der installierten Wärmepumpen im Jahr 2013 und 2014
[EurOb 2015]

Country	2013			2014		
	Aerothermal HP	Geothermal HP	Total heat pumps	Aerothermal HP	Geothermal HP	Total heat pumps
Italy*	16 900 000	12 400	16 912 400	17 718 000	13 200	17 731 200
France*	3 879 383	140 820	4 020 203	4 295 091	144 069	4 439 160
Sweden	892 916	453 486	1 346 402	954 271	476 842	1 431 113
Germany	265 181	297 191	562 372	305 137	314 502	619 639
Finland	472 207	74 182	546 389	528 276	85 307	613 583
Spain	246 246	1 144	247 390	300 247	1 144	301 391
Denmark	211 077	49 747	260 824	225 209	51 638	276 847
Austria	150 891	89 161	240 052	160 032	94 288	254 320
Netherlands	155 594	43 882	199 476	199 148	45 986	245 134
Bulgaria	194 244	3 740	197 984	214 971	4 272	219 243
United kingdom	81 491	20 560	102 051	97 851	22 750	120 601
Estonia	72 357	7 355	79 712	86 697	8 875	95 572
Portugal	83 755	3 020	86 775	91 276	3 020	94 296
Czech Republic	30 572	18 330	48 902	36 819	19 908	56 727
Poland	6 699	25 763	32 462	9 007	31 038	40 045
Belgium	22 993	6 008	29 001	27 545	6 996	34 541
Slovenia	17 004	5 110	22 114	22 231	5 500	27 731
Ireland	3 862	2 693	6 555	5 678	3 201	8 879
Slovakia	5 238	2 527	7 765	5 886	2 839	8 725
Hungary	1 955	2 087	4 042	2 228	2 597	4 825
Lituania	920	2 093	3 013	1 260	2 828	4 088
Luxembourg	742	106	848	742	106	848
European Union	23 695 327	1 261 405	24 956 732	25 287 602	1 340 906	26 628 508

* Data from Italian and French aerothermal heat pump markets are not directly comparable to others, because they include the heat pumps whose principal function is refresh. Source: EurObserv'ER 2015.

Die zweite Analyse zeigt folgende Fakten [EurOb 2016]:

- Der Europäische Wärmepumpenmarkt verzeichnete zwischen 2014 und 2015 eine Zunahme von + 20 %.
- 8.8 Mtoe erneuerbarer Energie aus Wärmepumpen wurden laut Schätzung in der Europäischen Union im Jahr 2015 bereitgestellt.
- 29,5 Millionen Wärmepumpen waren im Jahr 2015 insgesamt in Betrieb.

Der Wärmepumpenmarkt entwickelt sich im Jahr 2015 besonders gut. Der Umsatz unter Berücksichtigung aller Heiz- und Kühlmarkttechnologien stieg um 20 % von 2.212.898 Einheiten im Jahr 2014 auf 2.655.331 Einheiten im Jahr 2015 an. In den letzten Jahren ist ein Trend für das Wärmepumpensegment zu erkennen, sodass die Luftwärmepumpen an Marktanteilen gewinnen, allerdings zu Lasten von Erdwärmepumpen. Die Rekordtemperaturen im Sommer haben den reversiblen Luftwärmepumpen auf dem Kühlungsmarkt einen weiteren Schub bezüglich ihres Nutzens als Kühlung/Klimaanlage von Gebäuden gegeben. [EurOb 2016]

Aerothermal and geothermal heat pump park in operation in European in 2015* (Installed units)

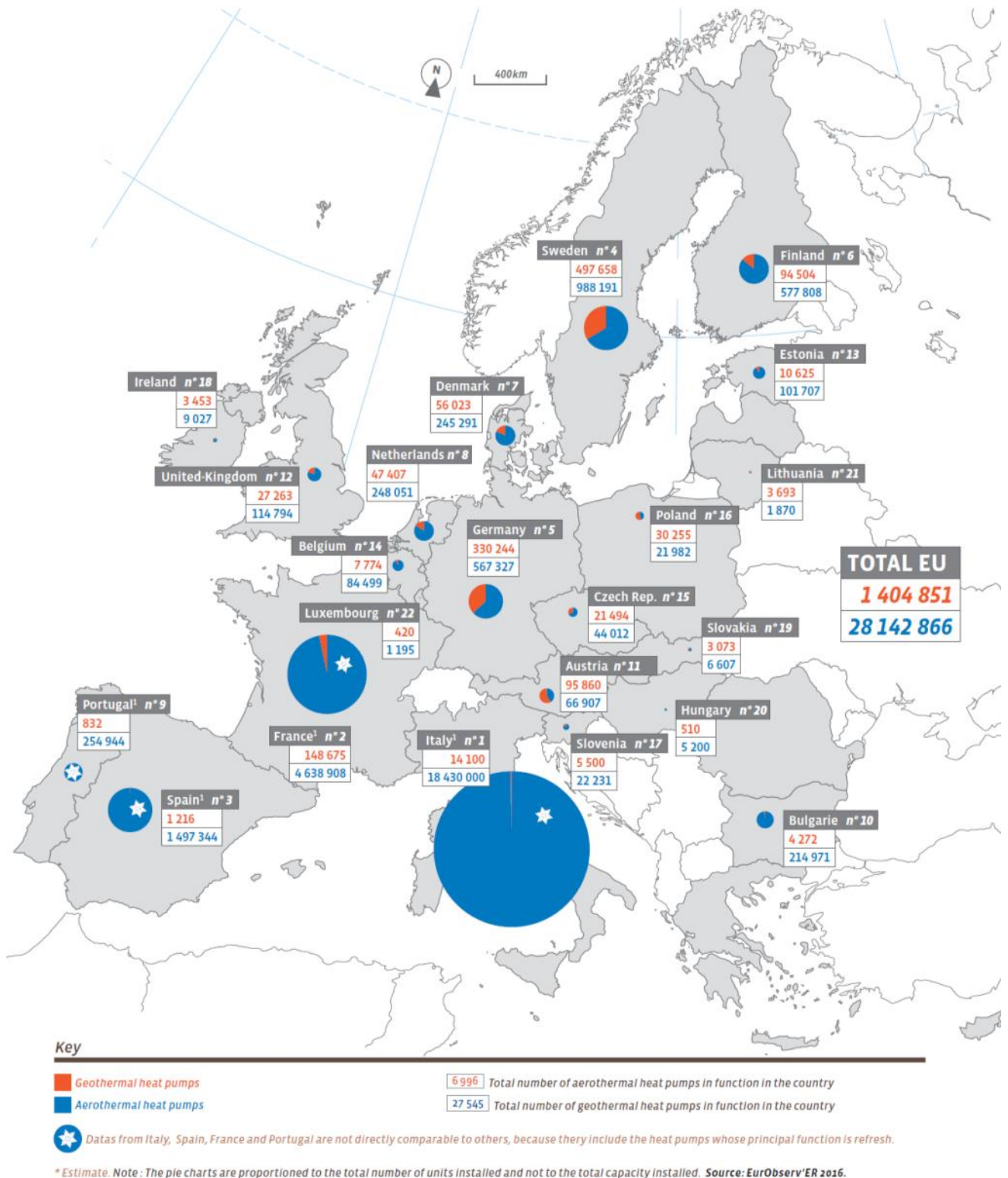


Abbildung 34: Installierte Luft- und geothermische Wärmepumpen in der EU im Jahr 2015 [EurOb 2016]

Im Jahr 2015 führte die Luft-Luft Wärmepumpe auf dem europäischen Markt mit 2.325.625 Einheiten (Tabelle 13) oder einem Anstieg von 21,6 % die Statistik an. Geringere Installationskosten und leichtere Montage machen sie für das Sanierungssegment besser geeignet und bilden daher die Basis für diesen großen Marktanteil. [EurOb 2016]

Tabelle 13: Statistik der verkauften Luftwärmepumpen in der EU im Jahr 2014 und 2015 [EurOb 2016]

Country	2014				2015			
	Aerothermal HP	of which air-air HP	of which air-water HP	of which exhaust air HP	Aerothermal HP	of which air-air HP	of which air-water HP	of which exhaust air HP
Italy	863 000	845 000	18 000	0	997 200	972 000	25 200	0
Spain	506 618	500 129	6 489	0	742 999	734 199	8 800	0
France	353 250	287 100	66 150	0	405 680	332 110	73 570	0
Portugal	56 840	56 379	461	0	77 591	77 132	459	0
Sweden	60 213	43 000	6 355	10 858	73 608	52 000	8 040	13 568
Germany	52 903	0	39 503	13 400	52 331	0	39 831	12 500
Finland	56 069	52 822	1 480	1 767	49 515	45 027	2 704	1 784
Netherlands	44 028	39 529	4 499	0	49 176	43 541	5 635	0
Belgium	34 638	31 906	2 732	0	33 099	27 542	5 557	0
Denmark	19 666	16 743	2 822	101	26 674	23 442	3 163	69
United Kingdom	16 360	0	16 360	0	17 013	0	17 013	0
Estonia	14 340	13 300	1 000	40	15 010	13 700	1 280	30
Austria	10 064	0	10 004	60	11 603	0	11 554	49
Poland	6 537	4 230	2 301	6	8 416	4 500	3 819	97
Czech Republic	6 247	0	6 247	0	7 193	0	7 193	0
Ireland	1 816	0	1 804	12	3 489	0	3 465	24
Hungary	611	362	247	2	815	432	381	2
Slovakia	585	0	585	0	721	0	721	0
Lithuania	260	0	15	245	605	0	605	0
Luxembourg	156	0	156	0	100	0	100	0
Bulgaria	20 727	19 173	1 036	518	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Slovenia	5 226	2 118	3 108	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
European Union	2 130 154	1 911 791	191 354	27 009	2 572 838	2 325 625	219 090	28 123

* Estimate. Note: Datas from Italian, french and portuguese aerothermal heat pump market are not directly comparable to others, because they include the heat pumps whose principal function is cooling.
Source: EurObserv'ER 2016.

Heutzutage sind die meisten auf dem europäischen Markt verkauften Luft-Luft Wärmepumpen reversibel, da eine starke Nachfrage am Markt für Wärmepumpen mit Kühlungseigenschaften herrscht. Der Marktumsatz wurde durch die hohen Sommertemperaturen in Italien, Frankreich, Spanien und Portugal gesteigert. In Teilen Nordeuropas, wie Schweden, Finnland und Dänemark gab es für die umkehrbaren Luft-Luft Wärmepumpen auch eine sehr große Nachfrage. [EurOb 2016]

Tabelle 14: Statistik der verkauften geothermalen Wärmepumpen in der EU im Jahr 2014 und 2015 [EurOb 2016]

Country	2014	2015**
Sweden	23 356	26 377
Germany	18 500	17 000
Finland	11 125	9 210
Austria	5 885	5 897
Poland	5 275	5 567
France	4 045	3 810
United Kingdom	2 190	2 388
Netherlands	2 510	2 086
Denmark	2 242	1 885
Estonia	1 520	1 750
Czech Republic	1 578	1 586
Belgium	988	1 404
Italy	780	952
Lithuania	815	785
Bulgaria	532	532
Slovenia	390	390
Ireland	508	337
Slovakia	312	234
Luxembourg	55	87
Hungary	80	85
Spain	0	72
Portugal	58	59
European Union	82 744	82 493

** Hydrothermal heat pumps included. ** Estimate. Source: EurObserv'ER 2016.*

Der Markt für hydrothermale Wärmepumpensysteme (Erdwärmepumpen und Luft-Wasser Wärmepumpen) hat stark zugenommen. Dies ist zurückzuführen auf Ländern wie z.B. Deutschland, welche eine Förderungspolitik für diese Wärmepumpentechnologie betreiben und dem Umstand, dass der Neubausektor anstieg. Dieser Markt steigerte sich um 10 % im Jahr 2015 mit fast 300.000 verkauften Einheiten in Europa. Das Marktsegment Luft-Wasser Wärmepumpe hat mit 19.090 Einheiten im Jahr 2015 den größten Anteil, was einem Wachstum von 14,5 % entspricht. Der Erdwärmepumpenmarkt scheint sich nach einigen Jahren rückläufiger Umsätze endgültig zu stabilisieren. Dieser fiel im Jahr 2015 nur noch um 0,3 %, wobei 82.493 Einheiten verkauft wurden (ein Rückgang von 7,3 % im Jahr 2014 mit 82.744 verkauften Einheiten) (Tabelle 14). Der Luft-Wasser Wärmepumpenmarkt stieg von 69,8 % im Jahr 2014 auf 72,6 % im Jahr 2015 an (Abbildung 35). [EurOb 2016]

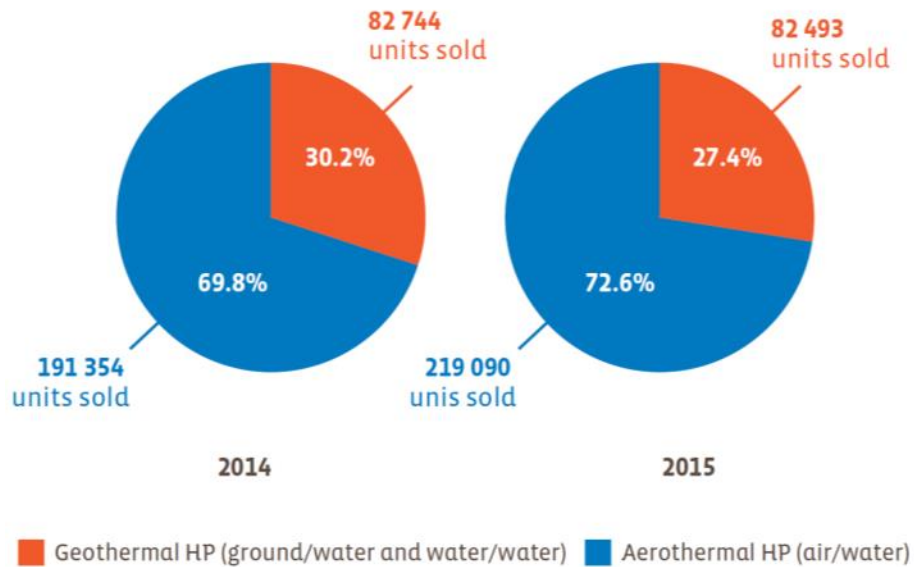


Abbildung 35: Marktanteile zwischen geothermischen und Luft-Wasser Wärmepumpen mit wassergeführten Systemen in 2014 und 2015 [EurOb 2016]

Tabelle 15: Gesamtanzahl der installierten Wärmepumpen im Jahr 2014 und 2015

Country	2014			2015		
	Aerothermal HP	Geothermal HP	Total heat pumps	Aerothermal HP	Geothermal HP	Total heat pumps
Italy**	18 218 000	13 200	18 231 200	18 430 000	14 100	18 444 100
France**	4 233 228	144 865	4 378 093	4 638 908	148 675	4 787 583
Spain**	754 345	1 144	755 489	1 497 344	1 216	1 498 560
Sweden	920 813	474 057	1 394 870	988 191	497 658	1 485 849
Germany	527 422	314 503	841 925	567 327	330 244	897 571
Finland	528 293	85 294	613 587	577 808	94 504	672 312
Denmark	225 209	51 638	276 847	245 291	56 023	301 314
Netherlands	199 148	45 986	245 134	248 051	47 407	295 458
Portugal**	177 353	773	178 126	254 944	832	255 776
Bulgaria	214 971	4 272	219 243	214 971	4 272	219 243
Austria	55 584	91 157	146 741	66 907	95 860	162 767
United Kingdom	97 781	24 875	122 656	114 794	27 263	142 057
Estonia	86 697	8 875	95 572	101 707	10 625	112 332
Belgium	51 400	6 370	57 770	84 499	7 774	92 273
Czech Republic	36 819	19 908	56 727	44 012	21 494	65 506
Poland	13 566	24 688	38 254	21 982	30 255	52 237
Slovenia	22 231	5 500	27 731	22 231	5 500	27 731
Ireland	5 538	3 116	8 654	9 027	3 453	12 480
Slovakia	5 886	2 839	8 725	6 607	3 073	9 680
Hungary	4 400	463	4 863	5 200	510	5 710
Lithuania	1 265	2 908	4 173	1 870	3 693	5 563
Luxembourg	1 095	333	1 428	1 195	420	1 615
European Union	26 381 044	1 326 764	27 707 808	28 142 866	1 404 851	29 547 717

* Estimate. **Note: Datas from Italy, France, Spain and Portugal are not directly comparable to others, because they include the heat pumps whose principal function is cooling.
Source: EurObserv'ER 2016.

Anschließend werden einige repräsentative Märkte diskutiert.

Der schwedische Wärmepumpenverband (SVEP) und Kyl & Värmepumpföretage, die unter einem Dach zu SKVP vereint wurden, haben bekannt gegeben, dass im Jahr 2015 99.985 Stück Wärmepumpenaggregate abgesetzt werden konnte. Dies bedeutet einen Anstieg von 19,6 % gegenüber dem Jahr 2014. Alle Wärmepumpentechnologien profitieren vom Marktwachstum, allen voran die Luftwärmepumpen. Die Luftwärmepumpentechnologie hat bei den Luft-Wasser Wärmepumpen einen Anstieg von 26,5 % mit 8.040 Stück, die Abluftwärmepumpe mit 13.568 Einheiten einen Anstieg um 25 % und die Luft-Luft Wärmepumpe um 20,9 % mit 52.000 verkauften Einheiten auf dem schwedischen Markt vorweisen können. Das Marktsegment von geothermale Wärmepumpen, wie Wasser- und Erdwärmepumpen stieg ebenfalls um 12,9 % mit insgesamt 26.377 Einheiten. Laut den SKVP entwickelt sich der Wärmepumpenmarkt im Neubauten-Sektor von Einfamilienhäusern in Schweden sehr gut. Es gibt Hinweise, für ein weiteres Wachstum am Markt im Jahr 2016. [EurOb 2016]

Die von SULPU (dem finnischen Wärmepumpenverband) veröffentlichten Statistiken deuten darauf hin, dass der Wärmepumpenmarkt insgesamt um 12,6 % zurückging. Der Absatz von 67.194 im Jahr 2014 fiel auf 58.725 Einheiten im Jahr 2015. Die stärksten Rückgänge weisen die Luftwärmepumpen (um 15 % auf 45.027 Einheiten) und die geothermalen Wärmepumpen (um 17 % auf 9.210 Einheiten) auf. Im Luft-Wasser Wärmepumpensektor konnten die Verkäufe im Jahr 2015 nahezu verdoppelt werden (auf 83 % bzw. 2.704 Einheiten). Die SULPU erklärt, dass Luft-Wasser Wärmepumpen vorwiegend im finnischen Sanierungsbereich zum Austausch von Elektro- oder Ölheizungen eingesetzt werden. Der hohe Anteil dieser Technologie ist ein guter Indikator dafür, wie gut diese Geräte im Sanierungsmarkt aufgenommen werden. Der Verband schreibt den allgemeinen Einbruch am Wärmepumpenmarkt dem trägen Familienheimbaumarkt zu. Dieser Rückgang der Investitionen im Sanierungsbereich ist auf den niedrigen Ölpreis zurückzuführen. Es wird darauf hingewiesen, dass etwa die Hälfte der 6.000 neugebauten Familienhäuser im Jahr 2015 mit geothermalen Wärmepumpen ausgestattet wurden. Die verbleibenden installierten geothermalen Wärmepumpen wurden eingesetzt um Ölkessel zu ersetzen oder für Fernwärmenetze. [EurOb 2016]

Die von der Arbeitsgruppe des deutschen Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (AGEEStat) veröffentlichten Daten zeigen, dass im Jahr 2015 69.331 Wärmepumpen verkauft wurden. Im Vergleich dazu wurden im Jahr 2014 71.403 Einheiten abgesetzt, was einem Rückgang von 2,9 % entspricht. Diese Daten beinhalten erstmalig die Abluftwärmepumpen, die den Grund für die Unterschiede zu den Vorjahreszahlen darstellen, die nur Luft-Wasser und geothermale Wärmepumpen beinhalten. Allerdings sind Luft-Luft Wärmepumpen noch immer aus den AGEEStat-Zahlen ausgeschlossen. Von den verschiedenen Technologien konnte sich das Luft-Wasser Wärmepumpensegment mit 39.831 Einheiten im Jahr 2015 gegenüber 39.503 Anlagen im Jahr 2014 (plus von 0,8 %) behaupten. Dem gegenüber standen die geothermalen Wärmepumpen-Umsätze, die im Jahr 2014 mit 18.500 Einheiten auf 17.000 Einheiten im Jahr 2015 (-8,1 %) zurückgingen. Die Abgas-Wärmepumpen haben einen Rückgang von 6,6 % verzeichnet (13.400 Anlagen im Jahr 2014, 12.500 Einheiten im Jahr 2015). [EurOb 2016]

Trotzdem wird für das Jahr 2016 eine Zunahme für wasserbasierte Wärmepumpen erwartet. Nach Angaben des BDH (Bundesverbandes der deutschen Heizungsindustrie) stieg der Markt 2016 um 14 % gegenüber dem ersten Quartal 2015 an. Der Grund für die Erholung des Marktes ist das Engagement der Regierung, Hochleistungs-Erneuerbare-Heizsysteme zu fördern. Das "Marktanreizprogramm" (MAP) wurde im April 2015 beschlossen. Darüber hinaus wurden ab dem 1. Januar 2016 weitere Anreize durch ein neues Programm zur Förderung der Energieeffizienz, das "Anreizprogramm Energieeffizienz" (APEE) eingeführt. Die neue Regelung soll dazu dienen, den Ersatz oder die Modernisierung bestehender Heizsysteme zu finanzieren, mit der Bedingung, dass ihre Effizienz verbessert wird. Die Optimierung kann nur dann erreicht werden, wenn eine gas- oder ölbefeuerte Heizanlage (Brennwertkessel sind aus dem Schema ausgenommen) mit einer auf Biomasse laufenden Heizungsanlage oder durch eine Wärmepumpe oder eine kombinierte Solaranlage (Warmwasser und Heizung) ersetzt wird. [EurOb 2016]

Der französische Markt konnte aufgrund der sommerlichen Temperaturen 2015 den Umsatz mit den reversiblen Wärmepumpen steigern. Der Luftwärmepumpenmarkt verzeichnete ein gutes Wachstum im Jahr 2015 mit einem Anstieg des Luft-Wasser Wärmepumpensegments um 11,2 %, d.h. 73.570 Einheiten und einen Anstieg von 15,7 % im Luft-Luft Wärmepumpenbereich (d.h. 332.110 Einheiten im Jahr 2015 einschließlich 267.080 Mono-Split-Einheiten). Die Sommerhitzewelle förderte sicherlich den Umsatz reversibler Systeme. Das Segment geothermaler Wärmepumpen ging mit 3.810 verkauften Einheiten weiter um 5,8 % zurück, wenn gleich der Rückgang nicht so stark war, wie in den Vorjahren (der Umsatz in diesem Segment ging im Jahr 2014 um 35 % zurück), was zu einer Marktstabilisierung führen könnte. Die Wachstumsaussichten für wasserbasierte Wärmepumpensysteme sind für 2016 gut, da sie den leichten Aufschwung im Neubaumarkt nutzen. [EurOb 2016]

Im Jahr 2015 lag die Anzahl der Wärmepumpenanlagen in Europa bei knapp 30 Millionen Einheiten. Aufgrund der vielen Annahmen, der Verfügbarkeit der Statistiken und Quellen ist es schwer genaue Zahlen zu ermitteln. Zum Beispiel enthält die EHPA Statistik Wärmepumpen, die nur für Heizzwecke verwendet werden. Diese schließt einen hohen Anteil der reversiblen Luft-Luft Wärmepumpen in der Statistik aus. In der Publikation von European Heat Pump Market und im Statistics Report 2016 wird prognostiziert, dass seit 1995 bis Ende 2015 rund 8,4 Millionen Wärmepumpen installiert wurden, was eine kombinierte Wärmekapazität von 73,6 GW entspricht. Die Exergie liegt bei 148 TWh (12,7 Mtoe), einschließlich 94,7 TWh (8,14 Mtoe) aus erneuerbaren Energieträgern. Der Grund für diesen Unterschied ist, dass Wärmepumpen Strom verwenden, um die erneuerbaren Energien aus der Luft, Boden oder Wasser zu extrahieren und im Heizungssystem der Wohnung bzw. des Gebäudes zu nutzen. [EurOb 2016]

Der Wärmepumpenmarkt wird voraussichtlich ein großes Wachstumspotential erfahren, aufgrund der neuen technologischen angebotenen Lösungsansätze bezüglich der Energieeffizienz und dem Einsatz von erneuerbaren Energieträgern. In den Mitgliedstaaten werden hier für in den kommenden Jahren finanzielle Mittel bereitgestellt. Die EHPA rechnet mit einem Umsatz von 5,7 Milliarden Euro im Jahr 2015 inklusive MwSt., im Jahr 2014 waren es 5,2 Milliarden Euro. 37,1 % dieser Gesamtleistung entfallen auf die Luft-Wasser-

Wärmepumpen, davon sind 30,6 % nicht reversible. Die umkehrbaren Luft-Luft Wärmepumpen, die in erster Linie für Heizzwecke zuständig sind, machen 30,6 % vom Gesamtumsatz im Jahr 2015 aus. Geothermische und hydrothermische Wärmepumpensysteme, die ausschließlich der Wärmeherzeugung dienen, liegen bei 24,8 % vom Umsatz aus. Der Verband geht davon aus, dass die europäische Wärmepumpenindustrie für 48.073 Personen in Europa eine Beschäftigung finden. 36 % bei der Wärmepumpenfertigung, 18 % bei der Komponentenfertigung, 16 % im Service- und Wartungsbereich und 30 % bei der Installation der Anlagen. [EurOb 2016]

Ein weiteres ermutigendes Zeichen für den Wärmepumpenmarkt sind die politische und regulatorische Maßnahmen, die auch im Renovierungsmarkt die Wärmepumpentechnologie verstärken sollen. Am 16. Februar 2015 präsentierte die Europäische Kommission ihre Strategie für Heizung und Kühlung von Gebäuden in Form einer Mitteilung (KOM 2016, 51 endg.). Die auf die Optimierung von Heiz- und Kälteerzeugungssystemen in den zwei Sektoren, Wohn- und Gewerbegebieten sowie in der Industrie abzielt. Sie soll dazu beitragen, die Energieversorgungssicherheit der EU und die Umsetzung des Programms der Klimapolitikziele zu verbessern. [EurOb 2016]

Die Kommission weist in ihrem Strategiepapier darauf hin, dass 50 % des jährlichen Energieverbrauchs der Europäischen Union auf Heizen und Kühlen zurückzuführen sind. Dies entspricht 13 % des EU-Öls und 59 % des gesamten Gasverbrauchs bzw. 68 % aller seiner Gasimporte. Darüber hinaus ist Gas die derzeit wichtigste Primärenergiequelle für Heizen und Kühlen (46 %), gefolgt von Kohle (15 %), Heizöl (10 %), Biomasse (11 %), Kernenergie (7 %) und spezifischen erneuerbaren Stromquellen (Windkraft, Photovoltaik und Wasserkraft, ca. 5 %). Solarthermie, Umgebungswärme und geothermische Energie, die von Wärmepumpen zurückgewonnen werden, decken nur 1,5 % dieses Verbrauchs ab. [EurOb 2016]

Im Strategiepapier der EU zur Wärme- und Kälteerzeugung (Mitteilung COM 2016, 51 final) werden eine Reihe von Maßnahmen zur Gebäudesanierung, sowie die Installation von modernen Heizungs- und Kühlungssystemen mit besonderem Schwerpunkt auf Wärmepumpen gesetzt. Somit sollen die Energieverluste verringert, die Effizienz maximiert und der Anteil an erneuerbaren Energieträgern erhöht werden. Darüber hinaus werden Pläne zur Förderung des Einsatzes von Technologien auf der Grundlage erneuerbarer Energien, die über europäische Struktur- und Investitionsfonds, das Forschungs- und Innovationsprogramm "Horizon 2020" und den strategischen Plan für Energietechnologien zur Verfügung stehen, bereitgestellt. [EurOb 2016]

Ein politisches Anliegen der Europäischen Kommission ist es, einen bedeutenden Einsatz von Wärmepumpen im Rahmen der neuen Energiestrategie zu finden. Die Herausforderung besteht darin, sicherzustellen, dass diese Vision ordnungsgemäß an jeden Mitgliedstaat weitergeleitet wird und Verbraucher (Eigentümer, Mieter, Bauverwalter, Behörden) und Industrie diese Lösungen und die Möglichkeiten der Energieeinsparung mit Hilfe des neuen Werkzeugs, der digitalen Revolution „Smart Grid System“, unterstützen. [EurOb 2016]

Tabelle 16: Zusammenfassung der installierten Wärmepumpenanlagen in der EU in den Jahren 2013, 2014 und 2015 Teil 1
[EurOb 2015] [EurOb 2016]

Land	2013 inkl. Brauchwasser-WP			2014 exkl. Brauchwasser-WP			2015 exkl. Brauchwasser-WP		
	Aero-thermische WP Stück	Geo-thermische WP Stück	WP gesamt Stück	Aero-thermische WP Stück	Geo-thermische WP Stück	WP gesamt Stück	Aero-thermische WP Stück	Geo-thermische WP Stück	WP gesamt Stück
Italien	16.900.000	12.400	16.912.400	18.218.000	13.200	18.231.200	18.430.000	14.100	18.444.100
Frankreich	3.879.383	140.820	4.020.203	4.233.228	144.865	4.378.093	4.638.908	148.675	4.787.583
Schweden	892.916	453.486	1.346.402	754.345	1.144	755.489	1.497.344	1.216	1.498.560
Deutschland	265.181	297.191	562.372	920.813	474.057	1.394.870	988.191	497.658	1.485.849
Finnland	472.207	74.182	546.389	527.422	314.503	841.925	567.327	330.244	897.571
Spanien	246.246	1.144	247.390	528.293	85.294	613.587	577.808	94.504	672.312
Dänemark	211.077	49.747	260.824	225.209	51.638	276.847	245.291	56.023	301.314
Niederlande	155.594	43.882	199.476	199.148	45.986	245.134	248.051	47.407	295.458
Portugal	83.755	3.020	86.775	177.353	773	178.126	254.944	832	255.776
Bulgarien	194.244	3.740	197.984	214.971	4.272	219.243	214.971	4.272	219.243
Österreich	150.891	89.161	240.052	55.584	91.157	146.741	66.907	95.860	162.767
Großbritannien	81.491	20.560	102.051	97.781	24.875	122.656	114.794	27.263	142.057
Estland	72.357	7.355	79.712	86.697	8.875	95.572	101.707	10.625	112.332
Belgien	22.993	6.008	29.001	51.400	6.370	57.770	84.499	7.774	92.273

Tabelle 17: Zusammenfassung der installierten Wärmepumpenanlagen in der EU in den Jahren 2013, 2014 und 2015 Teil 2
[EurOb 2015] [EurOb 2016]

Land	2013 inkl. Brauchwasser-WP			2014 exkl. Brauchwasser-WP			2015 exkl. Brauchwasser-WP		
	Aero-thermische WP Stück	Geo-thermische WP Stück	WP gesamt Stück	Aero-thermische WP Stück	Geo-thermische WP Stück	WP gesamt Stück	Aero-thermische WP Stück	Geo-thermische WP Stück	WP gesamt Stück
Tschechische Republik	30.572	18.330	48.902	36.819	19.908	56.727	44.012	21.494	65.506
Polen	6.699	25.763	32.462	13.566	24.688	38.254	21.982	30.255	52.237
Slowenien	17.004	5.110	22.114	22.231	5.500	27.731	22.231	5.500	27.731
Irland	3.862	2.693	6.555	5.538	3.116	8.654	9.027	3.453	12.480
Slowakei	5.238	2.527	7.765	5.886	2.839	8.725	6.607	3.073	9.680
Ungarn	1.955	2.087	4.042	4.400	463	4.863	5.200	510	5.710
Litauen	920	2.093	3.013	1.265	2.908	4.173	1.870	3.693	5.563
Luxemburg	742	106	848	1.095	333	1.428	1.195	420	1.615
EU Gesamt	23.695.327	1.261.405	24.956.732	26.381.044	1.326.764	27.707.808	28.142.866	1.404.851	29.547.717

5 REGIONALISIERUNG DER WÄRMEPUMPEN AUF NUTS-REGIONEN

In diesem Kapitel wird die Regionalisierung der Wärmepumpenanlagen auf die NUTS-3-Ebene durchgeführt.

Es ist eine Regionalisierung vorzunehmen, da ein vermehrter Ausbau der erneuerbaren Energieträger, wie Windkraft- und Photovoltaikanlagen, erfolgt. Diese können ihre Energie nur dargebotsabhängig in das Elektrizitätsversorgungsnetz einspeisen und sind dezentrale Energieerzeuger. Um das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Last des Stromnetzes beibehalten zu können, müssen Speicher und Ausgleichsmöglichkeiten im elektrischen Netz geschaffen werden. Die strombetriebenen Wärmepumpen mit Pufferspeicher können somit ihr großes Potenzial als Laststeuerungselement im Versorgungssystem als „thermischer Batteriespeicher“ ausspielen. Deshalb ist es notwendig das Potenzial der Wärmepumpen auf lokalen bzw. regionalen NUTS-Ebene zu untersuchen.

Das Wort NUTS (Nomenclature des Unités territoriales statistique) bedeutet frei übersetzt die Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik. Mit ihr wird eine geografische Systematik erzeugt, in der die EU-Mitgliedsstaaten in drei verschiedenen NUTS Klassifikationsebenen von Regionen unterteilt werden. Die NUTS Ebene 1 bedeutet die größte Gebietseinheit, also die nationale Ebene, der Staat. Die NUTS Ebene 2 bezieht sich auf Basisregionen, wie z.B. Bundesländer sowie die NUTS Ebene 3 bezieht sich auf lokale und regionale Regionen, wie z.B. Bezirke oder Städte. Die aktuellen NUTS-Klassifikationen entsprechen dem Stand seit Jänner 2015 und sind dem entsprechend auch gültig. Die NUTS-1-Ebene umfasst 98 Regionen, die NUTS-2-Ebene 276 Regionen und die NUTS-3-Ebene 1342 Regionen in Europa. Mit Hilfe von NUTS können detaillierte, regionale, demografische Entwicklungen und Ereignisse, wie z.B. Geburten und Sterbefälle der gesamten EU gezeigt und dargestellt werden. [Eurostat]

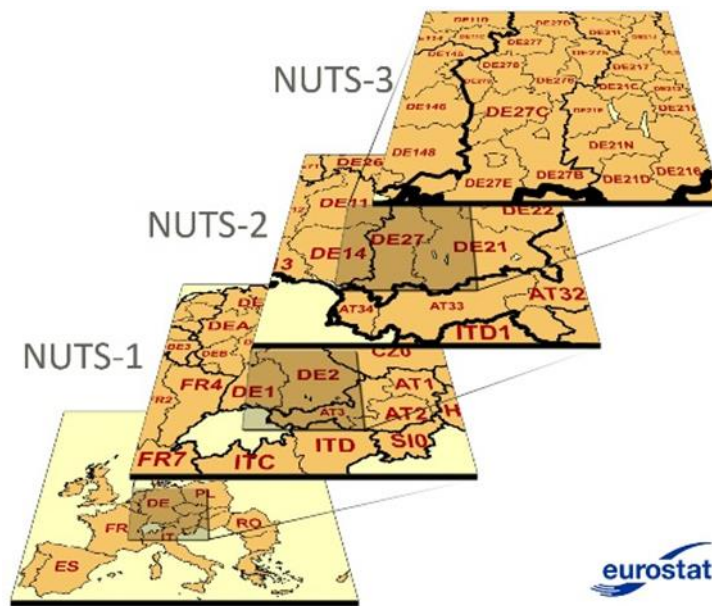


Abbildung 36: Darstellung der NUTS-Klassifikationsebenen [Eurostat]

Eurostat ist das statistische Amt der Europäischen Union und dieses befindet sich in Luxemburg. Bei dieser Organisation werden veröffentlichte, amtliche Statistiken der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union zur Verfügung gestellt. Damit wird eine zuverlässige und objektive Beschreibung bzw. Vergleich der Wirtschaft und Gesellschaft in Europa repräsentiert. Eurostat besitzt eine umfangreiche Datensammlung über Regionen und Städte in der EU, die kostenlos von Nutzern auf ihrer Homepage eingesehen und heruntergeladen werden können. [Eurostat]

Im Rahmen der Entwicklung einer passenden Methodik wurden verschiedenste Ansätze geprüft. Diese Ansätze basierten einerseits auf der Anwendung eines Bevölkerungsschlüssels und andererseits auf der Anwendung eines auf der Bevölkerungsdichte basierenden Verteilungsschlüssels. Es wurde die Verteilung der Wärmepumpenanlagen auf die Bevölkerungsdichte nach der Regionalebene NUTS-3 für alle 28 Mitgliedsstaaten der Europäischen Union berechnet. Die Daten für die Bevölkerung und die Regionalebene NUTS-3 stammen von Eurostat. Bei Eurostat ist die Bevölkerungsdichte und die Fläche des jeweiligen EU Landes auf NUTS-3-Ebene angegeben. Mit diesen beiden Werten wird auf die jeweilige Bevölkerungszahl in der Regionsebene NUTS-3 geschlossen. Die Daten für die gesamten installierten Wärmepumpenanlagen im Jahr 2014 werden von EurObserv'ER herangezogen und auf die Bevölkerungsregion aufgeteilt. So wird eine Wärmepumpendichte auf die jeweilige Region nach NUTS-3 dargestellt. Jedoch ist dieser Ansatz mit dem Verteilungsschlüssel über die Bevölkerung nicht zielführend, da es zu viele Ungenauigkeiten gibt, sowie keine genauen Datenquellen der Wärmepumpenverteilung für die NUTS-3-Ebene vorhanden sind. Ein weiterer Faktor sind die unterschiedlichen Förderregularien für Wärmepumpen in den Ländern bzw. Bundesländern untereinander. Deshalb wurde ein neuer Ansatz gesucht, der eine genauere Verteilung der Wärmepumpen auf die NUTS-3-Region zulässt. Diese neue Anwendungssystematik wird am Beispiel Österreich exemplarisch aufgezeigt.

5.1.1 Österreich

In diesem Kapitel wird die Verteilung der Wärmepumpenanlagen auf Österreich nach der Regionalebene NUTS-3 berechnet.

NUTS 3 Österreichs, Gebietsstand 1.1.2009



Abbildung 37: Darstellung der NUTS-3 Ebene in Österreich [Statistik Austria]

Die Förderregelungen für Wärmepumpen sind in Österreich je nach Bundesland unterschiedlich, diese können im Kapitel 3.3 nachgelesen werden. Da einige Bundesländer der Wärmepumpentechnologie skeptisch gegenüberstehen, wird genau in diesen Gebieten eine niedrigere Förderung gewährt. Deshalb müssen bei der Regionalisierung auf die NUTS-Ebene noch zusätzlich andere Informationen, wie die Förderungsregeln in der jeweiligen Region, einbezogen werden um ein besseres Bewertungsschema zu erzielen. Da sich der Ansatz über einen reinen Bevölkerungsindikator als nicht zielführend erwiesen hat, wird nun ein Ansatz über Einfamilienhäuser angewendet. Die gleichen Förderungsregelungsregionen können dann über den Aufteilungsschlüssel nach den Einfamilienhäusern heruntergebrochen werden. Würden alle Bundesländer das gleiche Förderregelungssystem anwenden, dann wäre diese einfache Berechnungsmethode ausreichend. Es wurde eine zweite Variante entwickelt um einen besseren Verteilungsschlüssel zu erhalten. Dazu müssen zuerst die Förderregelungen innerhalb eines Landes angesehen werden und entsprechend der Förderquote muss ein Gewichtungsfaktor hinzufügen und anschließend auf den Bestand der Einfamilienhäuser in der NUTS-3 Regionsebene (Abbildung 37) heruntergebrochen werden. Dies ist notwendig, da es für die NUTS-3-Ebene keine genauen Zahlen von Wärmepumpenanlagen vorhanden sind. Deshalb wird mit dieser Methode versucht eine genauere Regionalisierung der Wärmepumpen durchzuführen.

Tabelle 18: Vergleich der Wärmepumpenverteilung in Österreich

Land	Statistik Austria Heizungen 2013/2014 Solar, Wärmepumpen Stück	EurObserv'ER 2015 inkl. BW-WP Stück
Burgenland (BGL)	10.124	9.014
Kärnten (KAE)	23.872	21.254
Niederösterreich (NOE)	55.337	49.269
Oberösterreich (OOE)	71.856	63.976
Salzburg (SZB)	16.610	14.789
Steiermark (STM)	35.100	31.251
Tirol (T)	34.652	30.852
Vorarlberg (VAB)	30.259	26.941
Wien (W)	7.833	6.974
Österreich	285.643	254.320

In der Tabelle 18 wird ein Vergleich mit der Statistik Austria angegeben, Heizungen mit Solar und Wärmepumpen werden mit den gerechneten Daten aus EurObserv'ER 2015 auf die Regionalisierung der NUTS-2-Ebene für Österreich miteinander verglichen.

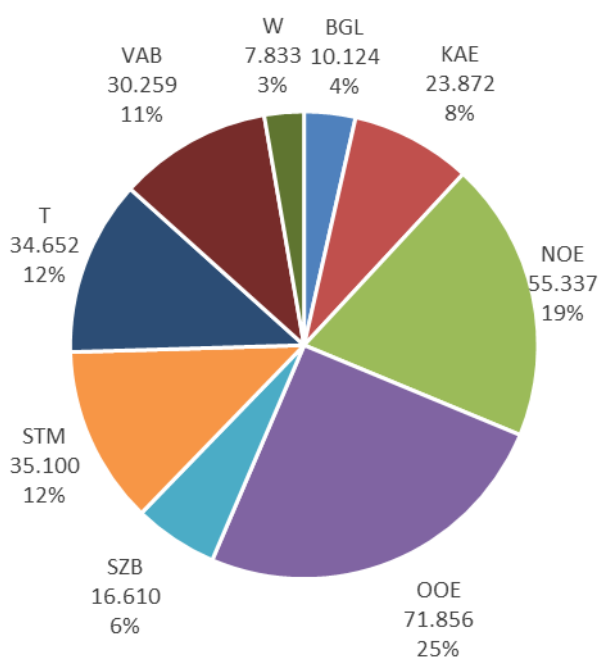


Abbildung 38: 285.643 Stück Solar, Wärmepumpen-Heizungen 2013/2014 nach Bundesländern im Prozentanteil [Statistik Austria, Energiestatistik; Stand 11.11.2015]

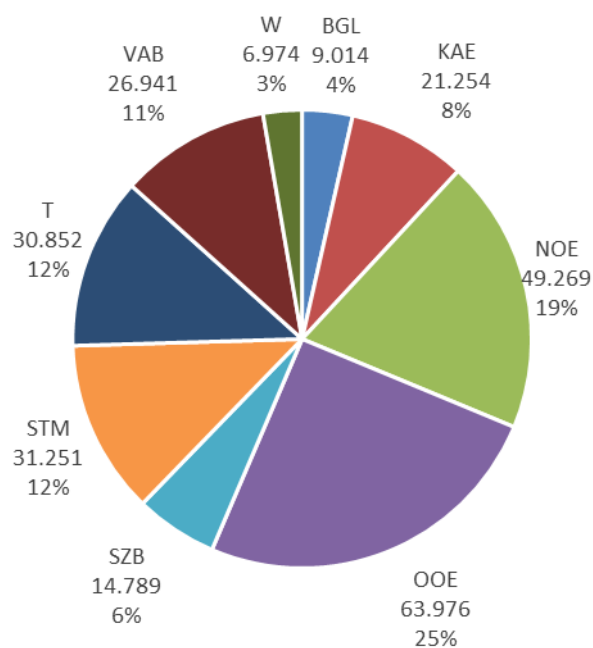


Abbildung 39: 254.320 Stück Wärmepumpen 2014 nach Bundesländern im Prozentanteil inkl. BW-WP [EurOb 2015]

In der Abbildung 38 und Abbildung 39 werden die verschiedenen Stückzahlen der Wärmepumpen nach österreichischen Bundesländern verteilt von den Datenquellen Statistik Austria und EurObserv'ER dargestellt.

Regionalisierung der Wärmepumpen auf NUTS-Regionen

Als Beispiel für die Berechnungen ist hier Österreich in der Tabelle 19, Tabelle 20, Tabelle 21 angeführt (inkl. der Brauchwasser-Wärmepumpe).

Es wurden die Wärmepumpenzahlen von EurObserv'ER [EurOb 2015] auf die jeweiligen Bundesländer (entspricht im Falle Österreichs der NUTS-2-Ebene) nach dem Förderungsschlüssel von der Statistik Austria: Energiestatistik „Heizungen 2013/2014 nach Bundesländern“ [Statistik Austria] aufgeteilt und innerhalb der Bundesländer wurden die Wärmepumpen anhand des Bestandes der Einfamilienhäuser (Statistik Austria: Wohnungs- und Gebäudebestand 2011) [Statistik Austria] weiter auf die NUTS-3 Regionsebene unterteilt.

Tabelle 19: Daten von Österreich in NUTS-3 Regionen, Ostösterreich [Eurostat] [EurObserv'ER] [Statistik Austria]

2014	ÖSTERREICH	Fläche	Bevölkerungszahl		Bevölkerungs- dichte	Bestand der Einfamilienhäusern (2011)		WP Verteilung nach Einfamilienhäusern
		km ²	Einwohner	%	Einwohner/km ²	Stück	%	Stück
AT111	Mittelburgenland	701	37.924	0,43%	54	14.804	1,03%	1.324
AT112	Nordburgenland	1.791	179.637	2,04%	100	51.599	3,58%	4.614
AT113	Südburgenland	1.470	98.637	1,12%	67	34.402	2,39%	3.076
AT121	Mostviertel-Eisenwurzen	3.355	245.922	2,80%	73	45.793	3,18%	5.062
AT122	Niederösterreich-Süd	3.374	256.087	2,91%	76	91.497	6,34%	10.115
AT123	Sankt Pölten	1.231	151.905	1,73%	123	33.917	2,35%	3.750
AT124	Waldviertel	4.613	220.963	2,51%	48	63.386	4,40%	7.007
AT125	Weinviertel	2.413	124.511	1,42%	52	52.811	3,66%	5.838
AT126	Wiener Umland/Nordteil	2.724	322.249	3,67%	118	85.440	5,92%	9.445
AT127	Wiener Umland/Südteil	1.476	335.052	3,81%	227	72.822	5,05%	8.051
AT130	Wien	415	1.870.322	21,28%	4.507	83.992	5,82%	6.974
	SUMME:	23.563,00	3.843.209	43,73%	163	630.463	43,72%	65.257

Tabelle 20: Daten von Österreich in NUTS-3 Regionen, Südosterreich [Eurostat] [EurObserv'ER] [Statistik Austria]

2014	ÖSTERREICH	Fläche	Bevölkerungszahl		Bevölkerungs- dichte	Bestand der Einfamilienhäusern (2011)		WP Verteilung nach Einfamilienhäusern
		km ²	Einwohner	%	Einwohner/km ²	Stück	%	Stück
AT211	Klagenfurt-Villach	2.030	290.493	3,31%	143	48.541	3,37%	9.296
AT212	Oberkärnten	4.132	127.679	1,45%	31	27.991	1,94%	5.361
AT213	Unterkärnten	3.376	152.595	1,74%	45	34.448	2,39%	6.597
AT221	Graz	1.230	422.136	4,80%	343	56.284	3,90%	7.202
AT222	Liezen	3.268	80.066	0,91%	25	18.632	1,29%	2.384
AT223	Östliche Obersteiermark	3.254	163.351	1,86%	50	27.636	1,92%	3.536
AT224	Oststeiermark	3.363	268.367	3,05%	80	67.600	4,69%	8.651
AT225	West- und Südsteiermark	2.226	193.662	2,20%	87	52.192	3,62%	6.679
AT226	Westliche Obersteiermark	3.060	102.204	1,16%	33	21.869	1,52%	2.798
	SUMME:	25.939	1.800.553	20,49%	69	355.193	24,63%	52.505

Tabelle 21: Daten von Österreich in NUTS-3 Regionen, Westösterreich [Eurostat] [EurObserv'ER] [Statistik Austria]

2014	ÖSTERREICH	Fläche	Bevölkerungszahl		Bevölkerungs- dichte	Bestand der Einfamilienhäusern (2011)		WP Verteilung nach Einfamilienhäusern
		km ²	Einwohner	%	Einwohner/km ²	Stück	%	Stück
AT311	Innviertel	2.821	281.818	3,21%	100	58.328	4,04%	15.896
AT312	Linz-Wels	1.744	577.962	6,58%	331	71.970	4,99%	19.613
AT313	Mühlviertel	2.660	207.214	2,36%	78	35.392	2,45%	9.645
AT314	Steyr-Kirchdorf	2.238	154.198	1,75%	69	26.036	1,81%	7.095
AT315	Traunviertel	2.517	243.897	2,78%	97	43.032	2,98%	11.727
AT321	Lungau	1.020	20.706	0,24%	20	4.360	0,30%	920
AT322	Pinzgau-Pongau	4.397	165.327	1,88%	38	23.424	1,62%	4.940
AT323	Salzburg und Umgebung	1.739	362.929	4,13%	209	42.333	2,94%	8.929
AT331	Außerfern	1.236	32.260	0,37%	26	5.500	0,38%	1.874
AT332	Innsbruck	2.094	298.604	3,40%	143	25.231	1,75%	8.598
AT333	Osttirol	2.019	49.264	0,56%	24	8.796	0,61%	2.997
AT334	Tiroler Oberland	3.318	102.194	1,16%	31	14.952	1,04%	5.095
AT335	Tiroler Unterland	3.973	249.902	2,84%	63	36.055	2,50%	12.287
AT341	Bludenz-Bregenzener Wald	1.874	89.202	1,02%	48	30.195	2,09%	13.336
AT342	Rheintal-Bodenseegebiet	727	308.466	3,51%	424	30.806	2,14%	13.605
	SUMME:	34.377	3.143.944	35,78%	91	456.410	31,65%	136.558

5.1.2 Ausblick Europäische Union

Um die neue Anwendungssystematik der Wärmepumpenverteilung auf die NUTS-3-Ebene auf die restlichen EU-Staaten, wie Belgien, Bulgarien, Tschechische Republik, Dänemark, Deutschland, Estland, Irland, Spanien, Frankreich, Italien, Litauen, Luxemburg, Ungarn, Niederlande, Polen, Portugal, Slowenien, Slowakei, Finnland, Schweden und Großbritannien durchführen zu können ist eine Reihe von Datenquellen erforderlich. Die Basis bilden die Daten und Statistiken zu den Förderregelungen des jeweiligen EU Mitgliedsstaates entsprechend der NUTS-3-Ebene. Die weitere Recherche umfasst den Bestand der Einfamilienhäuser in der Europäischen Union bis auf die unterste NUTS-Ebene. Mit den daraus abgeleiteten Faktoren zur Förderung und den Daten zur Verteilung der Einfamilienhäuser kann in weiterer Folge eine Regionalisierung der Wärmepumpenverteilung auf die NUTS-3-Ebene durchgeführt werden. Diese wurde im vorherigen Kapitel explizit für Österreich dargestellt, wird aber im Rahmen dieser Arbeit für Europa nicht umgesetzt.

6 ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN FÜR WÄRMEPUMPENSYSTEME

In diesem Kapitel sind mögliche Zukunftsperspektiven für den verstärkten Einsatz von Wärmepumpen dargestellt. Das Ziel der Wärmepumpenbranche ist es, die Wärmepumpe als Schlüsseltechnologie zum zukünftigen effizienten Heizungs- und Kühlungssystem im Gebäudebereich von Neu- sowie Sanierungsbauten bis zum Jahr 2030 zu etablieren. Nach Schätzungen können bis zu 6.000 Arbeitsplätze in der nationalen Wärmepumpenbranche und bis zu 3 Mrd. Euro Jahresumsatz erzielt werden. Mit der Energieeffizienzsteigerung und der Erhöhung der eingesetzten erneuerbaren Energiequellen, können Wärmepumpen bis zu 3 Mio. Tonnen CO_{2äqu} an Treibhausgasemissionen einsparen und damit einen wesentlichen Beitrag zu den Klimazielen der EU leisten. Eine weitere wichtige Rolle erhalten die Wärmepumpen in intelligenten, elektrischen Netzen als Lastmanagementregulator. Die Wärmepumpentechnologie findet auch im effizienten Energieeinsatz in industriellen und gewerblichen Prozessen, sowie in der optimierten Wärme- und Kältebereitstellung, wie in Fernwärmenetzen ihren Einsatz. [ÖTRW 2016]

Auch seitens der EHPA wird unterstrichen, dass Wärmepumpen ein Teil des Lösungsweges im Hinblick auf die Treibhausgas-Emissionsreduzierungsziele und die Nutzung von erneuerbarer Energie sein können. Aus Sicht des Verbandes wäre allerdings eine direkte Unterstützung erforderlich, um die vereinbarte 2°C Grenze des Klimagipfels von Paris 2015 erfüllen zu können. [Now 2016]

Laut EHPA haben Wärmepumpen folgende positiven Effekte im Jahr 2015 erreicht [EHPA 2016]:

- Nutzung von 92,9 TWh Energieleistung aus erneuerbaren Energieträgern
- Reduktion von 23,9 Mt CO₂
- Einsparung von 55,7 TWh primär Energie

Auch seitens des Energieplans der Europäischen Union, sollten die Wärmepumpen ins Zentrum des Energiesystems integriert werden (siehe Abbildung 40). [EHPA 2016]

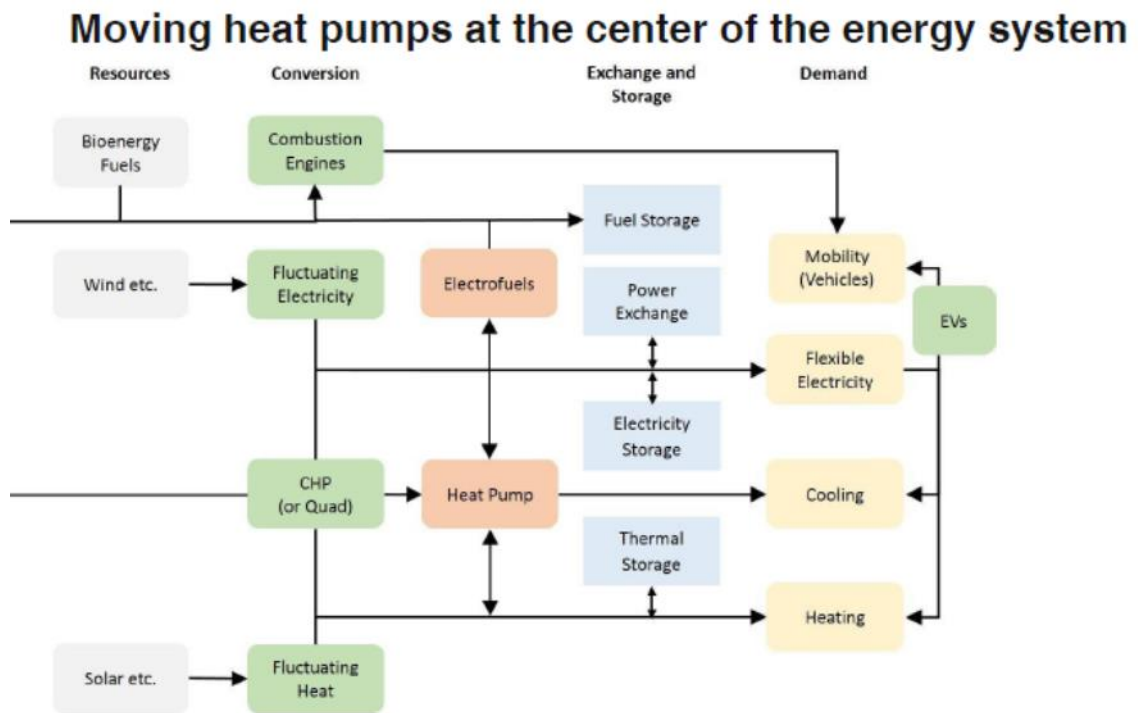


Abbildung 40: Wärmepumpen im Zentrum des neues Energiesystem der EU [EHPA 2016]

Die Zukunftsvision von EHPA ist es, die Städte als „heat pump cities“ zu etablieren, wie in der Abbildung 41 dargestellt. [EHPA 2016]

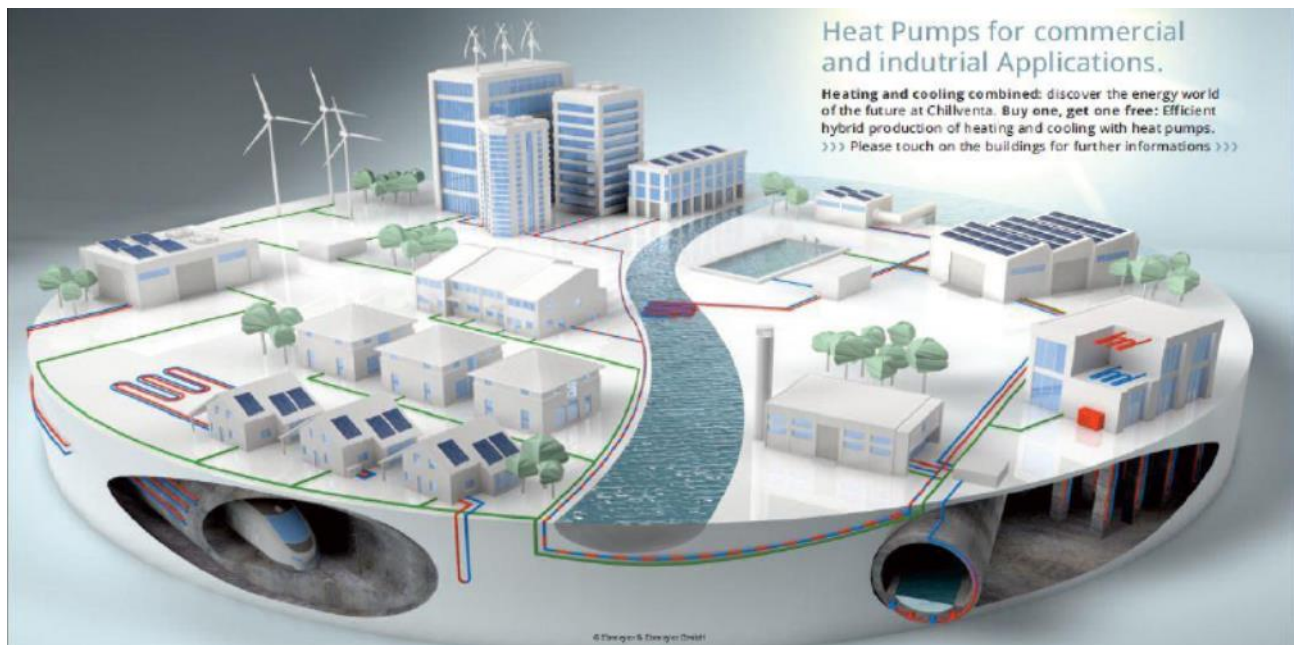


Abbildung 41: Zukünftige Städte mit Wärmepumpen [EHPA 2016]

Die Internationale Energieagentur (IEA) beschäftigt sich intensiv mit der zukünftigen Rolle von Wärmepumpen. Von zentraler Bedeutung ist dabei der Zusammenhang und das Potenzial der Wärmepumpen in Wohnungsgebäuden mit intelligenten elektrischen Netzen bezüglich der Ausgleichslasten im Elektrizitätssystem. Sichtbar wurde, dass es bedeutende Konsequenzen für das Stromnetz hat, wenn in den kommenden Jahren die Anzahl der Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge beträchtlich zunimmt. Um dieses Wachstum absorbieren zu können, werden Smart Grids notwendig, welche es gleichzeitig ermöglichen erneuerbare Energiequellen ins System zu integrieren. Grundsätzlich ist es erstrebenswert, die Nutzung fossiler Energieträger zu reduzieren und die CO₂-Emissionen zu senken. Um diese beiden Vorhaben bewältigen zu können, ist eine Steigerung der Anzahl von Wärmepumpen in intelligenten Stromnetzen und eine zunehmende Produktion von nachhaltiger, elektrischer Energie notwendig. Die dabei durchgeführten Fall-Szenarien und Simulationen (auf Flexibilität, Leistung, Komfort) beinhalten auch thermische Speicher und sollen als Basis für viele Ländern dienen. Da es sehr schwierig war, einen gemeinsamen Ansatz zu finden, wurde entschieden, dass jedes Land seine eigene Berechnungen und Simulationen durchführt. Drei Hauptaspekte und Ergebnisse werden als allgemeine Leitlinie für alle Länder verwendet [Wag 2015]:

1. Wie groß sind die Probleme oder die Herausforderungen, die jedes Land bewältigen muss?
2. Wie viele von diesen Problemen können die Länder mit ihren verschiedenen Fall-Szenarien lösen?
3. Wie hoch fallen die Kosten für die jeweilige Lösung aus?

Im Jahr 2016 werden als Hauptthema die Umsetzungsbarrieren (Normung, Standardisierung, Daten und Geschäftsmodell) für die Einführung von intelligenten Wärmepumpensystemen mit Smart Grids in den Fall-Szenarien behandelt. Darüber hinaus wird eine Roadmap entworfen, wie die Herausforderungen zu bewältigen sind. Nachfolgend werden beispielhaft aus unterschiedlichen Ländern umsetzungsrelevante Entwicklungen aus dem Jahr 2015 im Überblick dargestellt [Wag 2015]:

- Niederlande: Die Einführung von flexiblen Stromtarifen für Endnutzer von Wärmepumpen, die auf 15-Minuten-Intervallen basieren, sollen getestet werden. Diese Maßnahme wird als zukunftssträchtige Entwicklung gesehen. Wenn dieser Test erfolgreich ist, wird dieses Modell wahrscheinlich 2018 im ganzen Land verfügbar sein.
- Deutschland: Die in Deutschland entwickelten EEBus-Standards² können mit den meisten anderen Standards kommunizieren.
- Großbritannien: In Manchester wurde eine Smart-Grid-Studie mit 600 Wärmepumpen durchgeführt. Der Netzbetreiber möchte herausfinden, wie viel elektrische Last verlagert werden kann.
- Schweiz und Deutschland: Es gibt einen Effekt, der jeden geldpolitischen Anreiz schlägt, nämlich der Gedanke von Autonomie. Ein Haus kann seinen eigenen Ener-

² EEBus-Standard ist ein international einheitlicher Kommunikationsdatenstandard zur intelligenten Vernetzung von Haushaltsgeräten und Anwendungen mit dem Ziel der Energieeffizienzsteigerung. [EEBus 2017]

giebedarf decken und ist somit unabhängig vom elektrischen Netz. In Ländern mit einer niedrigeren Betriebszeit des elektrischen Netzes haben die Menschen weniger Vertrauen in das Energieversorgungssystem und daher ein höheres Interesse an der Möglichkeit der Autonomie.

- Österreich: Das Projekt hat einen zweistufigen Ansatz. Im ersten Schritt wurde ein erweitertes Modell für Simulationen des individuellen Wärmepumpenverhaltens in einem modellierten Haus entwickelt. Daraus wurde ein vereinfachtes Modell abgeleitet, das einen Pool von Gebäuden mit Wärmepumpen bildet und das Verhalten des gesamten Pools simuliert.

6.1 WÄRMEPUMPEN IM RAUMWÄRMEBEREICH UND ZUR WARMWASSERAUFBEREITUNG

Der größte energetische Endverbrauch ist in der Beheizung bzw. Kühlung und in der Warmwassererzeugung bei Wohngebäuden zu finden. Um die gewünschten Klima und Umweltziele erreichen zu können, müssen Maßnahmen getroffen werden, die den Energieverbrauch sinnvoll reduzieren. Eine Möglichkeit ist die Energieeffizienzsteigerung und Ressourcenschonung bei Heizungssystemen (Steigerung der effizienten Gebäudetechnik und Geräte). Auch dem Wärmeverlust von Gebäudehüllen kann mit einer ordentlichen Gebäudedämmung entgegengewirkt werden (Erhöhung der Gebäudeenergieeffizienz). Eine andere Möglichkeit besteht darin, erneuerbare Energieträger wie z.B. Sonnenenergie, Biomasse usw. verstärkt einzusetzen. Werden alle Maßnahmen kombiniert, liegt hier ein großes Einsparungspotential vor und die Klimaziele der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 können leichter und schneller erfüllt werden. Die Wärmepumpentechnologie kann die Aspekte der Energieeffizienz und den Einsatz von freiverfügbaren, unabhängigen Energiequellen (Luft, Wasser und Erde) zu ihrem Vorteil nutzen. Damit eine Wärmepumpe effektiv arbeitet, muss sie fachgerecht ausgelegt und dimensioniert werden. Den höchsten Wirkungsgrad erreicht die Wärmepumpe, wenn ihre Temperaturdifferenz von der aufgenommenen Umgebungswärme zur abgegebenen Heizungswärme gering und konstant ist. Deshalb entwickelt sich der Gebäudesektor bei Neubauten immer mehr zu Niedrigstenergie- und Passivhäusern (Zero-Emissionshäuser) mit Niedertemperaturheizungssystemen, die mittels Flächenheizungen wie Wand- und Fußbodenheizungen realisiert werden. In der Planungs- und Bauphase sind solche Gebäude aufwendiger und teurer, jedoch in weiterer Folge sind ihre Betriebskosten sehr gering. Sie zahlen sich wirtschaftlich und ökologisch aus, obwohl ihre Vorteile erst später zum Vorschein kommen. Es ist sehr viel Überzeugungsarbeit notwendig um die Wärmepumpentechnologie noch stärker und besser in den Markt zu integrieren. In Zukunft wird auch im Sanierungsbereich eine große Chance und großes Potenzial für die Wärmepumpen als Ersatzheizung gesehen. Auch Bestandgebäude können somit ihren CO₂-Emissionsfußabdruck verringern und den Endenergieverbrauch im Gebäudesektor wesentlich senken.

Im Bereich der Raumwärme und Brauchwasserbereitstellung, sowie zur Kühlung von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden im Neubau, ist die Wärmepumpentechnologie heute bereits sehr

weit verbreitet. Diese Wärmepumpenanlagen werden hauptsächlich in Kombination mit Niedertemperaturheizungssystemen am Markt installiert. Auch Wärmepumpenanlagen die mit bis zu 70°C Vorlauftemperaturen arbeiten sind für den Einsatz zur Brauchwassererwärmung und im Gebäudesanierungsbereich verfügbar. In den letzten Jahren hat sich die Wärmequelle Luft am Markt etabliert und wird immer häufiger verwendet. Die Energieeffizienz bei Luft-Wasser Wärmepumpen ist niedriger als bei erdreichgekoppelte Wärmepumpen, dafür sind ihre Anschaffungskosten geringer und die Installation ist wesentlich leichter. Im Bereich der Gebäudesanierung ist die hydrothermale Einbindung von Wärmepumpen in Kombination mit einem vorhandenen Wärmeerzeugungssystem oftmals schwieriger. Aufgrund von außen aufgestellten Verdampfern der Luft-Wasser Wärmepumpen können störende Geräusche generiert werden. Daher werden heutzutage die entstehenden Schallleistungspegel der Anlagen gemessen und angegeben. Zurzeit wird die Wärmepumpentechnologie bei großen Wohngebäuden bzw. Mehrfamilienhäusern und bei gewerblich genutzten Gebäuden kaum bis selten verwendet, obwohl sie ausreichend erprobt und bewährt ist. [ÖTRW 2016]

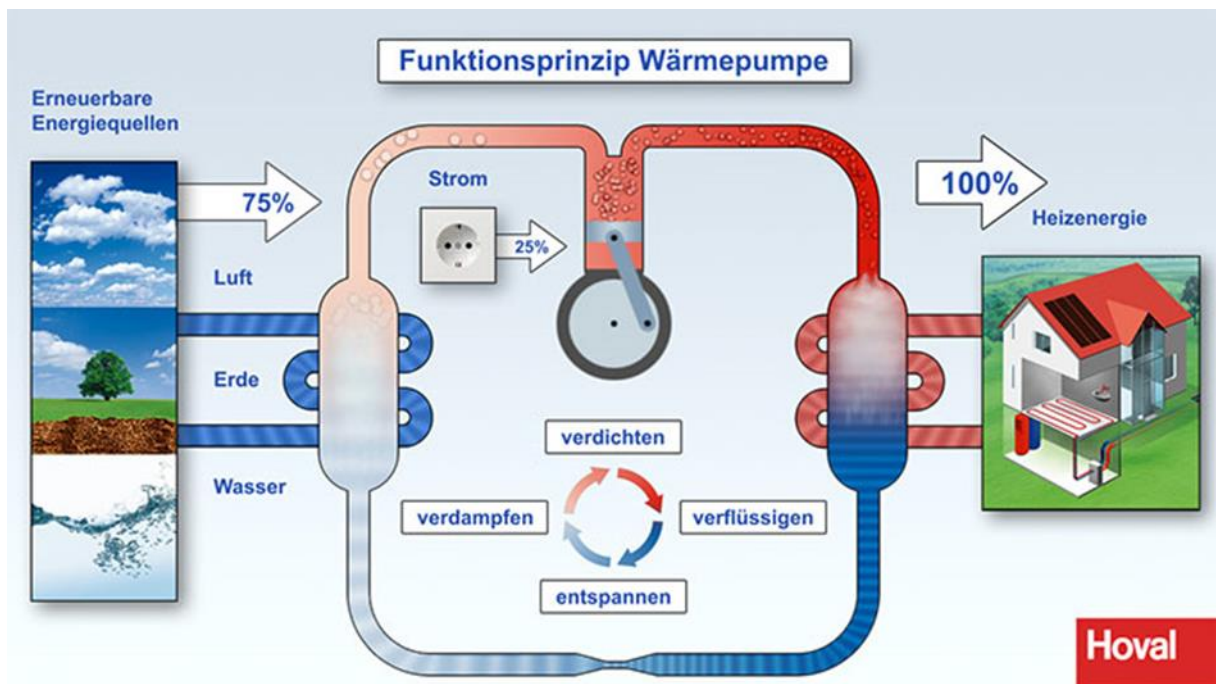


Abbildung 42: Funktionsschema der Wärmepumpe als Heizung [Hoval 2017]

Nachfolgend werden exemplarische Umsetzungsbeispiele dargestellt, die den Wärmepumpeinsatz zur Raumwärmebereitstellung und der Warmwasseraufbereitung zeigen.

Am Beispiel Dänemark wird der Einsatz von Wohnungsgebäude-Wärmepumpen im zukünftigen dänischen Energiesystem erläutert. Die Wärmeversorgung des zukünftigen dänischen Energiesystems sieht eine Versorgung in Gebieten mit hoher Wärmedichte, wie Städte, mittels der Fernwärme und Gebiete mit geringer Wärmedichte, mit Hilfe von individuellen Heizungstechnologien wie z.B. Wärmepumpen vor. Alte Fernwärmeproduzenten, wie Kohlekraftwerke, sollen auf erneuerbare Energieträgertechnologien, wie z.B. große Wärmepumpen, Müllverbrennungsanlagen und Abwärme aus der Produktion von Biokraftstoffen umge-

stellt werden. Neue Gebäude werden nur mehr nach einem hohen Standard der Energieeffizienz gebaut und nutzen als Heizungstechnologie Wärmepumpen. Bei bestehenden Gebäuden wird der Heizbedarf durch Wärmeeinsparungsmaßnahmen (neue Fenster, Dämmung) verringert. Die Studie kommt zu den folgenden Ergebnissen für die Wohn-Wärmepumpenanlagen: Erstens, der Leistungskoeffizient der Wärmepumpen wurde in diesem Modell nicht konstant sondern temperaturabhängig angenommen. Mit der Verwendung des temperaturabhängigen Leistungskoeffizienten wird die Darstellung des jährlichen Betriebs der Wärmepumpen verbessert. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Verwendung von konstanten Leistungskoeffizienten die Gesamtkosten um 0,2 % niedriger und die CO₂-Emissionen um 0,3 % niedriger ausfallen. Zweitens wurde beim Einbau von Erdwärmepumpen der Beschränkungsfaktor für die verfügbare Bodenfläche eingeführt und mit Hilfe des GIS-Werkzeuges (Geographic Information Systems) für jede Parzellenfläche bestimmt. Auch diese Einschränkung hat das Ergebnis beeinflusst, ohne eine Berücksichtigung würden die Gesamtsystemkosten um 0,3 % niedriger ausfallen und eine um 2,7 mal höhere Installation von horizontalen Erdwärmepumpenanlagen durchgeführt werden. [PeKa 2016]

Ein zweites Beispiel zeigt die Anwendung der Wärmepumpentechnologien in deutschen Mehrfamilienhäusern. Ein Drittel des deutschen Hausenergieverbrauchs fällt auf die Wärme und Warmwassergewinnung. Mit Hilfe effizienter Luftwärmepumpen kann dieser Bedarf abgedeckt werden. Die kapazitätsgesteuerten Wärmepumpen gewinnen an Marktanteilen und bieten zudem auch ein hohes Maß an Flexibilisierung im Betrieb. Es besteht die Möglichkeit Wärmepumpen als thermischen Speicher zu nutzen. Durch intelligente Betriebsstrategien von Wärmepumpen kann eine Steigerung und Integration von erneuerbaren Energieträgern wie Wind und Photovoltaik ins Netz gewährleistet werden. In diesem Beispiel werden eine Reihe von operativen Strategien für kapazitätsgesteuerte Wärmepumpen mit einer thermischen Speicherung in deutschen Mehrfamilienhäusern gezeigt. Zu den Anwendungsfällen gehören die Maximierung der Energieeffizienz, die Kostenminimierung und die Nutzung der Photovoltaikproduktion vor Ort. Für einen optimalen Speicherbetrieb wird eine computergestützte Modellvorhersage zusammen mit dem vereinfachten Modell eines Mehrfamilienhauses, einer thermischen Speicherung und einer kapazitätsgesteuerten Luft-Wasser Wärmepumpe bearbeitet. Das resultierende Steuersignal wird dann einem detaillierten Wärmepumpenmodell zugeführt, um den Einfluss auf den Wirkungsgrad der Wärmepumpeneinheit und damit ihren elektrischen Energieverbrauch mit unterschiedlichen Speicheroptionen zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Modellvorhersage-Strategie an unterschiedliche Ziele angepasst werden kann. Es wurde ersichtlich, dass bei einem tageszeitabhängigem Stromkostensystem, das Ziel der kostengünstigsten Wärmegenerierung zu Lasten der Effizienz der Wärmepumpe geht. Des Weiteren werden die potenziellen Anwendungen von Wärmepumpen in Haushalten, die mit einem thermischen Speicher ausgestattet sind analysiert, da sie einen hohen Einfluss auf das Gesamtenergiesystem haben. Der optimale Betrieb und die Einflüsse der Speichergößen auf die Systemleistung werden untersucht. Neben der vereinfachten Systemkonfiguration und geringeren Investitionskosten gegenüber einer Erdwärmepumpe konzentriert sich die Arbeit auf Luftwärmepumpen aufgrund der guten Verfügbarkeit von Luft als Wärmequelle. In Gebäuden mit Wärmepumpen mit thermischem Speicher können Wärmeerzeugung und Wärmenutzung getrennt und damit eine Verlage-

zung des Strombedarfs erreicht werden. Die optimale Betriebsstrategie hängt von der Systemkonfiguration und der Tarifstruktur ab. [FiToLiWHMa 2014]

6.2 WÄRMEPUMPEN ALS STEUERUNGSELEMENT IM ELEKTRISCHEN NETZ

Um die Klimaziele zu erreichen müssen Lösungsansätze gefunden werden, welche die gesetzten Zielvorgaben erfüllen. Mit dem vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energieerzeugern (z.B. Windkraft- und Photovoltaikanlagen) taucht ein großes Problem für das Stromnetz bei der Energieerzeugung und Übertragung auf. Diese können ihre Stromproduktion nicht bedarfsgerecht anpassen, sondern liefern die Energie aufgrund der dargebotsabhängigen Verfügbarkeit. Die Sicherheit der Elektrizitätsversorgung mit der Integration von erneuerbaren Energiequellen ist abhängig von dem Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Last, d.h. die Beibehaltung der Nennbetriebsfrequenz. Das derzeitige Stromnetz arbeitet hauptsächlich mit zentralen Energieerzeugern. Es gilt der Grundsatz, nur so viel Strom zu erzeugen, wie gerade verbraucht wird. Die Speicherkapazitäten im Netz sind sehr begrenzt vorhanden und nutzbar. Mit dem Einsatz von erneuerbaren Energieträgern werden viel mehr Energie aus dezentralen Energieerzeugern wie Photovoltaik, Windenergie und kleinen kombinierte Kraftwärmekopplungsanlagen ins Stromnetz eingespeist. Die Kapazitäten dieser dezentralen Energieversorger lassen sich schlecht prognostizieren und abschätzen. In diesem Fall wird an der Produktion von Strom nichts geändert, sondern es muss eine Lösungen in der Energienachfrage gesucht werden. Grundsätzlich ist es teuer und schwierig elektrische Energie zu speichern um sie zu einem späteren Zeitpunkt wiederzugeben. Somit ist das Stromversorgungssystem einem großen Strukturwandel unterworfen, damit eine Energiewende möglich ist. Speicher und Ausgleichmöglichkeiten im elektrischen Netz müssen geschaffen werden, um das elektrische Netz weiter stabil zu halten. Eine direkte Stromspeicherung mit Batterien ist vergleichsweise teuer und aufwendig. Die leichtere und kostengünstigere Möglichkeit ist, erzeugte elektrische Energie in Form von umweltfreundlicher Wärme zu speichern (Power-to-Heat). Genau hier kann die Wärmepumpe ihr großes Potenzial zur Laststeuerung im Versorgungssystem ausspielen und als Schnittstelle zwischen Strommarkt und Wärmemarkt fungieren. Die strombetriebenen Wärmepumpen mit Pufferspeicher sind als Laststeuerungselement im zukünftigen intelligenten elektrischen Stromnetz einsetzbar. Da bereits eine Vielzahl von installierten Anlagen verfügbar sind, eignen sie sich hervorragend für Lastverschiebungen und Lastflexibilisierungsmaßnahmen. Dadurch können erneuerbare Energieträger wie Wind- und Photovoltaikanlagen vermehrt und besser in das bestehende elektrische Netz integriert werden. Es gibt den Lösungsansatz, durch Netzverstärkung (Verbesserung der Netzübertragungskapazitäten) oder durch die Nachfragesteuerung (DSM = Demand Side Management). Das DSM-Verfahren hat sich als kostengünstigere Methode herausgestellt. DSM ist eine Maßnahme, die darauf abzielt, den Strombedarf eines Verbrauchers zeitlich zu beeinflussen. Es kann in drei Kategorien unterteilt werden. Steigerung der Energieeffizienz zur Reduzierung der benötigten elektrischen Energie. Mit Hilfe einer Energieerzeugung direkt beim Verbraucher werden die Lastkurven im elektrischen Netz abgeflacht. Demand Response (DR) konzentriert sich auf die Änderung der Stromnachfrage in Spitzenzei-

ten um das Gleichgewicht von Angebot und Nachfrage zu halten. Die Verwendung von DR hat mehrere Vorteile. Es verringert sich die Notwendigkeit von Investitionen in Spitzenlastkraftwerke und Netzverstärkungen bzw. Netzausbauten. Durch die Implementierung von DR wird die Versorgungssicherheit erhöht. Darüber hinaus können die Übertragungsverluste gesenkt, Engpässe vermieden und Stromkosten reduziert werden. Dies resultiert aus den eingesparten Investitionen und der Tatsache, dass die Großhandelspreise positiv beeinflussbar sind. Aufgrund von derzeit noch fehlenden geeigneten Informations- und Kommunikationstechnologien wird die DR-Methode noch nicht eingesetzt. Für die Bewerkstelligung muss ein ausgeglichenes und effizientes Lastmanagement entwickelt werden. Smart Grids sollen diese Aufgabe erledigen. Der Austausch von Informationen von Erzeugern und Verbrauchern in einem intelligenten elektrischen Netz ist sicherzustellen. Hier dienen Wärmepumpen als thermischer Speicher. Überschüssiger Strom kann in Form von Wärmeenergie in einem Pufferspeicher oder in der Gebäudestruktur als Fußboden- und Wandheizung selbst gespeichert werden. Steigt der Stromverbrauch im Netz und es kommt zu Engpässen, so werden die Wärmepumpenanlagen abgeschaltet. Die Gebäude sind in der Lage ihre Wärmeenergie für ein paar Stunden aus dem Speicher zu entnehmen ohne dabei auszukühlen. Ein Wärmepumpensystem kann somit als thermische Batterie benutzt werden, um die Zeiten mit hohem Stromverbrauch zu überbrücken. Die Energieversorger sehen die Möglichkeit der Wärmepumpentechnologie als Steuerungselement in zukünftigen intelligenten elektrischen Netzen zum effizienten Lastmanagement. Die Methode das elektrische Netz zu beeinflussen erfolgt anhand von der Steuerung entsprechender Wärmepumpenpools bzw. Wärmepumpen mit großen Leistungen. Dieses Vorhaben der Lastensteuerung mittels Wärmepumpen im intelligenten elektrischen Netz befindet sich derzeit erst im Entwicklungsstadium. Die Wärmepumpenanlagensysteme benötigen eine verbesserte Konnektivität sowie neue Schnittstellen um eine umfassende Informationsstruktur zu gewährleisten und damit ihr volles Potenzial in Smart Grid Systemen auszuschöpfen zu können. Um dieses Ziel in die Praxis umzusetzen, müssen jedoch zuerst so genannte „Smart Electric Grid Technologien“ etabliert werden. Auf dem Markt befinden sich im Moment jedoch schon „Smart Grid Ready“ Wärmepumpen. Es bleiben jedoch noch juristische, sowie technische Fragen zur Umsetzung des Informationsaustauschs vom Netzbetreiber und den Energieversorgungsunternehmen zu klären. Somit leisten Wärmepumpen einen Beitrag zu den 20-20-20 Zielen der EU. Sie tragen zur Entlastung im Stromversorgungssystem bei und werden als bedarfsgerechte Flexibilisierungsmaßnahme bei der Stromnachfrage angewendet. Um dieses Maßnahmen-System verbreiten zu können müssen rechtliche Vereinbarungen, technische Lösungen und ein positives wirtschaftliches Kosten und Nutzungsverhältnis geschaffen werden. [EHPA 2016] [ÖTRW 2016]

Nachfolgend werden ausgewählte Beispiele dargestellt, die das Potenzial der Wärmepumpen als Steuerungselement im zukünftig intelligenten Stromnetz aufzeigen.

Im ersten Beispiel wird das aktivierte Wärmepumpenpotenzial mit Smart Grid untersucht. Um einen Übergang zu einem 100 % fossilfreien Energiesystem realisieren zu können, muss ein extrem starker Ausbau von Wind und Solarenergie bei der Stromerzeugung erreicht werden. Dies erfordert intelligente und effiziente Technologien auf der Nachfrageseite um die Prozesse steuern zu können. Hochschulen und Industrie sehen die Integration von Smart-Grid-

Enabling-Technologie als wegweisende Technik. Diese Maßnahme soll zu einem zuverlässigen, effizienten und sichereren elektrischen Netz beitragen. Zurzeit besteht jedoch noch ein Mangel an Informationen über echte Flexibilität und das Problem Endkunden zu einer aktiven Teilnahme zu bewegen. Die Datenanalysen basieren auf einem Zeitraum von 3 Jahren für 283 Wärmepumpen, die in Dänemark installiert und betrieben werden. Die Ergebnisse werden verwendet, um die Flexibilität der heimischen Wärmepumpen und ihre Fähigkeit auf die Produktion beurteilen zu können. Diese Untersuchung gibt einen Einblick in das Wärmepumpenpotenzial als neue Energie-System-Ressource. Die Arbeit analysiert die realen Umgebungsdaten einer Gruppe von Wärmepumpen und vergleicht diese mit der Windverfügbarkeit im Jahr 2012 in Dänemark. Auf Tages- und Stundenbasis wird das Potenzial von Wärmepumpen für die Integration von Windenergie und die Fähigkeit der Flexibilität zur Verschiebung des Verbrauchs in Abhängigkeit der Zeit erforscht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Wärmepumpenstromverbrauch im Allgemeinen stündlich der Windenergieverfügbarkeit entsprechen kann und die zukünftige Stromversorgungssicherheit von der DSM-Methode profitieren könnte. Die Wärmepumpeneigenschaften wie Wärmekapazität, Wärmequelle, Verteilungssystem und thermischer Energiespeicherkapazität beeinflussen den Erfolg der DSM-Implementierung. [CaDeNi 2014]

Im zweiten Beispiel wird das Ziel des Vereinigten Königreichs die Treibhausgasemissionen um 80 % im Jahr 2050 gegenüber dem Jahr 1990 zu senken untersucht. Ein Lösungsansatz für die Erreichung der Klimaziele ist die Steigerung von erneuerbaren Energieträgern. Dies wiederum führt zu einem erhöhten Aufwand der Steuerung des Stromnetzes. Ein weiterer Punkt für die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes ist die Elektrifizierung der Heizungen in den Häusern durch die Nutzung von Wärmepumpen. Es wird vorausgesagt, dass in Großbritannien 2,5 bis 4 Millionen Wärmepumpen bis zum Jahr 2030 in Betrieb gehen können und mit Hilfe von Demand Response (DR) soll eine positive Interpretation in das Gesamtsystem erfolgen. In Zeiten von unzureichender Stromversorgung werden die Wärmepumpen ausgeschaltet und in Zeiten von Stromüberschüssen werden sie aktiviert und arbeiten somit als virtueller Stromspeicher im Stromnetz. In Großbritannien existieren rund 27 Millionen Haushalte und diese beinhalten ein großes Potential für die Verlagerung elektrischer Lasten. In diesem Beispiel werden die Verwendung und die Potenziale von Wohn-DR mit Wärmepumpen für einen effizienten Netzbetrieb in Großbritannien aufgezeigt. Die untersuchte Forschungsfrage zeigt, wie Wohn-DR mit Wärmepumpen für einen effizienten Netzbetrieb genutzt werden und welche Potenziale in Großbritannien vorhanden sind. Die Literaturrecherche ergab, dass bei Wärmepumpen, die für DR in Frage kommen, hohe Potenziale existieren. Der modellierte Basisfall zeigt, dass Spitzenbelastungen auf Netzebene im Winter um rund 6 GW zunehmen würden. Durch DR können diese neuen Spitzenbelastungen vermieden werden. Auf Haushaltsniveau würden die Spitzenbelastungen im Winter um Faktor 2,7 zunehmen. Hier kann DR keine Spitzenbelastungen vermeiden, aber den Faktor auf 2,3 senken. Im Idealfall würde die Netzspitzenbelastung an den kältesten Wintertagen um 2 GW zunehmen, was durch DR vermeidbar ist. Daher hat DR mit Wärmepumpen ein hohes Potenzial auf Netzebene und eine geringere Auswirkung auf die Haushaltebene. Unsicherheiten werden durch die Datenqualität, den Modellierungsansatz und die Sensitivitäten der Leistungszahl COP der Wärmepumpen verursacht. Darüber hinaus bestehen Einschränkungen

aus vernachlässigbaren wirtschaftlichen, politischen und verhaltensbezogenen Rahmenbedingungen. [KrSp 2015]

Im dritten Beispiel wurde der Einsatz von Wärmepumpen in einem intelligenten elektrischen Netz analysiert und lässt folgende Schlussfolgerung zu: Wärmepumpen gelten als eine wichtige Technologie, um den erneuerbaren Energieträgern die Kraftwerksflexibilität zu bieten und effiziente Heiz- und Kühllösungen für Wohngebäude zur Verfügung zu stellen. Diese Technologie wird durch die Steigerung der Energieeffizienz, den Einsatz von Rechen- und Kommunikationstechnologie, sowie die vermehrte Erzeugung aus erneuerbaren Energiequellen unterstützt. Um die Wärmepumpen erfolgreich in ein Smart Grid zu integrieren, ist es entscheidend, für eine ganzheitliche Betrachtung des betroffenen Energiesystems zu sorgen. Der Fokus darf nicht nur auf den effizienten Betrieb der Wärmepumpe gelegt werden, sondern es müssen auch die Eigenschaften des elektrischen Netzes angepasst werden um unnötige Kosten zu vermeiden und Ressourcen im Stromnetz intelligent zu nutzen. Die Untersuchungen zeigen, dass Wärmepumpen genutzt werden können, um den Übergang zu einem erneuerbaren, miteinander verbundenen Energiesystem zu erleichtern. Es wird hingewiesen, dass ein veränderter Wärmepumpenbetrieb sich auf die Effizienz auswirken kann. Hohe Lagertemperaturen, nicht optimaler Betrieb der Drehzahl des Verdichters oder häufiges Schalten der Wärmepumpenaggregate wirken sich negativ auf die Energieeffizienz aus. Die potenzielle Flexibilität von Wärmepumpenanlagen, die bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden sollte, hängt vor allem von der Bauphysik, dem daraus resultierenden Wärmebedarfsprofils der Wärmepumpe, dem Lagertyp sowie der Gebäudegröße und der eingesetzten Regelungsstrategie ab. [FiMa 2016]

Ein weiteres Beispiel beschäftigt sich mit wirtschaftlichen Fragestellungen, wie die Wärmepumpentechnologie zur Lastverschiebung im elektrischen Netz genutzt werden kann. Mit ihrer thermischen Flexibilität ist es möglich in den Elektrizitätsmärkten auf verschiedene Preissignale zu reagieren. Dies zu bewerkstelligen ist eine perfekte Abstimmung aller Komponenten Voraussetzung. Die Wärmepumpenanlage muss auf das Gebäude angepasst werden. Es wird die Verwendung des richtigen Heizungssystems und ein entsprechend dimensionierter thermischer Speicher benötigt. Dazu wurde in diesem Beispiel ein Optimierungsmodell entwickelt, bei dem die Betriebskosten eines Wärmepumpenpools verringert werden können. In der Simulation hat sich gezeigt, dass durch die Lastverschiebung des Wärmepumpenpools, die Energieeffizienz der Wärmepumpen sehr stark abfällt. Im elektrischen Netz muss immer eine Ausgewogenheit zwischen der Energieerzeugung und dem Energieverbrauch herrschen um es stabil zu halten. Mit dem vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energieträgern wie Wind und Sonne taucht das Problem mit der Versorgungssicherheit auf. Deshalb werden auf der Verbraucherseite vermehrt flexible Energieeinheiten nachgefragt, die mit den ungewollten Erzeugungsschwankungen im elektrischen Netz umgehen können. Die technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen bezüglich der Flexibilität werden ausgearbeitet. Ein großes Potenzial der elektrischen Lastverschiebung wird den Privathaushalten zugeschrieben. In dieser Studie ist eine Potenzialabschätzung der Wärmepumpenanlage mit thermischen Speichern in Österreich in den Fokus genommen worden.

Die Untersuchung besagt, dass durch den Einsatz eines dynamischen Preissignals für den Wärmepumpenpool große Stromkosteneinsparungen vor allem in den Wintermonaten möglich sind. Jedoch müssen Einbußen in der Wärmepumpeneffizienz einkalkuliert werden. Es kann sich diese Kosteneinsparung auch umkehren und aufgrund der nichtoptimalen Nutzung dann zu höheren Gesamtkosten kommen. [LEF 2016]

Ein weiteres Beispiel behandelt die Auswirkungen einer verstärkten Nutzung von Luftwärmepumpen mit Wärmespeichern und die Integrationsmöglichkeit von erneuerbaren Energieträgern in der Stadt Hamburg. Modelle und Simulationen wurden entworfen, welche die zukünftige Energieversorgung und die CO₂-Emissionen der Hansestadt nachprüft. Analysiert wird die Höhe des Lastverschiebungspotenzials mit Wärmepumpen und thermischen Speichern. Mittlerweile wird ein großer Teil der deutschen Stromversorgung aus erneuerbaren Energieträgern, wie Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen produziert. Da diese nicht konstant Energie liefern können wird es notwendig auf der Verbraucherseite gewisse Maßnahmen bezüglich der Flexibilisierung des Energieverbrauchs zu treffen. Es kommt das „Demand Side Management“ (DSM = Nachfragesteuerung) als Lösungsansatz in Frage. Die technisch einfachste und kostengünstige Lösung der Energiespeicherung von überschüssiger elektrischer Energie aus Wind- und Sonnenkraft erfolgt via thermischer Energiespeichermedien (Power-to-Heat). Genau hier können die Wärmepumpen in Haushalten als Schlüsseltechnologie fungieren. Ein weiterer Nebeneffekt ist, dass somit fossile Heizungsanlagen im Bereich des Privathaushaltes abgelöst werden. In diesem Beispiel wurde somit das Potenzial der Lastverschiebung mit der Luftwärmepumpe zusammen mit Warmwasserspeicher für die Hansestadt Hamburg erarbeitet. Einbezogen wurde, auch die CO₂-Emissionen und die Integration der erneuerbaren Energiequellen im deutschen Energieversorgungsnetz Hamburgs. [KDA 2016]

6.3 WÄRMEPUMPEN IN THERMISCHEN NETZEN

Unter dem Begriff thermisches Netz werden die Fernwärmeleitungen verstanden. Diese liefern im Winter die Wärmeenergie an die Verbraucher und im Sommer die Kälteenergie für die Kühlung der Gebäude. Auch hier können Wärmepumpen in das thermische Netz implementiert werden. Außerhalb von Österreich wurde diese Integration von Wärmepumpentechnologien schon sehr oft erfolgreich angewendet. Dort wurden die Vorlauftemperaturen der Fernwärmenetze mit einer Temperatur unter 100 °C betrieben. Die Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes in Österreich beträgt im Durchschnitt hingegen 120 °C und in Wien sogar 150 °C. Genau diese hohen Vorlauftemperaturen behindern und hemmen den Einsatz von Wärmepumpen in thermischen Netzen. Mit der heutigen Wärmepumpentechnologie ist es zwar möglich eine Vorlauftemperatur von 120 °C zu erreichen, jedoch ist der Einsatz von Wärmepumpen in diesem Temperaturbereich eine Frage der Wirtschaftlichkeit. Das zukünftige Fernwärmenetz wird ihre Vorlauftemperatur senken und dadurch wird das Potenzial der Wärmepumpen deutlich erhöht. Es kann dann vermehrt industrielle Abwärme ins Fernwärmenetz eingespeist werden und somit eine größere Nutzung der Umweltwärmeenergie mit

Hilfe der Wärmepumpentechnologie erreicht werden. Wird für die Brauchwasseraufbereitung eine höhere Temperatur als 60 °C vom Niedertemperatur-Fernwärmenetz benötigt, können vor Ort sogenannte Booster-Wärmepumpen eingesetzt werden. Die Booster-Wärmepumpen können die Temperatur bei Bedarf auf über 60 °C anheben und somit die Bakterien und Keime im Trinkwasser abtöten. Solche Geräte befinden sich in der Entwicklung und werden getestet. Wenn Sie ausgereift sind, werden sie auf den Markt gebracht. [ÖTRW 2016]

In Stockholm werden Fernwärmenetze auch mit der Abwärme von Datacentern, die permanent gekühlt werden, gespeist. Zudem werden auch Wärmepumpen die das Meerwasser als Energiequelle nutzen ins Fernwärmenetz mit einem Temperaturniveau von 68 °C eingebunden. Damit wird erreicht, dass das Stockholmer Fernwärmenetz nur mehr aus erneuerbaren Energieträgern und aus nicht fossilen Abwärmequellen betrieben wird. Das schwedische System dient als Vorbild für alle europäischen Fernwärmenetze und andere Länder können von ihren Erfahrungen profitieren. [WP FWNSt 2017]

In einigen Städten der Schweiz und Deutschland wird die Wärmeenergie aus Abwasser, etwa 22 °C Durchschnittstemperatur (auch im Winter), mit Hilfe von Wärmetauschern in der Kanalisation und mit der Wärmepumpe zum Heizen und/oder Kühlen von Gebäuden genutzt. In Österreich hingegen wurde bis vor kurzem diese Ressource Abwasser kaum bis gar nicht beachtet. In Amstetten (Niederösterreich) ist ein Vorzeige-Praxisbeispiel für die Nutzung der Abwärmeenergie von Abwasser zur Heizung und Kühlung von Gebäuden in einem Nah-Fernwärmenetz realisiert. Die Initiatoren Abwasserverband, Stadtwerke Amstetten und Gemeinde haben eine Anlage mit der Energiequelle Abwasser und einer Wärmepumpe als „Recyclingmotor“ im Oktober 2012 installiert und in Betrieb genommen. Das Fernwärmenetz wurde auf Niedertemperatur umgestellt und eine Wärmepumpe mit einer Leistung von 228 kW in Kombination mit Pufferspeichern eingebaut. Diese Anlage wird über eine zentrale Leittechnik überwacht und gesteuert. Mit Hilfe eines Wärmetauschers im Kanal wird die Wärmeenergie dem Abwasser entzogen (Abbildung 43) und liefert eine Heizwassertemperatur von 27 °C. Im Sommer wird sie zur Kühlung der Gebäude genutzt. Für die Wärmepumpe wurde nach zwei Heizperioden eine Jahresarbeitszahl von ca. 4,5 errechnet. Ziel dieses Projektes ist es, praxisnahe Erkenntnisse zu gewinnen und die Effizienz der Anlage weiter zu steigern. Auch die Auswirkung der Effizienz der Kläranlage wurde bei abgekühlter Abwassertemperatur berücksichtigt und untersucht. Das Ergebnis war beeindruckend, denn das Abwasser hat ca. 0,15 °C an Temperatur verloren und den Betrieb der Kläranlage nicht beeinträchtigt. Laut den Stadtwerken Amstetten beträgt der Energieverbrauch für dieses Objekt 330.000 kWh pro Jahr. Die alte Anlage wurde mit einer Erdgaskesselanlage versorgt die einen Jahresenergiebedarf von 37.000 m³ Erdgas und einen CO₂-Emissionausstoß von 75,12 t pro Jahr aufweist. Mit Einsatz der Wärmepumpe wird ein CO₂-Emissionausstoß nach dem österreichischen Strommix von 20,71 t pro Jahr berechnet und bedeutet eine CO₂ Einsparung von 72,43 % gegenüber dem alten System. Die Investitionskosten für dieses Projekt betragen € 240.000,- Euro und rechnet sich bereits nach 12 Jahren. [WP AbWAm 2017]



Abbildung 43: Wärmetauscherflächen im Abwasserkanal in Amstetten [WP AbWAm 2017]

In der Hansestadt Lübeck wurde 2015 ein Pilotprojekt zur Wärmenutzung aus dem Abwasserkanal realisiert. Ein 540 m langer Abschnitt des Schmutzwasserentsorgungskanals in der Ratzeburger Allee (Lübeck-St. Jürgen) aus dem Jahre 1931 sollte künftig mit Hilfe von Wärmetauscherflächen und Wärmepumpen zur Beheizung von ca. 230 Wohnungen genutzt werden. Die Entsorgungsbetriebe Lübeck berechneten eine Entzugsleistung für den Kanal mit 110 kW und die Wärmepumpe wurde mit einer Leistung von 147 kW ausgelegt. Mit diesem System ist es möglich die sonst ungenutzte Abwasserenergie effizient auszunutzen und somit auch Ressourcenschonung zu betreiben. Rund € 3,5 Millionen Euro betragen die Kosten für das Kanalsystem mit dem Wärmetauscher. Der Hersteller der Wärmetauscherflächen gibt eine Nutzungsdauer von 40 Jahren an. Somit stellt diese Investition ein sehr gutes und nachhaltiges Heizungssystem für die Stadt sicher. [WP AbWL 2017]

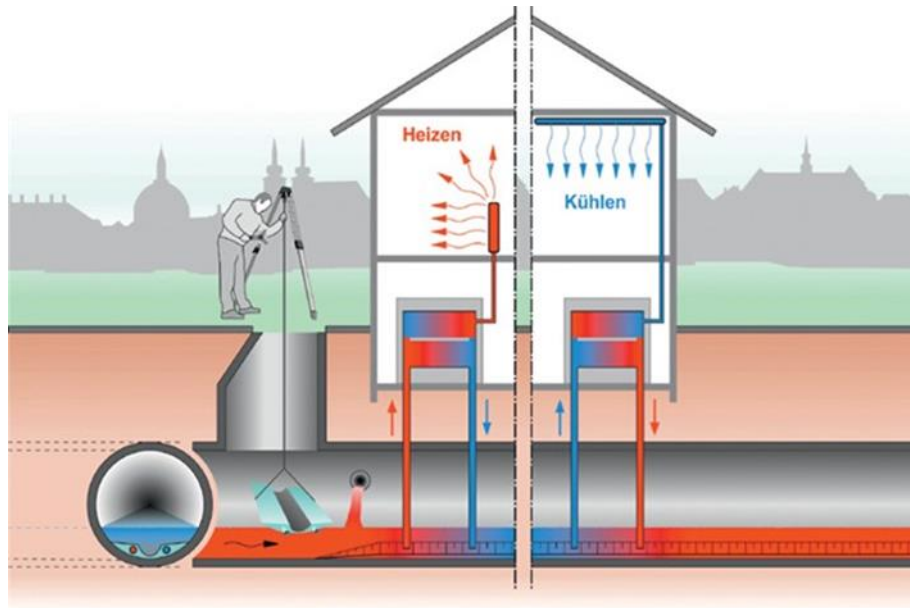


Abbildung 44: Prinzip der Abwasser-Wärmepumpe [WP AbWL 2017]

In Abbildung 44 ist der prinzipielle Aufbau der Abwasser-Wärmepumpe dargestellt. Die Wärmetauscher bestehen aus einem doppelschaligem Druckbehälter aus Edelstahl und das warme Abwasser überspült vollflächig die Wärmetauscheroberfläche. Der Wärmetauscher wird selbst von einem Trägermedium im inneren durchflossen und entnimmt somit die Wärme aus dem Abwasser. Mit Hilfe einer Wärmepumpe kann die gewonnene Wärmeenergie in eine nutzbare Energie transformiert werden. [WP AbWL 2017]



Abbildung 45: Abwasser-Wärmepumpe in der deutschen Stadt Lübeck [WP AbWL 2017]

Die Abbildung 45 zeigt einen Ausschnitt vom fertiggestellten Abschnitt des Schmutzwasserkanals mit einer speziellen Bauform des installierten Wärmetauschers in der Kanalsole der Hansestadt Lübeck. [WP AbWL 2017]

6.4 WÄRMEPUMPEN IM INDUSTRIELLEN BEREICH

Ein weiteres Gebiet in dem Wärmepumpen ein großes technisches und ökonomisches Potenzial darstellen können, ist in der Industrie und in den Gewerbebetrieben zu finden. Dort kann die Wärmepumpentechnologie zur Bereitstellung von Prozesswärme und zusätzlich kann auch noch die Ab- bzw. Restwärme des industriellen Prozesses ausgenutzt werden. Damit können enorme Energieeinsparungen und Effizienzsteigerungen im industriellen Bereich bewirkt werden. Jedoch befindet sich die Integration der Wärmepumpe in den Industrieprozess im Anfangsstadium. Dieser Wärmepumpenbereich wurde erst mit dem Datenjahr 2012 explizit erfasst und ihre Stückanzahlen sind sehr gering. Zum jetzigen Zeitpunkt kann noch kein signifikanter Markttrend vorausgesagt werden. Die größte Barriere für die erfolgreiche Einbindung der Wärmepumpen ist zurzeit die mangelnde Information und der Bekanntheitsgrad der technisch umsetzbaren Anwendungsmöglichkeiten, des Weiteren stellt sich die Frage, ob eine solche Veränderung auch wirtschaftlich ist. Vom Gesichtspunkt der Umwelt, ist die Wärmepumpe jedenfalls in den Industrieprozess einzubinden (Energieeffizienz, Ressourceneinsparung, Kostensenkung). Die industriellen und gewerblichen Wärmepumpenanlagen müssen von vornherein fachgerecht geplant, für den jeweiligen Industrieprozess angefertigt und angepasst werden. [ÖTRW 2016]

Es folgen ausgewählte Fallbeispiele für Wärmepumpen im industriellen Einsatz.

Hochtemperatur-Wärmepumpen werden im industriellen Trocknungsprozess zwischen 100 °C - 200 °C Trocknungstemperatur eingesetzt. Trocknungsprozesse haben einen sehr intensiven Energiebedarf, der sich mit rund 25 % des gesamten Industrieverbrauchs niederschlägt. Ungenutzte Abwärmeenergiemengen können mit Hilfe der Wärmepumpen genutzt werden und in den Industrieprozess zurückgeführt werden. Ein großes Einsparungspotenzial und Energieeffizienzsteigerung der Industrie ist dadurch möglich. Im österreichischen Industriesektor beträgt der energetische Endverbrauch rund 30 %. In dieser Arbeit wurde die effiziente Wärmepumpeneinbindung in den industriellen Trocknungsprozess analysiert. Das Ergebnis zeigt, dass ein Potenzial von mindestens 50 % Primärenergieeinsparung möglich wäre. Die Industrie kann dadurch ihren CO₂-Fußabdruck und ihre Betriebskosten erheblich senken. [WHFPHW 2016]

Die ECOP Rotationswärmepumpe ist eine extra für den industriellen Bereich entwickelte Wärmepumpe mit dem Einsatzbereich von -20 °C bis 150 °C (Abbildung 46). Die effiziente Verdichtung erfolgt über die Zentrifugalkraft und erreicht bei der Entspannung des Trägermediums einen sehr hohen Wirkungsgrad. Der thermodynamisch linksläufige Kreisprozess wird ausgeführt, indem vereinfacht gesagt, der Prozessablauf im Roter in fünf einzelne Pro-

zessschritte unterteilt wird. Zwei große Vorteile werden beim Joule Prozess ersichtlich. Der erste Vorteil ist die Flexibilität des Temperaturniveaus mit nur einer Maschine. Der zweite Vorteil liegt im Wärmeaustausch bei gleitender Temperaturänderung und es wird eine höhere Leistungszahl COP (Wirkungsgrad der Maschine) erreicht. Auf diesem Prinzip wurde eine 700 kW „Rotation Heat Pump K7“ für die Industrie entwickelt und ist ab 2017 frei im Markt verfügbar. [AM 2016] [ECOP 2017]

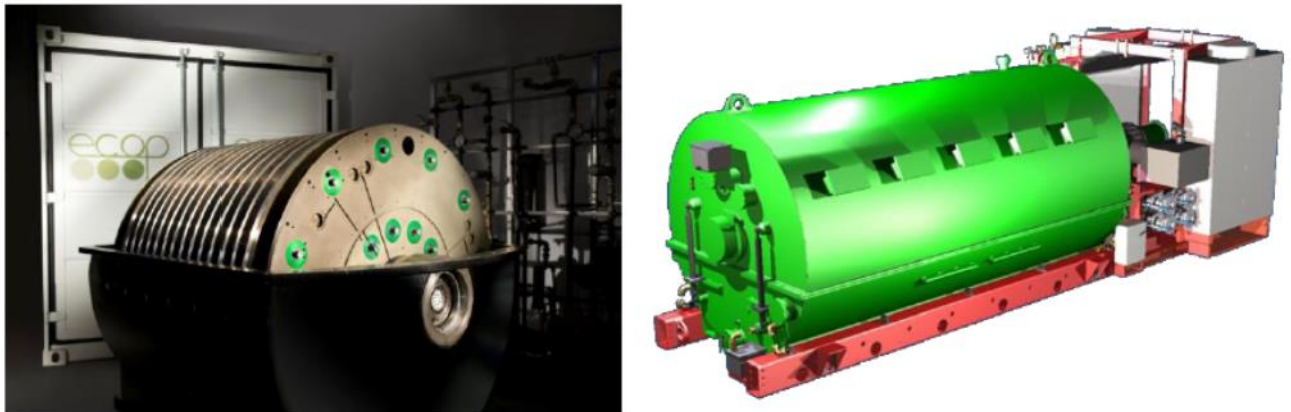


Abbildung 46: links die Testanlage der ECOP Rotationswärmepumpe und rechts das Produkt „Rotation Heat Pump K7“ [ECOP 2017]

6.5 WÄRMEPUMPEN IN ELEKTROAUTOS

Ein Beitrag zur Reduktion der Klimaproblematik kann durch die Umstellung des Individualverkehrs auf Elektroantrieb geleistet werden. Es wird erwartet, dass die Zahl der Elektroautos in den nächsten Jahren rasant anwächst. Die Vorteile der Elektromobilität sind ihre Umweltfreundlichkeit, da sie keinen örtlichen Emissionsausstoß (CO₂ und Feinstaub) verursachen und daher ideal für Städte geeignet sind. Elektroautos verursachen keinen Lärm. Für die Fußgänger ist dies jedoch ein Problem, deshalb werden sie mit akustischen Signaltönen ausgestattet damit ein gewisser Fußgängerschutz gewährleistet ist. Der Elektromotor hat einen höheren Wirkungsgrad gegenüber einem Verbrennungsmotor und ist wartungsfrei, was die Betriebskosten erheblich senkt. Zurzeit sind Elektroautos in der Anschaffung noch teuer, dies ist hauptsächlich auf die Kosten für die Batterie als elektrischer Speicher zurückzuführen. Wegen der beschränkten Batteriekapazität ist auch die Reichweite von Elektroautos begrenzt und die Aufladezeit der Batterie an einer normalen Haushaltssteckdose dauert zu lange. Es müssen zunächst noch Infrastrukturen von Schnellladesäulen installiert werden um die Elektroautos attraktiver zu machen. Durch die Elektromobilität kann die Importabhängigkeit von Rohöl und die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor verringert werden. Es entstehen neue innovative Industriebereiche in denen sich die österreichische Wirtschaft ihre Chancen als Technologiemarktführerschaft erarbeiten kann. Elektrofahrzeuge werden als zukünftige Antriebsenergieform für den PKW-Bereich gesehen.

Die Politik in Österreich hat am 23. November 2016 den Ausbau der Elektromobilität beschlossen. Die gesamte Fördersumme von € 72 Mio. Euro wird über die Kommunalkredit Public Consulting (KPC) subventioniert. In diesem Maßnahmenpaket werden Ankaufreize für private und betrieblich genutzte Elektrofahrzeuge sowie der Ausbau von Ladeinfrastruktur unterstützt. Zusätzlich sollen Elektroautos (Nullemissionsfahrzeuge) eigene Autokennzeichen erhalten und somit in den Genuss von weiteren Anreizen von Ländern, Städten und Gemeinden erhalten wie z.B. eigene ausgewiesenen Parkplätze mit Ladesäulen, Ausnahmen bei Halte- und Parkverbot sowie Parkgebührenbefreiung. Elektrofahrzeuge in Österreich sind von der NOVA (Normverbrauchsabgabe) und von der motorbezogenen Versicherungssteuer befreit. Unternehmen mit Elektroautos haben einen Vorsteuerabzug und Unterliegen der Sachbezugs-Befreiung. Viele Versicherungsgesellschaften bieten spezielle Tarife für Elektrofahrzeuge, die einen erheblichen Nachlass der Beitragsbezüge sicherstellen. [Emob 2017] [Emob2 2017]

Durch den Vorteil der Energieeffizienz (höheren Wirkungsgrad) bei Elektroautos fällt die Abwärmeenergie (Verlustenergie) gegenüber einem Verbrennungsmotor weg und es bedarf einer anderen Lösung für die Beheizung des Fahrzeuginnenraums. Bei herkömmlichen Autos wird die Abwärme des Motors für die Beheizung des Fahrzeuginnenraums verwendet. Die einfachste Möglichkeit einer Fahrgastraumheizung im Elektroauto wäre ein direkter elektrischer Verbraucher (Heizstab). Jedoch ist die teure elektrische Energie viel zu kostbar um sie nur für das Heizen zu verschwenden und auch die Reichweite des Elektrofahrzeugs verringert sich - vor allem in den Wintermonaten - dadurch dramatisch. Deshalb sind neue Lösungsansätze notwendig und auch in diesem Bereich können die Wärmepumpen den entscheidenden Vorteil der Energieeffizienz für sich ausspielen und liefern somit einen großen Beitrag zu den Klimaschutzzielen.



Abbildung 47: Energieeffiziente Klimatisierung von Elektrofahrzeugen [ATZ 2013]

Die Wärmepumpentechnologie kann in Elektroautos zur Beheizung und Kühlung des Fahrzeuginnenraums, somit als Klimaanlage eingesetzt werden. Durch den Einsatz von Wärmepumpen ist es möglich, die wertvolle elektrische Energie im Elektroauto, vor allem im Winterbetrieb, zu schonen. Besonders im Winter ist die Reichweite von Elektroautos begrenzt. Wird die benötigte Wärme direkt aus elektrischer Energie generiert, um den Fahrgastraum aufzuheizen, nimmt die Reichweite des Elektroautos rapide ab. Eine Wärmepumpe benötigt nur rund $\frac{1}{4}$ der elektrischen Energie für die Wärmebereitstellung gegenüber einem rein elektrischen Beheizungssystem. Deshalb beschäftigt sich die IAV (Automotiv Engineering) seit 2011 mit dieser effektiven, alternativen Klimaanlage für Elektrofahrzeuge. Bei diesem Systemansatz kommt eine Wärmepumpe mit dem Kältemittel R 744 (CO_2) in Kombination mit einer Flächenheizung zur Anwendung (Abbildung 47). Simulationen und Erprobungen wurden durchgeführt um dieses System auf seine Leistungsfähigkeit hin zu überprüfen. [ATZ 2013]

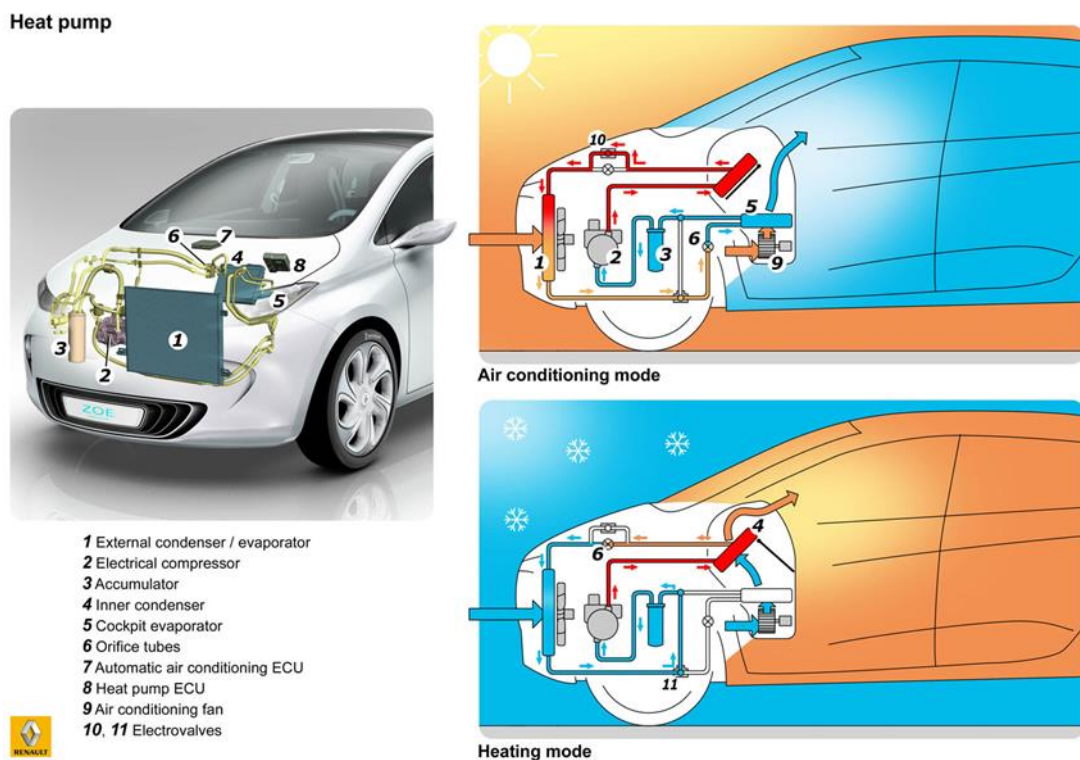


Abbildung 48: Umkehrbare Wärmepumpe im Renault Zoe [WP Eauto 2017]

Der französische Autobauer Renault verwendet eine umkehrbare Wärmepumpe als Klimaanlage und Heizung in seinem Elektromobil Zoe, das bereits seit dem Jahr 2013 auf dem Markt ist (Abbildung 48). Bei diesem Fahrzeug wird die Wärme für den Fahrgastraum mit Hilfe eines Kompressors und der Umgebungswärme erzeugt. Laut Renault ist mit dem Einsatz der umkehrbaren Wärmepumpen als Klimaanlage möglich bei nur 1 kW Stromeinsatz, 3 kW Kälte- und 2 kW Wärmeenergie zu erzeugen. Im Winter wird eine 25 % höhere Reichweite bei Elektroautos erreicht, als wenn zur Beheizung elektrischer Strom aus dem Batteriespeicher genutzt wird. Die benötigte Wärme bzw. Kühlung im Sommer wird von der Wärmepumpe bereitgestellt. [WP Eauto 2017]

7 ZUSAMMENFASSUNG

Sehr viele Staaten haben sich beim Klimagipfel in Paris 2015 verpflichtet das 2,0 °C-Szenario der Erderwärmung einzuhalten. Es müssen strenge Klima- und Umweltauflagen eingehalten werden um den Klimawandel der Erde eingrenzen zu können. Somit ist die zukünftige Energieversorgung einem grundlegenden Strukturwandel unterworfen. Es müssen Lösungen gefunden werden in denen der Klimaschutz, die Ressourcenschonung, die Versorgungssicherheit und die Wirtschaftlichkeit miteinander abgestimmt werden. Dabei bietet sich die Wärmepumpe als eine von vielen Schlüsseltechnologien im Kampf gegen den Klimawandel an.

Wärmepumpen gelten als ein sehr effizientes Heizungssystem, vor allem beim Einsatz in Niedrigenergiehäusern und Passivhäusern. Sie benötigen nur $\frac{1}{4}$ der Wärmeenergie in Form von elektrischer Arbeit, die der Verdichter benötigt um das Temperaturniveau im thermodynamischen Prozess zu heben. Die restlichen 75 % der Wärmeenergie werden aus der frei verfügbaren Umgebung wie Luft, Erde oder Wasser entzogen. Wärmepumpen gelten als ressourcenschonende und umweltfreundliche Heizungstechnologie. Der ausschlaggebende Faktor für die Effizienz der Wärmepumpe ist die Temperaturdifferenz zwischen der Energiequelle und der Vorlauftemperatur des Heizungssystems. Je geringer diese ist, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe und der Verdichter benötigt viel weniger elektrischen Strom um diese Differenz mit Arbeitsenergie auszugleichen. Um die Wärmepumpentechnologie daher effizient integrieren zu können, sollten optimale technische Voraussetzungen bei der Gebäudehülle (Dämmung) und beim Wärmeverteilungssystem (Niedertemperatur mit Fußboden- und Wandheizung) gegeben sein. Wärmepumpen können nicht nur zum Heizen, sondern auch zur Kühlung von Gebäuden genutzt werden (umkehrbare Wärmepumpe). In der Anschaffung sind die Wärmepumpenanlagen somit teurer als konventionelle Heizungsanlagen, jedoch sind ihre Betriebskosten sehr gering und sie sind zudem unabhängig von Rohstoffpreisschwankungen.

Der private Haushaltsbereich nimmt den dritten Platz, nach Verkehr und Industrie beim Endenergieverbrauch der 28 EU Staaten ein. Für die Beheizung der Räume und für die Brauchwasseraufbereitung wird im Privathaushaltssektor der größte energetische Endenergieverbrauchsanteil benötigt. Hier können die Wärmepumpen einen großen Beitrag zum Energiesparen im Privatsektor leisten. Der vermehrte Einsatz von Wärmepumpensystemen könnte fossile Heizungsanlagen, wie Öl-, Erdgas- und Kohlebrenner ersetzen und somit zur CO₂-Emissionsreduktion beitragen. Die Wärmepumpen können somit als ein Lösungsansatz zur Reduzierung des Raumwärmeenergiebedarfs bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch gesehen werden. Zusätzlich verursachen Wärmepumpen keinen direkten Emissionsausstoß und keinen Feinstaub vor Ort und deshalb werden Wärmepumpenanlagen auch vom Bund, Ländern und Städten gefördert. Die Elektrizitätsunternehmen gewähren überdies Subventionen für Wärmepumpenanlagen, welche zumeist als Gutschrift bei der jährlichen Stromabrechnung berücksichtigt werden.

Das lokale theoretische Potenzial der strombetriebenen Wärmepumpen mit Pufferspeicher wurde als Laststeuerungselement im elektrischen Netz mittels einer Regionalisierung auf der lokalen bzw. regionalen NUTS-Ebene untersucht. Im Rahmen der Arbeit wurden unter-

schiedliche Ansätze untersucht. Es zeigte sich, dass die beiden auf den Bevölkerungsschlüssel basierenden Ansätze zu keinem zielführenden Ergebnis führten, da wurde noch zusätzlich eine andere Informationen, wie die Förderungsregularien in der jeweiligen Region, als Gewichtungsfaktor mit einbezogen. Diese Systematik wurde weiters mit der Berücksichtigung des Bestandes der Einfamilienhäuser in der NUTS-3-Ebene vertieft und der direkte Ansatz wurde auf Österreich angewendet.

Darüber hinaus besteht ein entsprechendes Potential für den Einsatz von Wärmepumpen zu Zwecken der Lastverschiebung, wobei dieser Anwendungsbereich zukünftig bedeutsamer wird. Das Elektrizitätssystem befindet sich in einem radikalen Wandel und es werden vermehrt alte thermische Kraftwerke abgeschaltet und Kraftwerke auf Basis erneuerbare Energien wie Wind- und Solarkraft eingebunden. Eine Grundcharakteristik bei der Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung ist ihre zumeist nur dargebotsabhängige Verfügbarkeit. Um das elektrische Netz im Gleichgewicht zu halten, müssen Erzeugung und Verbrauch allerdings zu jeder Zeit ident sein, was einen Netzausbau erfordern könnte. Um diese Investitionen weiter aufzuschieben, können Wärmepumpenpools als Lastverschiebungsmaßnahme angewendet. Herrscht ein Stromüberschuss im Netz besteht die Möglichkeit viele Wärmepumpenanlagen mit integrierten thermischen Speichern einzuschalten und somit elektrische Energie in Form von Wärme zu speichern. In kritischen Zeiten, wenn z.B. eine leistungsmäßige Unterdeckung besteht, werden große Lasten wie z.B. Wärmepumpenpools im elektrischen Netz weggeschaltet, um das Netz weiter stabil zu halten. Bei der Nutzung des Lastverschiebungspotenzials von Wärmepumpen kann es zu einer Reduktion der Effizienz von Wärmepumpensystemen kommen. Zurzeit wird der Vorteil der Lastverschiebung aber als größer angesehen als der Nachteil der Effizienzminderung. Um Lastverschiebung bei Wärmepumpenanlagen durchführen zu können, müssen diese Smart Grid Ready sein. Vorab ist es allerdings notwendig juristische und technische Fragen zur Umsetzung des Informationsaustausches zwischen Netzbetreiber und Wärmepumpenbesitzer zu klären.

Darüber hinaus können Wärmepumpen auch in den zukünftigen Fernwärme- und Fernkältenetzen implementiert werden und somit einen Beitrag zu den Umwelt- und Klimazielen leisten. Ein weiteres Einsatzgebiet für Wärmepumpen ist in der Industrie und in den Gewerbebetrieben zu finden. Dort kann die Wärmepumpentechnologie in den Industrieprozess (Nutzung der Ab- bzw. Restwärme und die Bereitstellung von Prozesswärme) eingebunden werden. Somit kann mit Hilfe der Wärmepumpe die Energieeffizienz gesteigert, Ressourcen eingespart, Kosten reduziert und der CO₂-Emissionsfußabdruck wesentlich gesenkt werden. Im Mobilitätsbereich gibt es einen Trend zum verstärkten Einsatz von Elektrofahrzeugen und hier können Wärmepumpen auf effiziente Weise die Beheizung und Kühlung übernehmen.

8 VERZEICHNISSE

8.1 LITERATUR

- [AM 2016] Bernhard Adler, Rainer Mauthner; "ECOP Rotationswärmepumpe auf Basis eines Joule Prozesses"; 14. Symposium Energieinnovation, 10.-12.02.2016, Graz/Austria
- [ATZ 2013] Jan Ackermann, Claus Brinkkötter, Marc Priesel; „Neue Ansätze zur energieeffizienten Klimatisierung von Elektrofahrzeugen“; ATZ 06/2013; [Online], www.springerprofessional.de/ATZ [Zugriff Jänner 2017]
- [Austrian Energy Agency] "Heizkostenvergleich"; [Online], <https://www.energyagency.at/fakten-service/heizkosten.html> [Zugriff Jänner 2017]
- [BGL 2017] "Wärmepumpen-Förderung Land Burgenland"; [Online], <http://www.burgenland.at/wohnen-energie/energie/downloads/foerderung-alternativenergieanlagen-2016/> [Zugriff Jänner 2017]
- [Bi 2015] Dr. Peter Biermayr; "Erneuerbare Energie in Zahlen 2015, die Entwicklung erneuerbarer Energie in Österreich Datenbasis 2014"; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft; Wien Dezember 2015
- [BMWF 2017] "Bundes-Energieeffizienzgesetz"; [Online], <http://www.bmwf.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/S-eiten/Energieeffizienzpaket.aspx> [Zugriff Feber 2017]
- [CaDeNi 2014] Carolina Carmo, Nina Detlefsen and Mads Nielsen; "Smart Grid enabled heat pumps: An empirical platform for investigating how residential heat pumps can support large scale integration of intermittent renewables"; [Online], <http://www.sciencedirect.com/> [Zugriff Dezember 2016]
- [CS 1978] Dr. Hans Ludwig von Cube, Prof. Dr.-Ing. Fritz Steimle; "Wärmepumpen Grundlagen und Praxis"; VDI-Verlag GmbH, 1978
- [EAG 2017] "Wärmepumpen-Förderung Energie AG"; [Online], http://www.energieag.at/eag_at/page/339536908088248262_0_577756984740025409,de.html [Zugriff Jänner 2017]
- [EBG1 2017] "Wärmepumpen-Förderung Energie Burgenland Kompfortkunde"; [Online], <http://www.energieburgenland.at/privat/bonuswelt/bonusleistungen/heizung.html> [Zugriff Jänner 2017]
- [EBG2 2017] "Wärmepumpen-Förderung Energie Burgenland Premiumkunde"; [Online], <http://www.energieburgenland.at/privat/bonuswelt/bonusleistungen/allgemein.html> [Zugriff Jänner 2017]
- [ECBF 2017] "European Commission-EU Building Factsheets"; [Online], <https://ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-factsheets> [Zugriff Feber 2017]

- [ECOP 2017] "ECOP Rotationswärmepumpe"; [Online], http://www.ecop.at/wp-content/uploads/2016/01/Ecop_EnInnov-2016.pdf [Zugriff Feber 2017]
- [EEBus 2017] "EEBus-Standard"; [Online], <http://www.sma.de/eebus-standardisierte-geraetekommunikation.html> [Zugriff Feber 2017]
- [EHPA 2016] "Heat Pumps and Smart Grids"; [Online], http://www.ehpa.org/media/studies-and-reports/?elD=dam_frontend_push&docID=1930 [Zugriff Dezember 2016]
- [Emob 2017] "Elektromobilität"; [Online], <http://www.klimaaktiv.at/mobilitaet/elektromobilitaet/E-Mobilitaetspaket-2017.html> [Zugriff Feber 2017]
- [Emob2 2017] "Elektromobilität Österreich"; [Online], <http://www.e-connected.at/content/f%C3%B6rderung%C3%B6glichkeiten-%C3%B6sterreich> [Zugriff Feber 2017]
- [ENA 2017] "Wärmepumpen-Förderung Enamo"; [Online], <http://www.enamo-oekostrom.at/Service-Downloads/?hp=86> [Zugriff Jänner 2017]
- [ES 2016] "Energiestatus 2016"; Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft; [Online], http://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/Energiebericht/Documents/Energiestatus_2016_barrierefrei_Impressum.pdf [Zugriff am 24.Jänner 2017]; Wien 2016
- [EurOb 2015] EUROBSERV'ER; "Wärmepumpen Barometer 2015"; EurObserver Marktbericht; [Online], <https://www.euroobserver.org/category/all-heat-pumps-barometers/> [Zugriff Oktober 2016]
- [EurOb 2016] EUROBSERV'ER; "Heat pumps barometer 2016"; EurObserver Marktbericht; [Online], <https://www.euroobserver.org/category/all-heat-pumps-barometers/> [Zugriff Dezember 2016]
- [Eurostat 2] Eurostat; [Online], http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy/de [Zugriff Jänner 2017]
- [Eurostat] Eurostat; [Online], <http://ec.europa.eu/eurostat/> [Zugriff Jänner 2017]
- [EUST 2007] Europäische Kommission - Klimapolitik; "Klima- und Energiepaket 2020"; [Online], http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_de.htm [Zugriff November 2016]
- [FiMa 2016] David Fischer , Hatéf Madani; "On heat pumps in smart grids: A review"; [Online], <http://www.sciencedirect.com/> [Zugriff Dezember 2016]
- [FiToLiWHMa 2014] D. Fischer, T. Rivera Toral , K. B. Lindberg , B. Wille-Haussmann , H. Madani; "Investigation of Thermal Storage Operation Strategies with Heat Pumps in German Multi Family Houses"; [Online], <http://www.sciencedirect.com/> [Zugriff Dezember 2016]
- [HGT 2017] "Heizgradtage"; [Online], <http://www.energiesparhaus.at/fachbegriffe/hgt.htm> UND <http://www.elkage.de/src/public/showterms.php?id=2090> [Zugriff Feber 2017]

- [Hoval 2017] "Wärmepumpe in Gebäude von Hoval"; [Online], http://www.windkraft-journal.de/2015/08/05/wie-sie-mit-kostenloser-energie-aus-der-umgebung-heizen/69564?doing_wp_cron=1487334914.0145130157470703125000 [Zugriff Feber 2017]
- [IEÖMW 2014] Dipl.-Ing. Dr. Peter Biermayr, Dipl.-Ing. Christa Kristöfel, Dipl.-Ing. Dr. Monika Enigl, Dipl.-Ing. Dr. Christoph Strasser, Dipl.-Ing. Dr. Christoph Schmidl, Dipl.-Ing. Dr. Elisabeth Wopienka, Kurt Leonhartsberger MSc., Dipl.-Ing. Hubert Fechner MAS MSc., Dipl.-Päd. Ing. Werner Weiß und Manuela Eberl, Mag. Stefan Moidl und Florian Maringer, "Innovative Energietechnologie in Österreich Marktentwicklung 2014", Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 11/2015
- [IEÖMW 2015] Dipl.-Ing. Dr. Peter Biermayr, Dipl.-Ing. Dr. Christa Kristöfel, Dipl.-Ing. Dr. Monika Enigl, Dipl.-Ing. Dr. Christoph Strasser, Dipl.-Ing. Dr. Christoph Schmidl, Dipl.-Ing. Dr. Elisabeth Wopienka, Kurt Leonhartsberger MSc., Dipl.-Ing. Hubert Fechner MAS MSc., Dipl.-Päd. Ing. Werner Weiß, Manuela Eberl, Mag. Stefan Moidl, Florian Maringer; "Innovative Energietechnologie in Österreich Marktentwicklung 2015"; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 6/2016
- [KDA 2016] Inken Knop M.Sc., P. Dubucq M.Sc., Prof. Dr.-Ing. G. Ackermann; "Beitrag von Wärmepumpensystemen und Wärmespeichern zur Integration erneuerbarer Energien"; Institut für Elektrische Energiesysteme und Automation, Technische Universität Hamburg-Harburg; 14. Symposium Energieinnovation, 10.-12.02.2016, Graz/Austria
- [KEL1 2017] "Wärmepumpen-Förderung KELAG "; [Online], http://haushalte.kelag.at/content/page_heizungswaermepumpen-16724.jsp [Zugriff Jänner 2017]
- [KEL2 2017] "Wärmepumpen-Förderung KELAG Power Partner "; [Online], http://haushalte.kelag.at/content/page_power-partner-installateure-14459.jsp [Zugriff Jänner 2017]
- [Kp 2016] Kompressor .one, Test-Berichte, Vergleiche, Wissen & Technik; "Wie arbeitet der Kolbenverdichter?"; [Online], <http://www.kompressor.one/07-seiten/5060-kompressor-funktion.php> [Zugriff Dezember 2016]
- [KrSp 2015] Lukas Kreuder, Catalina Spataru; "Assessing demand response with heat pumps for efficient grid operation in smart grids"; [Online], <http://www.sciencedirect.com/> [Zugriff Dezember 2016]
- [LAG 2017] "Wärmepumpen-Förderung Linz AG"; [Online], http://www.linzag.at/portal/portal/linzag/privatkunden/wohnungh-aus/strom/foerderungen_3/waermepumpe [Zugriff Jänner 2017]
- [LEF 2016] Lukas Leimgruber, Tara Esterl, Tarik Ferhatbegovic, Andreas Zottl, Martin Krottenthaler, Bertram Weiss; "Wirtschaftliches Potential der Aggregation von Wärmepumpen in Österreich"; 14. Symposium Energieinnovation, 10.-12.02.2016, Graz/Austria

- [NOE1 2017] "Wärmepumpen-Förderung Land Niederösterreich"; [Online], http://www.noe.gv.at/bilder/d59/broschuere_EH.pdf [Zugriff Jänner 2017]
- [NOE2 2017] "Wärmepumpen-Förderung Land Niederösterreich"; [Online], http://www.noe.gv.at/bilder/d59/broschuere_EHS.pdf [Zugriff Jänner 2017]
- [Now 2016] [Online], <https://setis.ec.europa.eu/setis-reports/setis-magazine/low-carbon-heating-cooling/ehpa-secretary-general-thomas-nowak-talks> [Zugriff am 6.Dezember 2016]
- [OOE 2017] "Wärmepumpen-Förderung Land Oberösterreich"; [Online], <http://www.land-oberoesterreich.gv.at/13877.htm> [Zugriff Jänner 2017]
- [ÖTRW 2016] Dipl.-Ing.(FH) Dr. Michael Hartl, Dipl.-Ing. Dr. Peter Biermayr, Mag. Annemarie Schneeberger PMSc, Dipl.-Ing.(FH) Petra Schöfmann; "Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen"; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 8/2016
- [PeKa 2016] Stefan N. Petrović, Kenneth B. Karlsson; "Residential heat pumps in the future Danish energy system"; [Online], <http://www.sciencedirect.com/> [Zugriff Dezember 2016]
- [REB 2002] Prof. Dr. Eckhard Rebnan (Hrsg.); "Energiehandbuch, Gewinnung, Wandlung und Nutzung von Energie"; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002
- [Ru 1978] E. Rummich; "Nichtkonventionelle Energienutzung, Eine Einführung in die physikalische und technischen Grundlagen"; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1978
- [SAG 2017] "Wärmepumpen-Förderung Salzburg AG"; [Online], <https://www.salzburg-ag.at/waerme/sonnenbonus/#sonnenbonus-waermepumpe-2> [Zugriff Jänner 2017]
- [SBP 2003] Univ.-Prof. Mag. DI Dr. techn. Heinz Stigler, DI Udo Bachhiesl, Mag. DI Ludwig Piskernik unter Mitwirkung von MMag. Gerhild Hafner, DI Andreas Schweiger, Mag. Paul Pennerstorfer; "Die Erfolgsgeschichte der Wärmepumpe in Oberösterreich: Vergangenheit und Zukunftstrends"; TUGraz Studie im Auftrag der Energie AG Oberösterreich, Dezember 2003
- [SBZ 2015] SBZ Monteur, SHK-Magazin für Auszubildende und Gesellen; "Erklär mal: Scrollkompressor"; von Loeti, 14. Oktober 2015; [Online], <http://www.sbz-monteur.de/2015/10/14/erklaer-mal-scrollkompressor/> [Zugriff Dezember 2016]
- [SCHE 2016] Wolfgang Schellong; "Analyse und Optimierung von Energieverbundsystemen"; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016
- [SJOE 2017] "Statistisches Jahrbuch Österreichs 2017, Kapitel 22: Energie"; Statistik Austria, [Online], http://www.statistik.at/web_de/services/stat_jahrbuch/index.html [Zugriff Jänner 2017]

- [SLZ 2017] "Wärmepumpen-Förderung Land Salzburg"; [Online], <https://www.energieaktiv.at/information-und-beratung/foerdermoeglichkeiten/direktzuschuss/heizung/foerderung-einer-waermepumpe/> [Zugriff Jänner 2017]
- [Statistik Austria] Statistik Austria; [Online], https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html UND https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/wohnen/wohnungs_und_gebaeudebestand/Gebaeude/index.html [Zugriff Jänner 2017]
- [StLi 2017] "Wärmepumpen-Förderung Stadt Linz"; [Online], <http://portal.linz.gv.at/Serviceguide/viewChapter.html?chapterid=122019> [Zugriff Jänner 2017]
- [STM 2017] "Wärmepumpen-Förderung Land Steiermark"; [Online], <http://www.wohnbau.steiermark.at/cms/ziel/113383975/DE/#tb8> [Zugriff Jänner 2017]
- [TISC 2007] DI Ingolf Tiator, DI Maik Schenker; "Wärmepumpen - Wärmepumpenanlagen"; Vogel Buchverlag 1.Auflage, 2007
- [TIW 2017] "Wärmepumpen-Förderung TIWAG"; [Online], <https://www.tiwag.at/privatkunden/energieeffizienz/foerderungen/photovoltaik-waermepumpe/waermepumpenfoerderung-fuer-wohngebaeude/> [Zugriff Jänner 2017]
- [Tr 2015] Ing. Mag. Georg Trnka; "HEIZKOSTENVERGLEICH DER STERREICHISCHEN ENERGIEAGENTUR, Vollkostenvergleich von Heizsystemen"; Austrian Energy Agency, 2015
- [UK-E 2016] "Elfter Umweltkontrollbericht – Energie"; Umweltbundesamt REP-0600, Wien 2016
- [VAB 2017] "Wärmepumpen-Förderung Land Vorarlberg"; [Online], http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser_energie/energie/energie/foerderungen/sub/foerderungvonelektrische.htm [Zugriff Jänner 2017]
- [VIS 2011] "Planungshandbuch VIESSMANN Wärmepumpen"; [Online], www.viessmann.at/.../Planungshandbuch/...waermepumpen.../p_h-waermepumpen.pdf, 09/2011 [Zugriff Jänner 2017]
- [VKW 2017] "Wärmepumpen-Förderung VKW "; [Online], <https://www.vkw.at/foerderprogramm-privat.htm> [Zugriff Jänner 2017]
- [Wag 2015] Peter Wagener, Business Development Holland b.v., the Netherlands; [Online], https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/reports/iea_hpp_annual_report_2015.pdf [Zugriff Dezember 2016]
- [WHFPHW 2016] Veronika Wilk, Michael Hartl, Thomas Fleckl, Raphael Priesner, Emmerich Haimer, Marnik Wastyn; "Erhöhung der Energieeffizienz industrieller Trocknungsprozesse durch den Einsatz von Wärmepumpen"; 14. Symposium Energieinnovation, 10.-12.02.2016, Graz/Austria
- [WIKI 2016] "Rollkolbenverdichter"; [Online], <https://de.wikipedia.org/wiki/Rotationsverdichter> [Zugriff Dezember 2016]

- [WP AbWAm 2017] "Abwasser Wärmepumpe in Amstetten"; [Online], http://www.abwasserenergie.at/fileadmin/energie_aus_abwasser/user_upload/Beispiel_Amstetten.pdf [Zugriff Feber 2017]
- [WP AbWL 2017] "Abwasser Wärmepumpe in Lübeck"; [Online], <http://www.bi-medien.de/artikel-6221-ub-luebeck-nutzt-waerme-aus-abwasser.bi> [Zugriff Feber 2017]
- [WP Eauto 2017] "E-Auto mit Wärmepumpe"; [Online], <http://www.mein-elektroauto.com/2012/09/renault-veroeffentlicht-neue-details-zu-seinem-elektroauto-zoe/5952> [Zugriff Feber 2017]
- [WP FWNSt 2017] "Wärmepumpe im Fernwärmenetz Stockholm"; [Online], <http://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/erneuerbarewaerme/stadt-quartiere/Stockholm.html> [Zugriff Feber 2017]
- [WPA 2016] "Wärmepumpen haben unterschiedliche Betriebsweisen"; [Online], <https://www.waermepumpe-austria.at/betriebsarten> [Zugriff am 03.Oktober 2016]
- [WPAEO 2016] "Effizienz und Optimierung"; [Online], <https://www.waermepumpe-austria.at/effizienz-optimierung> [Zugriff am 03.Oktober 2016]
- [WPAF 2017] Wärmepumpenverband Österreich; [Online], <https://www.waermepumpe-austria.at/foerderungen> [Zugriff Jänner 2017]
- [WPAQ 2016] "Wärmequellen"; [Online], <https://www.waermepumpe-austria.at/waermequellen> [Zugriff am 03.Oktober 2016]

8.2 ABKÜRZUNGEN

z.B.	zum Beispiel
d.h.	das heißt
bzw.	beziehungsweise
usw.	und so weiter
°C	Grad Celsius
%	Prozent
€	Euro
Ø	Durchschnitt
WP	Wärmepumpe
BW-WP	Brauchwasserwärmepumpe
WW-WP	Warmwasserwärmepumpen
HZ-WP	Heizungswärmepumpen
Q_{zu}	zugeführten Wärmequelle
Q_{ab}	abgegebene Wärme an das Heizungssystem
\dot{Q}_U	aufgenommen Wärme
\dot{Q}_H	Heizwärmemenge
q_{23} , q_{34}	abgegebene Wärmeenergie
q_{zu}	zugeführte Umgebungswärme
T	Temperatur
s	Entropie
η	Wirkungsgrad
\dot{Q}_{ab}	freigesetzte abgegebene Wärmeenergie
\dot{Q}_{zu}	zugeführte Wärmeenergie
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
H-FCKW	teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
H-FKW	teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
NH ₃	Ammoniak
CO ₂	Kohlendioxid
COP	Coefficient of Performance = Leistungszahl
sCOP	Season Coefficient of Performance
JAZ	Jahresarbeitszahl = Seasonal Performance Faktor (SPF)

P_{el}	elektrische Arbeitsleistung
T_0	Temperatur vor dem Verdampfer = Energiequellentemperatur
$T_{\ddot{u}}$	Temperatur nach dem Verdichter = Heizungsvorlauftemperatur
AEA	Austrian Energy Agency = Österreichische Energie Agentur
kWh/m ² a	Kilowattstunden pro Quadratmeter pro Jahr
ÖNORM M 7140	Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach dynamischen Rechenmethoden
VDI 2067	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen
GJ	Gigajoule
TJ	Terajoule
PJ	Petajoule
kWh	Kilowattstunden
GWh	Gigawattstunden
TWh	Terawattstunden
toe	Tonnen Öl-Äquivalent
Mtoe	Megatonne Öleinheiten
t CO ₂ äqu	Tonnen CO ₂ -Äquivalent
Enamo	gemeinsames Unternehmen von Energie AG Vertrieb und LINZ STROM Vertrieb
KELAG	Kärntner Elektrizitäts-AG
TIWAG	Tiroler Wasserkraft AG
TINET	Tiroler Netze GmbH
VKW	Vorarlberger Kraftwerke AG
EVU	Energieversorgungsunternehmen
KPC	Die Kommunalkredit Public Consulting GmbH
EHPA	European Heat Pump Association = Europäische Wärmepumpenvereinigung
SVEP	schwedische Wärmepumpenverband
SULPU	finnische Wärmepumpenverband
ASHPs	Areothermal Heat Pumps = Luftwärmepumpen
GSHP	Geothermal Heat Pumps = Erdwärmepumpen
IEA	International Energy Agency = Internationale Energieagentur
AGEEStat	Deutsches Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

BDH	Bundesverbandes der deutschen Heizungsindustrie
CCR	Carbon Capture and Recovery = CO ₂ -Abscheidung und Speicherung
IDA	The Danish Society of Engineers = Die dänische Gesellschaft von Ingenieuren
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
APPE	Anreizprogramm Energieeffizienz
EU-28	Europäische Union mit ihren 28 Mitgliedsstaaten
NUTS	Nomenclature des Unités territoriales statistique = die Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik
Eurostat	Statistische Amt der Europäischen Union
EurObserv'ER	EU Observatory of renewable energies = EU-Beobachtungsstelle für erneuerbare Energien
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
TIMES-DK	The Integrated MARKAL-EFOM System Denmark
GIS	Geographic Information Systems
DSM	Demand Side Management = Nachfragesteuerung
DR	Demand Response = Bedarfssteuerung
IAV	Automotiv Engineering
NOVA	österreichische Normverbrauchsabgabe
UN	United Nations, auf deutsch Vereinten Nationen

8.3 ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Funktionsprinzip einer Wärmepumpe [SCHE 2016]	8
Abbildung 2: Darstellung des linksläufigen Kreisprozesses im T-s Diagramm [TISC 2007]	10
Abbildung 3: T-s-Diagramm eines idealen Wärmepumpenprozesses [SBP 2003]	10
Abbildung 4: Darstellung eines Scrollverdichters [SBZ 2015].....	12
Abbildung 5: Darstellung eines Hubkolbenverdichters [Kp 2016]	13
Abbildung 6: Darstellung eines Rollkolbenverdichters [WIKI 2016]	14
Abbildung 7: Schematische Darstellung eines Sorptionswärmepumpenprozesses [TISC 2007].....	15
Abbildung 8: natürliche Wärmequellen [CS 1978].....	23
Abbildung 9: Grundwasser ist eine hervorragende Wärmequelle für Wärmepumpen [WPAQ 2016]	25
Abbildung 10: Sogenannte Luftwärmepumpen, die auf die Wärmequelle Luft zurückgreifen, sind besonders einfach zu installieren [WPAQ 2016]	26
Abbildung 11: Senkrechte Erdsonden brauchen wenig Platz [WPAQ 2016]	27
Abbildung 12: Horizontalen Flächenkollektoren mit besonders kostengünstiger Erdwärmenutzung [WPAQ 2016]	27
Abbildung 13: Heizkostenvergleich bei 175 kWh/m ² a Heizwärmebedarf (unsaniert), Stand Jänner 2017 [Austrian Energy Agency]	32
Abbildung 14: Heizkostenvergleich bei 75 kWh/m ² a Heizwärmebedarf (saniert), Stand Jänner 2017 [Austrian Energy Agency]	32
Abbildung 15: Heizkostenvergleich bei 50 kWh/m ² a Heizwärmebedarf, Stand Jänner 2017 [Austrian Energy Agency]	33
Abbildung 16: Die CO ₂ -Emissionen im Vergleich der Heizsysteme und Heizwärmebedarfs [Austrian Energy Agency].....	34
Abbildung 17: Energetischer Endverbrauch nach Sektoren in Österreich im Jahr 2014 [UK-E 2016]	35
Abbildung 18: Endenergieeinsatz für Raumwärme (Heizung und Warmwasser) sowie Klimaanlagen (heizgradtagbereinigt) [UK-E 2016].....	36
Abbildung 19: Anteile erneuerbarer Endenergie in Österreich im Jahr 2014 [Bi 2015]	37
Abbildung 20: Vermiedene CO ₂ -Äquivalent Emissionen im Sektor Wärme 2014 [Bi 2015]..	37
Abbildung 21: Inländische Erzeugung von Umweltenergie [ES 2016]	38
Abbildung 22: Die Marktentwicklung der Wärmepumpentechnologie in Österreich bis 2015, Quelle: EEG, [IEÖMW 2015].....	39
Abbildung 23: Entwicklung der Verkaufszahlen von Wärmepumpen in Österreich von 1975 bis 2015. Quellen: bis 2006: Faninger (2007), ab 2007: Biermayr et al. (2008 ff) [IEÖMW 2015]	40
Abbildung 24: Marktanteile der Wärmequellensysteme von Heizungswärmepumpen und Wohnraumlüftungs-Wärmepumpen im österreichischen Inlandsmarkt in Jahr 2014 [IEÖMW 2014]	42
Abbildung 25: Marktanteile der Wärmequellensysteme von Heizungswärmepumpen und Wohnraumlüftungs-Wärmepumpen im österreichischen Inlandsmarkt in Jahr 2015 [IEÖMW 2015]	42
Abbildung 26: Inlandsmarkt und Exportmarkt für Wärmepumpen (alle Kategorien und Leistungsklassen) für die Jahre 2008 bis 2014. Quelle: Biermayr et.al. (2008 ff) [IEÖMW 2015]	43
Abbildung 27: Anzahl und Prozentverteilung der geförderten Wärmepumpenanlagen durch die Länder und die KPC [IEÖMW 2015]	50
Abbildung 28: Energetischer Endverbrauch der EU-28 Staaten nach Sektoren 2014 [Eurostat 2].....	52
Abbildung 29: Endenergieverbrauch in Privatwohngebäuden 2013 [ECBF 2017].....	52
Abbildung 30: Europäischer Wohnenergieverbrauch nach Funktionen 2013 [ECBF 2017]..	53
Abbildung 31: Raumheizungsanlagen in Europa (2010) [ECBF 2017]	54
Abbildung 32: Verteilung der Wohnungs-Wärmepumpen im Jahr [ECBF 2017].....	54

Abbildung 33: Installierte Luft- und geothermische Wärmepumpen in der EU im Jahr 2014 [EurOb 2015].....	56
Abbildung 34: Installierte Luft- und geothermische Wärmepumpen in der EU im Jahr 2015 [EurOb 2016].....	60
Abbildung 35: Marktanteile zwischen geothermischen und Luft-Wasser Wärmepumpen mit wassergeführten Systemen in 2014 und 2015 [EurOb 2016].....	63
Abbildung 36: Darstellung der NUTS-Klassifikationsebenen [Eurostat].....	70
Abbildung 37: Darstellung der NUTS-3 Ebene in Österreich [Statistik Austria]	71
Abbildung 38: 285.643 Stück Solar, Wärmepumpen-Heizungen 2013/2014 nach Bundesländern im Prozentanteil [Statistik Austria, Energiestatistik; Stand 11.11.2015].....	72
Abbildung 39: 254.320 Stück Wärmepumpen 2014 nach Bundesländern im Prozentanteil inkl. BW-WP [EurOb 2015].....	72
Abbildung 40: Wärmepumpen im Zentrum des neues Energiesystem der EU [EHPA 2016]	78
Abbildung 41: Zukünftige Städte mit Wärmepumpen [EHPA 2016].....	78
Abbildung 42: Funktionsschema der Wärmepumpe als Heizung [Hoval 2017].....	81
Abbildung 43: Wärmetauscherflächen im Abwasserkanal in Amstetten [WP AbWAm 2017]	89
Abbildung 44: Prinzip der Abwasser-Wärmepumpe [WP AbWL 2017]	90
Abbildung 45: Abwasser-Wärmepumpe in der deutschen Stadt Lübeck [WP AbWL 2017] ..	90
Abbildung 46: links die Testanlage der ECOP Rotationswärmepumpe und rechts das Produkt „Rotation Heat Pump K7“ [ECOP 2017]	92
Abbildung 47: Energieeffiziente Klimatisierung von Elektrofahrzeugen [ATZ 2013]	93
Abbildung 48: Umkehrbare Wärmepumpe im Renault Zoe [WP Eauto 2017]	94

8.4 TABELLEN

Tabelle 1:	Ausführliche Beschreibung eines Wärmepumpenprozesses [TISC 2007]	9
Tabelle 2:	Ausführliche Beschreibung der Prozessstufen in einem Thermoverdichter [TISC 2007].....	16
Tabelle 3:	Zusammenfassung der Vorteile/Nachteile von unterschiedlichen Wärmepumpentypen.....	28
Tabelle 4:	Wärmepumpen-Inlandsmarkt nach Leistungsklassen und Wärmequellsystemen [IEÖMW 2014] [IEÖMW 2015].....	41
Tabelle 5:	Förderliste der Länder und Städte, Teil1	46
Tabelle 6:	Förderliste der Länder und Städte, Teil2	47
Tabelle 7:	Förderliste der Energieversorgungsunternehmen	49
Tabelle 8:	Wärmepumpenförderung auf Landesebene und KPC im Jahr 2015 [IEÖMW 2015]	50
Tabelle 9:	Energetischer Endverbrauch der EU-28 Staaten 2014 [Eurostat 2].....	51
Tabelle 10:	Statistik der verkauften Luftwärmepumpen in der EU im Jahr 2013 und 2014 [EurOb 2015].....	57
Tabelle 11:	Statistik der verkauften geothermalen Wärmepumpen in der EU im Jahr 2013 und 2014 [EurOb 2015].....	58
Tabelle 12:	Gesamtanzahl der installierten Wärmepumpen im Jahr 2013 und 2014 [EurOb 2015].....	59
Tabelle 13:	Statistik der verkauften Luftwärmepumpen in der EU im Jahr 2014 und 2015 [EurOb 2016].....	61
Tabelle 14:	Statistik der verkauften geothermalen Wärmepumpen in der EU im Jahr 2014 und 2015 [EurOb 2016].....	62
Tabelle 15:	Gesamtanzahl der installierten Wärmepumpen im Jahr 2014 und 2015.....	63
Tabelle 16:	Zusammenfassung der installierten Wärmepumpenanlagen in der EU in den Jahren 2013, 2014 und 2015 Teil 1 [EurOb 2015] [EurOb 2016].....	67
Tabelle 17:	Zusammenfassung der installierten Wärmepumpenanlagen in der EU in den Jahren 2013, 2014 und 2015 Teil 2 [EurOb 2015] [EurOb 2016].....	68
Tabelle 18:	Vergleich der Wärmepumpenverteilung in Österreich	72
Tabelle 19:	Daten von Österreich in NUTS-3 Regionen, Ostösterreich [Eurostat] [EurObserv'ER] [Statistik Austria].....	73
Tabelle 20:	Daten von Österreich in NUTS-3 Regionen, Südösterreich [Eurostat] [EurObserv'ER] [Statistik Austria].....	74
Tabelle 21:	Daten von Österreich in NUTS-3 Regionen, Westösterreich [Eurostat] [EurObserv'ER] [Statistik Austria].....	75