



BG & BRG mit musischer Ausbildung (HIB) Boerhaavegasse 15, 1030 Wien

Vorwissenschaftliche Arbeit

Die Wärmepumpe und andere alternative Energiesysteme für das Einfamilienhaus

verfasst von
Isai Stuefer
8B

Betreuerin: Mag. Sieglinde Binder-Knoll

Abgabedatum: 12.02.2016

Abstract

Erdgekoppelte Wärmepumpensysteme stehen in dieser VWA im Zentrum. Wärmepumpen werden als innovatives alternatives Energiesystem hauptsächlich im Bereich der Gebäudekonditionierung verwendet.

Dank intelligenter Technik lässt sich mit Wärmepumpen ein maßgeblicher Teil des üblichen Primärenergieverbrauches zur Gebäudeversorgung einsparen, und entlastet auf diese Weise unsere Umwelt. In Kombination mit anderen alternativen Energieerzeugungssystemen ist sie unabhängig von fossilen Brennstoffen und bildet so ein zukunfts-sicheres ökologisch sinnvolles Konditionierungssystem.

Wie das oberflächennahe geothermische Potenzial genutzt werden kann, wird zuerst theoretisch erklärt und anschließend anhand zweier aktueller Referenzprojekte in Österreich gezeigt.

Diese Arbeit basiert auf Fachliteratur, jedoch sind im Laufe des Arbeitsprozesses auch mündliche Quellen und Interviews mit Experten (in erster Linie im praktischen Bereich) eingeflossen.

So konnten die Fragestellungen – Wie funktioniert die Wärmepumpe und welche Einflüsse hat sie auf die Umwelt? Welche Vor- und Nachteile bringt diese Technik mit sich? – nicht nur theoretisch sondern auch praktisch beantwortet werden.

Vorwort

Bereits in jungen Jahren begann ich mich für regenerative Energie und deren Ursprünge zu interessieren. Die Möglichkeit lediglich aus Sonnenstrahlen Strom zu erzeugen war der Ausgang meiner Faszination. Die Neugierde war geweckt und ich begann die Informationen dazu zu sammeln und auch Fachzeitschriften zu lesen.

Als Sohn eines Bauphysikers war der Zugang zu Fachwissen leicht. So kam ich auch zum Thema dieser VWA. Eine herumliegende Zeitschrift aufgreifend, begann ich zu lesen und blieb bei einem Artikel über Wärmepumpen hängen.

Aufgrund schulischer Aufgaben vernachlässigte ich mein Interesse in letzter Zeit etwas. Als ich jedoch erfuhr, ich müsse eine VWA schreiben, war es mir klar. Begeistert nahm ich die Möglichkeit an nun auch in der Schule neben dem allgemein bildenden Unterricht meinen speziellen Interessen nachgehen zu können und sogar weiter vertiefen zu können.

An dieser Stelle möchte ich meinen Eltern, Renate Stuefer und Lucas Artner einen besonderen Dank aussprechen, die mich während der ganzen Arbeit unterstützten. Ebenfalls danke ich Johann Hofinger, der mich mit wichtigen Hinweisen und Informationen versorgte, sowie meiner Betreuerin Sieglinde Binder-Knoll, die mich während der gesamten Arbeit hindurch begleitete.

Wien, 12.02.2016

INHALT

1.	Einleitung	5
2.	Alternative Energiequellen	7
2.1.	Allgemeines	7
2.2.	Windenergieanlagen	8
2.3.	Solare Energie.....	9
2.4.	Erdwärme Nutzen.....	10
3.	Alternative Energiequellen	12
3.1.	Thermodynamik bzw. die Wärmelehre - allgemein	12
3.1.1.	Warum Heizen wir?	12
3.1.2.	Was bedeutet Wärme?	12
3.1.3.	Verschiedene Arten der Wärmeübertragung.....	13
3.1.4.	Energie.....	14
3.1.5.	Druck und Temperatur der Carnotsche Prozess.....	17
3.2.	Wärmeschutz und Energieeinsparung in der aktuellen Bauordnung	17
4.	Wärmepumpe.....	19
4.1.	Chemische Grundlagen der Wärmepumpe.....	19
4.1.1.	Sole	19
4.1.2.	Arbeitsmittel - Wärmeträger	20
4.2.	Aufbau des Wärmepumpenkreislaufes	24
4.2.1.	Verdampfer.....	24
4.2.2.	Verdichter	25
4.2.3.	Kondensator	26
4.2.4.	Expansionsorgan.....	26
4.3.	Erdwärmekollektoren.....	27
4.3.1.	Erdwärmesonden	27
4.3.2.	Horizontalkollektoren.....	27
4.3.3.	Verdampfersonden.....	28

4.4.	Wärmespeicher	29
5.	Der Heizkreislauf.....	30
6.	Beispiele zur Anwendung von Erdwärmesystemen	31
6.1.	Erdwärme Anwendung beim Einfamilienhaus	31
6.2.	Erdwärme Anwendung am Beispiel Hauptbahnhof Salzburg	34
7.	Resümee.....	36
8.	Quellen.....	37
8.1.	LITERATURVERZEICHNIS	37
8.2.	Internetquellen.....	38
8.3.	Gesprächsquellen	39
8.4.	Tabellenverzeichnis	39
8.5.	Abbildungsverzeichnis.....	39

1. EINLEITUNG

Im Leben von uns Menschen ist Energie von großer Bedeutung. Denn für fast alle unserer Tätigkeiten in unserem Alltag wird Energie benötigt. Der wesentliche Teil dieser gebrauchten Energie wird auf der Basis primärer Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas erzeugt und zur Verfügung gestellt. Leider sind diese Ressourcen nur begrenzt vorhanden. Außerdem ist der Verbrauch dieser primären Rohstoffe mit unerwünschten Emissionen verbunden, die nachteilige Auswirkungen auf unsere Erde haben. Deswegen müssen wir den Verbrauch von Primärenergieträgern unbedingt reduzieren, um auch in Zukunft dieselben Lebensstandards halten zu können.

In der Europäischen Union und natürlich auch in Österreich werden 40% des Endenergieverbrauches im Wohn- und Tertiärsektor, der zum größten Teil aus Gebäuden besteht, verbraucht (vgl. RL 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, S.1 Pkt. 6). Diese Energie wird vorwiegend zur Beheizung und Kühlung eingesetzt. Der dadurch entstehende Energieverbrauch wird zu mehr als 75%, laut Fact Sheet Energiemix 2004 (vgl. auch Artner & Trauningner 2015, S.305), durch Primärenergieträger gedeckt. Da unsere Häuser für die Zukunft gebaut werden, liegt es in unserem Interesse diesen Primärenergieverbrauch zu senken, bevor die Ressourcen endgültig schwinden.

Unsere Erde ist ein guter Energiespeicher. Die „Erdenergie“ wird im Vergleich zu anderen alternativen Energien nur gering von und durch Umwelteinflüsse beeinflusst. Mit Wärmepumpen lässt sich dieses thermische Potenzial erschließen. Über solarthermische Anlagen oder Windenergieanlagen wissen wir alle recht gut Bescheid. Über den Gebrauch und die Effektivität einer Wärmepumpe sind nur die Wenigsten gut informiert. Unter Zufuhr von im Vergleich wenig Hilfsstrom kann mit Wärmepumpen der Heizwärmebedarf vollständig gedeckt werden.

Dies ist einer der Gründe, weshalb die Wärmepumpe das Thema meiner Arbeit wurde. Die Funktion und Anwendung von erdgekoppelten –Wärmepumpen wird erläutert, sowie deren Vor und Nachteile aufgezeigt. Zunächst werde ich im Allgemeinen auf alternative Energieversorgungssysteme eingehen. Es folgen die wichtigen Grundlagen zum Verständnis der Funktion von Wärmepumpen und des Wärmepumpenkreislaufes. Es soll erläutert werden, welche Einflüsse Wärmepumpen auf die Umwelt hat und welche Vor- und Nachteile diese Systeme aufweisen.

Diese Arbeit wird rund um die folgende zentrale Fragestellung aufgebaut:

„Wie funktioniert die Wärmepumpe und welche Einflüsse hat sie auf die Umwelt, wie auch welche Vor- und Nachteile bringt diese Technik mit sich?“

Im Laufe der Arbeit wird versucht diesen Fragenkomplex näher zu erläutern, und die Hintergründe aufzudecken.

2. ALTERNATIVE ENERGIEQUELLEN

2.1. ALLGEMEINES

Alternative Energieversorgung ist heutzutage gefragter denn je. Unsere fossilen Ressourcen schwinden, was zur Folge hat, dass mehr und mehr Menschen neue Energiequellen nutzen, nutzen müssen und in diese investieren. Dies wiederum führt dazu, dass auch immer mehr Forscher in diesem Gebiet arbeiten und die bekannten Systeme verbessern und zugleich neue Energieversorgungssysteme in anderer Form entdecken.

Windkraft, Wasserkraft und Solarenergie sind jedem von uns ein Begriff. Allerdings gibt es auch unzählige andere Möglichkeiten zu Energie zu kommen oder vorhandene Energie zu multiplizieren. „Mittels einer Wärmepumpe ist es beispielsweise möglich unter Einsatz von Hilfsstrom, Energie in Form von Wärme über diverse Medien zu erhalten und nutzbar zu machen.“ (Artner, Interview, 2016)

Wenn man sich alternative Energieerzeuger genauer ansieht, bemerkt man recht schnell, dass auch diese viele Nachteile haben können. Dennoch überwiegen meist die Vorteile, wenn man die Erzeuger effizient einsetzt. Aus diesem Grund ist es immer wichtig, dass der Standort im Vorhinein auf die möglichen, unterschiedlichen Einsatzbereiche für ein „Kleinkraftwerk“ untersucht wird. Angenommen ein Einfamilienhaus in einem Tal wird renoviert und soll mit Solarkollektoren bestückt werden. Nun stellt sich die Frage, ob das überhaupt sinnvoll sei, denn die Kollektoren sind nicht gerade billig und sollten deswegen möglichst viel Energie erzeugen, um die Anschaffungskosten (und idealerweise auch die verbrauchte Energie für die Erzeugung) wieder einzubringen.

Um eine möglichst große Effizienz zu erhalten, müssen die Kollektoren im richtigen Winkel und auf der Sonnenseite des Hauses angebracht werden. Problematisch wird es, wenn das Haus kein Dach auf der Sonnenseite besitzt oder allgemein viel Sonne von den Bergen abgefangen wird. Dann sollte man sich überlegen, vielleicht doch eine andere Energiequelle in Betracht zu ziehen.

Glücklicherweise gibt es von denen viele. Jedoch sollte man den Anschluss an die konventionellen Energieversorger nicht leichtfertig aufgeben. Es gibt zwar Projekte wie

Plusenergiehäuser, das sind Häuser, die sogar mehr Strom erzeugen, als sie verbrauchen, trotzdem ist deren dauerhafte Effizienz manchmal fragwürdig, da die Leistung von gewissen alternativen Energieversorgungssystemen oft nach einigen Jahren nachlässt. Wie Lucas Artner im Interview schilderte.

Im Fall von Solarzellen ist beispielsweise die Erzeugung mit einem hohem Energieverbrauch verbunden. Jetzt ist es fraglich, ob sich diese Möglichkeit der Energienutzung rentiert, wenn sich zusätzlich die Entsorgung als schwierig herauskristallisiert, da die Inhaltsstoffe schwer trennbar und eventuell partiell umweltschädigend sind. Deshalb ist vorausschauende Planung notwendig.

Das ist aber kein Grund dafür, nicht in diese Energiesysteme zu investieren. Oft ist es sogar billiger in alternative Energie zu investieren, wenn man langfristig denkt. Da die Anschaffung zwar recht teuer ist, aber die Erhaltungskosten minimal und der erzeugte Strom den zugekauften ersetzen kann. Das ist natürlich eine große Entlastung, für die Energiekosten eines Hauses, noch dazu kommen derzeit Förderungen vom Staat, für diese „umweltfreundlichen“ Energieversorger.

Wir müssen uns vor Augen halten, dass eine Fläche in der Sahara mit der Größe einiger km², ausreichend wäre, um die ganze Welt mit Strom, gewonnen über Solarzellen, zu versorgen. Wie Frau Professor Sepiol im Geografie Unterricht 2015 meiner Klasse erklärte. Allerdings liegt das Problem in den dort gegenwärtigen Sandstürmen, die die Anlagen schnell und massiv beschädigen würden. Daraus erhalten wir zumindest das Wissen, dass die Möglichkeit besteht, unseren gesamten Energieverbrauch mit regenerativen Energien zu decken. Wir müssen nur genug in die Forschung und Umsetzung solcher Projekte investieren, denn die üblichen Energieträger werden uns schon bald ausgehen und müssen aus diesem Grund Stück für Stück ersetzt werden oder möglichst effizient eingesetzt werden.

2.2. WINDENERGIEANLAGEN

Eine Möglichkeit, alternative Energie für ein Einfamilienhaus zu gewinnen, ist ein Klein-Wind-Kraftwerk aufzustellen. Diese Methode ist allerdings nicht sonderlich weit verbreitet, weil hierfür eine recht hohe Anlage im Freien installiert werden muss, welche für so manche Betrachter ein Dorn im Auge ist.

Luftströmungen entstehen, wenn Druckunterschiede zwischen den Luftmassen ausgeglichen werden. Wir Menschen nehmen dies als Wind wahr. Das Windkraftwerk wandelt die kinetische Energie des Windes in elektrische Energie um. Der Wind wird von den Rotorblättern aufgenommen und der Rotor setzt sich in Bewegung, die dabei an der Nabe entstehende Rotation wird an den Generator übertragen. Windkraftwerke benötigen im Gegensatz zu Wärmepumpen keinen Hilfsstrom.

Nachteilig ist, dass Windstrom nur bei vorhandener idealer Windstärke produziert werden kann. Es kann somit kein stetiger Strombedarf gedeckt werden. Die Energie von Windkraftanlagen werden deshalb vorrangig auch zur Speicherwiederbefüllung (Speicherwasserkraftwerke) verwendet. (Artner, Interview, 2016)

2.3. SOLARE ENERGIE

Die Sonne ist unser Hauptenergielieferant. Erst durch die Sonnenstrahlen wurde unsere Erde belebt. Auch heute ist die Sonne für uns Menschen eine wichtige Energiequelle. Mittels der richtigen Technik kann auch diese Energiequelle für Warmwasserbereitung oder Stromerzeugung verwertet werden. Somit heizt die Sonne nicht nur unsere Dächer, sondern kann auch für ein wohlig warmes Haus sorgen. Solaranlagen haben den Vorteil, dass sie an jedem Standort eingesetzt werden können, solange die solare Einstrahlung ausreichend ist. (Kemter, 2014, S. #Exzerpieren)

In der Praxis unterscheidet man zwischen zwei Formen der Solarnutzung: Solarthermische Anlagen und Photovoltaik. Solarthermische Anlagen verwerten die Sonnenstrahlen in dem die in den Kollektoren befindlichen Wärmeträger wie Wasser oder Luft über die Sonnenstrahlen erwärmt werden. Photovoltaik-Anlagen transformieren Sonnenenergie direkt in elektrische Energie. Nachteil dieser Technik ist, dass gerade bei der Herstellung von Photovoltaik-Anlagen umweltschädliche Elemente benötigt werden und vor allem die Herstellung sehr aufwändig ist, die Produktion ist mit hohem energetischem Aufwand verbunden, womit auch ein hoher Preis verbunden ist. Einen weiteren Nachteil stellt die Tatsache dar, dass Photovoltaik Anlagen mit der Zeit an Effektivität verlieren und auch die Lebensdauer begrenzt ist. (vgl. Artner, Interview, 2016)

Trotz dessen bzw. eine weitere Optimierung des Systems vorausgesetzt lässt sich mit dieser Technik zukunftsicher ein Teil des Energieverbrauches decken. (Kemter, 2014, S. #Exzerpieren)

2.4. ERDWÄRME NUTZEN

Unter der Erdoberfläche befindet sich ein großes Potenzial an nutzbarer Energie in Form von Wärme. Diese Energie stammt nicht nur aus dem inneren der Erde, sondern zählt zu den regenerativen Energieformen. Die nutzbare Erdwärme hat ihren Ursprung aus drei Quellen. In oberflächennahen Schichten spielen folgende Indikatoren eine Rolle:

- Radioaktiver Zerfall: Er deckt noch den größten Teil der Wärme.
- Wärme aus tieferen Schichten: Sie werden mittels Wärmeleitung in oberflächennahe Schichten gebracht. Der Einfluss der Wärmeleitung nimmt mit zunehmender Entfernung zur Oberfläche zu. Deshalb kann diese nur minimale Wärmezufuhr in den oberflächennahen Schichten vernachlässigt werden.
- Wärme, welche über Strahlung der Sonne auf die Erde gelang, spielt in den oberflächennahen Schichten die größte Rolle. Bis zu einer Tiefe von 15m ist die oberflächennahe Geothermie nahezu ausschließlich durch eingetragene und gespeicherte Sonnenenergie beeinflusst.

Erdwärme versiegt nicht, da ihre Quellen fortlaufend neue Wärme liefern. Aus diesem Grund wird sie auch als regenerativ bezeichnet. (vgl. Peter Lose 2013, S.1)

Während der Entstehung unserer Erde in den ersten 100 Millionen Jahren erfuhr der Planet eine enorme Energiezufuhr wie auch Energiefreisetzung durch Kollisionen mit Meteoriten und der Wärmeentwicklung durch radioaktive Zerfallsprozesse. Diese unermesslichen Energievorräte sind noch lange nicht erschöpft. (vgl. Peter Lose 2013, S.1)

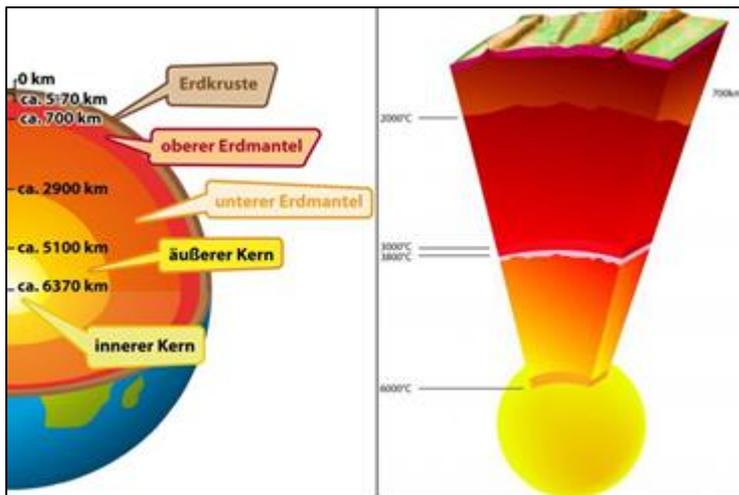


Abbildung 1: Erdschalenmodell

(<http://www.welt.de/wissenschaft/article129050079/Wasser-im-Erdmantel-laesst-Gestein-schmelzen.html>)

Man kann die Erde grundsätzlich in vier wesentliche Schalen unterteilen.

- Der innere Kern ist aufgrund des hohen Druckes fest. Seine Temperatur beträgt ca. 4.200 °C.
- Der äußere Kern ist flüssig und hat eine ungefähre Temperatur von 2.760 °C.
- Der Erdmantel hat den größten Volumenanteil und hat eine durchschnittliche Temperatur von 930°C.
- Die Kruste ist die äußerste Schale mit einer Temperatur von rund 20°C.

Als Lithosphäre wird die Erdkruste, sowie der oberste Teil des Erdmantels bezeichnet. Sie teilt sich in die Tektonischen Platten und ist an die 50 bis 100 km dick.

Betrachtet man die Wärmeleitfähigkeit der Erdkruste, so erkennt man schnell, dass die nutzbare Erdwärme kaum aus dem Inneren kommen kann. Durch Geysire oder Thermalquellen gelangt Wärme aus dem Erdinneren direkt an die Erdoberfläche.

Die Erdwärme, die wir oberflächennah durch beispielsweise eine Wärmepumpe nutzen, ist also meist gespeicherte Sonnenenergie. (vgl. Lose, 2013, S.1)

3. ALTERNATIVE ENERGIEQUELLEN

3.1. THERMODYNAMIK BZW. DIE WÄRMELEHRE - ALLGEMEIN

Der Begriff Thermodynamik, der auch als Wärmelehre bezeichnet wird, beschreibt den Zusammenhang zwischen Energie und Arbeit. Thermodynamik beschäftigt sich vielseitig mit Wärme, Energie sowie deren „(...) Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.“ (Thermodynamik, 2015 S. #Exzerpieren)

3.1.1. Warum Heizen wir?

Wenn die Außentemperatur zu niedrig ist, unterliegt unser Körper einem Wärmeverlust. Der menschliche Körper überträgt die Eigenwärme auf das Medium welches ihn umgibt.

Um diesen Verlust zu reduzieren werden Wohnräume beheizt. Das heißt wir erwärmen den Raum, sodass der Temperaturunterschied zwischen Mensch und Umgebung kleiner wird und dadurch der „Wärmetransfer“ möglichst gering wird. Wir streben eine angenehme Raumlufttemperatur an, bei der wir uns wohl fühlen, an.

„Der Heizungsgrundsatz lautet: verloren gegangene Wärme durch die gleiche Heizwärme zu ersetzen“ (Waldschmidt, 2007, S.31)

3.1.2. Was bedeutet Wärme?

Wärme ist aus menschlicher Sicht betrachtet ein angenehmes Gefühl. Wenn uns warm genug ist, fühlen wir uns wohl. Dies ist meist bei einer Temperatur von 20-26°C der Fall. Doch was ist eigentlich Wärme? Wärme ist nicht gleichzusetzen mit der Temperatur also dem inneren Energiewert eines Körpers. Von Energieübertragung ist in der Physik die Rede, wenn man über Wärme spricht und nicht von innerer Energie. Diese gibt an, wie stark die Teilchen eines Körpers schwingen. Je nach vorhandener Menge der inneren Energie befindet sich ein Stoff in einem der drei Aggregatzuständen: fest, flüssig oder gasförmig.

„Ein System kann bei Zufuhr von Arbeit genauso verändert werden wie bei Zufuhr von Wärme. Rührt man z.B. Wasser, so erwärmt es sich. Dies passiert auch, wenn es mit einem wärmeren Gegenstand in Kontakt gebracht wird. Deswegen wurde vermutet, dass auch Wärme eine Energieform darstellt.“ (Becke, 2011, S.6)

Wärme ist der Prozess, bei dem sich die inneren Energien zweier Körper an- bis ausgleichen. Sie entsteht dort, wo die zwei Körper in Beziehung treten, sich annähern bzw. anstoßen.

Die Einheit für Wärme ist, wie bei der Arbeit, Joule – und ist ihr physikalisch/theoretisch betrachtet auch gleichzusetzen.

3.1.3. Verschiedene Arten der Wärmeübertragung

Sobald in einem System Temperaturdifferenzen herrschen, versucht dieses die vorhandenen Differenzen auszugleichen. Es entsteht ein Wärmestrom. Für diese thermische Übertragung gibt es 6 verschiedene Möglichkeiten:

- Wärmeleitung (Konduktion),
- Wärmestrahlung (Radiation),
- Wärmeübertragung (Konvektion),
- Verdampfungs- und Kondensationsprozesse,
- Ionentausch,
- Frost-Tau-Vorgänge.

(vgl. Hofinger, 2000, S.20)

Nachfolgend werden die wichtigsten Wärmeübertragungsmöglichkeiten erklärt.

Wärmeleitung

In festen Stoffen oder ruhenden Fluiden erfolgt die Wärmeübertragung durch Leitung. Zur Erklärung ein Fluid ist eine Flüssigkeit oder Gas, welches strömungsfähig ist. Das

heißt, die Atome übertragen Wärme auf andere benachbarte Atome aufgrund von Wärmedifferenzen. Wie im Physik Unterricht besprochen wurde, verteilt sich beispielsweise in einem Löffel, die in einem wärmeren Fluid aufgenommene Wärme, gleichmäßig. Dies geschieht durch Wärmeleitung.

Konvektion

Die Konvektion, auch Wärmemitführung genannt, findet im Gegensatz zur Leitung ausschließlich in Fluiden statt. In diesem Fall wird Wärme durch Strömungen der Fluide weitergeleitet. Die Atome mit höherer Temperatur werden durch eine Strömung in ein Fluid mit anderer Temperatur getragen und mischen sich dort. Dies kann auch künstlich erzeugt werden, wie im Fall der Wärmepumpe oder auch durch natürliche thermische Strömungen, wie wir sie vom Wasserkochen, kennen. Hierbei ist die unterschiedliche Dichte der Stoffe aufgrund von Temperaturdifferenzen die Ursache für eine ausgleichende Strömung.

Strahlung

Die thermische Strahlung ist die einzige Wärmeübertragungsform, der es möglich ist sich im Vakuum, luftleerer Raum, auszubreiten. Dies geschieht über elektromagnetische Wellen, die jeder Körper emittiert. Jedoch in unserer gewohnten Umgebung sind die Strahlungsimmissionen von Körpern eher gering. Starke elektromagnetische Wellen gehen unter anderem von der Sonne aus. Diese sind so stark, dass sie die gesamte Erdoberfläche aufheizen, und auch zum Heizen oder zur Stromerzeugung genutzt werden können. „Die solare Einstrahlung in Mitteleuropa beträgt an Sonnentagen zirka $1000\text{W}/\text{m}^2$, das entspricht einem kleinen Heizkörper.“ (Artner, Interview, 2016)

3.1.4. Energie

Energie beschreibt das Potential Arbeit zu verrichten. Diese Fähigkeit kann auf verschiedene Arten in einem Energieträger vorkommen. Wichtige Energieformen sind:

- potenzielle Energie (Lageenergie),
- kinetische Energie (Bewegungsenergie),
- chemische Energie,
- innere Energie.

Diese verschiedenen Arten können sich gegeneinander umwandeln. Jedoch bleibt die Energiemenge in einem System immer konstant. Die Energiemenge verändert sich nur durch Übertragung an die Umgebung oder andere Systeme.

Für den späteren Gebrauch wird in dieser Arbeit die innere Energie eine besondere Rolle spielen. (vgl. Stierstadt, 2015, S. 15 f.)

Innere Energie

Die innere Energie wird auch thermodynamische Energie genannt und ist eine physikalische Größe (innere Energie U). Sie ist direkt proportional zur zugeführten Wärme und der an einem System verrichteten Arbeit. Diese Energie ist in einem abgeschlossenen System konstant. Als innere Energie wird die Bewegung der Teilchen in einem Körper bezeichnet. (vgl. Stierstadt, 2015, S. 22 f.)

Warum haben die Aggregatzuständen unterschiedliche Energieniveaus?

Wenn Wasser gefriert gibt sehr viel Wärme ab. Die Frage ist warum ist das so? Um dies zu beantworten muss man die Atome genau unter die Lupe nehmen. Wasser im flüssigen Zustand, mit einer Temperatur von 0C° hat mehr Energie als Wasser im festen Zustand (Eis) da die Teilchen noch nicht in einem Kristallgitter gebunden sind und sich so noch mehr bewegen können. Friert Wasser, festigen sich die Atome in einem Gitter und die höhere Bewegungsenergie geht als Kristallisationswärme verloren.

Beim Verdampfen ist es prinzipiell ähnlich. Die Teilchen benötigen nämlich eine hohe innere Energie um verdampfen zu können, da die Van-der-Waal-Kräfte (zwischenatomare Kräfte, die Kräfte zwischen den Atomen) für einen Zusammenhalt sorgen und überwunden werden müssen.

Entropie

Als Entropie wird eine thermodynamische Zustandsgröße bezeichnet. In der Literatur (vgl. Becker, 2013, S. 253) wird Entropie als Maß für die Unkenntnis des atomaren Zustands betrachtet.

Exergie

„Die Exergie W_E ist derjenige Anteil der Energie, der sich unbeschränkt (d.h. bei reversiblen Vorgängen vollständig) in jede andere Energieform umwandeln lässt und technische Arbeit verrichten kann.“ (Formuliert von Z. Rant, 1953/ zitiert von: Waldschmidt 2007, 49)

Exergie ist daher der Teil in einem Energieträger, der für die Nutzung von großer Bedeutung ist. Im Gegensatz zur Energie ist die Exergie eine relative Zustandsgröße und ist deshalb in einem System nicht konstant, sondern wird in Anergie umgewandelt.

„Exergie = technische Arbeitsfähigkeit.“ (Waldschmidt, 2007, S.49)

Anergie

Anergie stellt jenen Teil der Energie dar, welcher bei einem thermodynamischen Prozess verloren geht, da er sich nicht in technische Arbeit umwandeln lässt. Ebenfalls lässt sich anfallende Anergie nicht mehr in Exergie umwandeln.

Die Wärmepumpe nutzt hauptsächlich die Anergie der Umgebung und nur zu einem kleinen Teil die Exergie, in diesem Fall Strom. Im Fall eines konventionellen Heizsystems wird nur die Exergie der Primärenergie, z.B. Erdöl, genutzt und geht nach Ablauf des thermodynamischen Prozesses als Anergie an die Umgebung verloren. (vgl. Waldschmidt, 2007, S. 50)

3.1.5. Druck und Temperatur der Carnotsche Prozess

Man kann die Temperatur eines Stoffes nicht nur durch Wärmezufuhr oder -entzug verändern. Auch durch Arbeit lässt sich die Temperatur regulieren. Druckveränderungen haben direkten Einfluss auf diese. So wird z.B. in einem Druckkochtopf durch erhöhten Druck die Siedetemperatur gesteigert.

„Wenn man Luft mit Hilfe einer normalen Fahrradpumpe komprimiert, entsteht fühlbar Wärme. Kühlt man den Inhalt der Pumpe (z. B. durch aktives Blasen oder sonstige Kühlmaßnahmen) ab, dann erhält man nach der Expansion auf das Ursprungsvolumen in der Pumpe ein tieferes Temperaturniveau als zu Beginn des Versuches. Mit der Pumpe kann Wärme von einem niedrigen Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau „gepumpt“ werden, wenn die Wärmeabgabe nach der Verdichtung bei höheren Temperaturen und die Wärmeaufnahme nach der Rückexpansion bei tieferen Temperaturen stattfindet.“ (Watter 2015, S. 102)

3.2. WÄRMESCHUTZ UND ENERGIEEINSPARUNG IN DER AKTUELLEN BAUORDNUNG

Welchen Stellenwert zum Beispiel die Wärmepumpe für die Planung und den Bau von Gebäuden einnimmt, wird sichtbar, wenn man in der Wiener Bautechnikverordnung oder in den OIB Richtlinien liest: Seit 2007 werden in den Bauordnungen mit der OIB-Richtlinie 6 (OIB Richtlinie 6, 2007) für neue Gebäude neben besonderen Anforderungen an die Wärmedämmung auch Anforderungen an alternative Versorgungssysteme gestellt. Entsprechend der Definition der OIB Richtlinie 6 in der Ausgabe von 2011 gelten Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl von ≥ 3 als hocheffiziente alternative Energiesystem für Neubauten.

Mit der neuen OIB-Richtlinie 6 Version 2015, die z.B. in Wien schon Teil der Bauordnung ist, wird neben anderen Möglichkeiten zum Beispiel gefordert:

"Es ist der erforderliche Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser mindestens zu 50 % durch eine Wärmepumpe unter Einhaltung der Anforderungen an den hierfür geltenden maximal zulässigen Heizenergiebedarf zu decken;" (OIB Richtlinie 6, 2015, Kap. 4.3)

Das heißt die Wärmepumpentechnik wird hier speziell genannt um den Energiebedarf und in weiterer Folge die CO₂ Emissionen zufolge der Gebäudeversorgung zu senken und damit einen Beitrag zur Erfüllung der Emissionsreduktionsziele, wie es das Kyoto Protokoll fordert, zu leisten.

4. WÄRMEPUMPE

Die Wärmepumpe ist eine innovative Technik, mit der sich die Energie der Umwelt zur Beheizung oder Warmwasserbereitung nutzen lässt. Indem einem Wärmemedium Wärme entzogen wird, kann diese mittels eines Wärmepumpensystems auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und so die von der Wärmepumpe benötigte Primärenergie, bezeichnet als Hilfsstrom, um ein Vielfaches multipliziert werden. So kann aus verschiedenen Wärmemedien, wie Luft, Wasser und Erdreich, Wärme entzogen werden und für den Gebäudebetrieb nutzbar gemacht werden.

4.1. CHEMISCHE GRUNDLAGEN DER WÄRMEPUMPE

4.1.1. Sole

Das Wort Sole stammt aus dem Mittelhochdeutschen und bedeutet Salzlake. Eine Sole beschreibt immer ein Gemisch aus Wasser und den darin gelösten Salzen. Im technischen Gebrauch werden Solen künstlich hergestellt und als Wärmeträger verwendet. Salze werden dem Wasser beigemischt um je nach Bedarf den Schmelzpunkt zu senken. Dies ist auch der Grund warum im Winter Salz auf die Straßen und Gehsteige gestreut wird, um Glatteis zu verhindern.

Auch im Wärmequellenkreislauf der Wärmepumpe wird eine Sole als Wärmeträgerfluid eingesetzt. Diese Sole ist ein Fluid bestehend aus Wasser und Frostschutzmittel. Als Frostschutzmittel werden Alkohole, in der Regel Glykol, verwendet.

Im Bereich der Wärmepumpen werden vor allem folgende zwei Solen eingesetzt.

- Grundsätzlich wird in Kältemaschinen und Wärmepumpen in erster Linie ein Wärmeträger basierend auf den Stoffen Wasser und Ethylenglykol (Ethan-1-2-diol, $C_2H_6O_2$) – dem Einfachsten mehrwertigen Alkohol – verwendet. Der Gefrierpunkt liegt hier bei -16 °C .
- Im Trink- und Grundwasserbereich wird dem Wärmeträgerfluid Wasser und Propylenglykol beigemischt. Propylenglykol (Propan-1-2-diol, $C_3H_8O_2$) ist ebenfalls ein Alkohol und hat seinen Gefrierpunkt bei -59 °C . Dieser Alkohol wird als Frostschutzmittel verwendet, wenn die Gefahr

besteht, dass sich die Sole im Schadensfall mit dem Trink- oder Grundwasser vermischen kann.

(vgl. Stichel, 1996-2005, S. #Exzerpieren)

Wärmeträger basierend auf Ethylenglykol lassen sich uneingeschränkt in jedem Verhältnis mit Wasser mischen, da Ethan-1-2-diol stark hydroskopisch ist. So erhält man eine weite Spannbreite an möglichen Gefrierpunkten und kann bei einem Mischverhältnis von 50/50 ein Gefrierpunkt von ungefähr -40°C erreichen. Aufgrund seiner toxischen Wirkung kann Ethylenglykol allerdings nur in von Lebensmitteln und Grundwasser isolierten Anlagen Verwendung finden.

Meist sind noch sogenannte Inhibitoren (Hemmstoffe) enthalten. Sie hemmen chemische Reaktionen und dienen daher als Korrosionsschutz und werden zum Schutz der Leitungen eingesetzt. Sie sind die Gegenspieler zu den Katalysatoren.

(vgl. Waldschmidt, 2007, S.67)

4.1.2. Arbeitsmittel - Wärmeträger

Was ist ein Arbeitsmittel? Als Arbeitsmittel wird ein Wärmeträgerfluid bezeichnet, welches innerhalb des Wärmepumpenkreislaufes zirkuliert und dabei als Wärmeträger dient.

Während das Arbeitsmittel den Kreisprozess durchläuft, ändert es seinen Aggregatzustand mehrmals und gibt schließlich die beim Verdampfer aufgenommene Energie im Verflüssiger wieder ab. Für diesen Prozess eignen sich nicht alle Fluide. Es muss einer Reihe von Anforderungen entsprechen. Das sind...

- Toxische Unbedenklichkeit
- Umweltverträglichkeit
- keine negativen Einflüsse auf die Ozonschicht
- geringes Treibhauspotenzial
- geringe Korrosivität
- chemische Stabilität

- kein hoher Druck bei Zustandsänderungen
- möglichst hohe Verdampfungsenthalpie
- billig
- Unbrennbarkeit

Wegen diesen Anforderungen sind nur eine Hand voll an Fluiden geeignet. Eines dieser Fluide ist Wasser. Wasser entspricht nahezu allen Anforderungen. Es ist leicht erhältlich, chemisch stabil, hat keine negativen Einflüsse auf unsere Umwelt und hat auch eine hohe Verdampfungsenthalpie. Aus diesen Gründen wird es auch als Wärmeträgerfluid eingesetzt. Aufgrund seiner Volumenänderungen und den relativ hohen Temperaturen, die benötigt werden, um eine Änderung der Aggregatzustände hervorzurufen, ist Wasser nicht in jedem Wärmepumpenkreislauf einsetzbar.

Gesucht sind Arbeitsmittel, die niedrige Siedepunkte haben. Sie sollen bei einfacher Bauweise der Wärmepumpe, Wärme möglichst umweltschonend befördern.

(vgl. Waldschmidt, 2007, S.68)

Chemische Zusammensetzung

Seit dem 1. Januar 2001 ist uns Europäern das Kürzel FCKW ein geläufiger Begriff. 2001 wurde nämlich ein EU weites Verbot auf vollhalogenierte FCKW's verkündet. (vgl. FCKW als Kältemittel verboten, 2001, S. #Exzerpieren) Die Abkürzung FCKW steht für Fluorchlorkohlenwasserstoffe. Seit 1950 wurden sie unter Anderem vermehrt aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften als Kältemittel eingesetzt. Zu Beginn vor allem die Arbeitsmitteltypen R11 sowie R12. Um 1960 wurde jedoch bekannt, dass vollhalogenierte FCKW's deutlich erkennbar am globalen Ozonabbau beteiligt sind. In Folge dessen, versuchte man den Teil der besonders stabilen FCKWs nach Möglichkeit zu meiden.

Die Elemente von FCKW sind F (Fluor), Cl (Chlor), C (Kohlenstoff), H (Wasserstoff) und teilweise auch Br (Brom). Grundbausteine sind einfache Alkane wie Methan (CH_4) oder Ethan (C_2H_6). Diese Alkane werden halogeniert, das heißt die Wasserstoffatome werden durch Halogene (Salzbildner), das sind Atome der siebten Hauptgruppe, ersetzt. Dabei müssen jedoch nicht alle H-Atome ersetzt werden. Demnach unterscheidet man zwischen Vollhalogenierten, die keine H-Atome besitzen, und den Teilhalogenierten, die noch zumindest ein H-Atom besitzen.

Da auch die teilhalogenierten FCKW's im Kyoto-Protokoll als umweltschädigend eingestuft wurden, weil diese langlebig sind und zum Treibhauseffekt beitragen, werden Alternativen gesucht und auch eingesetzt. Eingesetzt werden unter anderem:

„Ammoniak (R-717), 60% Ammoniak und 40% Dimethyläther (R-723), Kohlenwasserstoffe (R-600a, R-290), Kohlendioxid CO_2 (R-744) oder Wasser (R-718)“, laut Robert Doelling (Doelling, 2015, S. #Exzerpieren)

Eine weitere Unterscheidung der Arbeitsmittel bezieht sich auf den Prozess der Änderung ihrer Aggregatzustände. Hier unterscheidet man zwischen zeotropen und azeotropen Gemischen. Bei der Änderung des Aggregatzustandes eines zeotropen Gemisches verdampfen die Inhaltsstoffe nicht alle zur gleichen Zeit, da sie unterschiedlichen Verdampfungstemperaturen besitzen. Daher verdampfen die Stoffe mit niedrigeren Verdampfungstemperaturen zuerst und zuletzt kommen die schwereren Stoffe. Den Temperaturbereich zwischen den Verdampfungstemperaturen der Mischungspartner nennt man Temperaturgleit. Azeotrope Gemische bestehen aus Mischpartnern, welche die Aggregatzustände bei den selben Temperaturen ändern. Hier ist der Temperaturgleit gleich Null. (vgl. Waldschmidt, 2007, Kapitel 5.2)

Tabelle 1: Kältemittel (<http://www.energie-experten.org/heizung/waerme-pumpe/technik/kaeltemittel.html>)

Kältemittel	Siedepunkt	Verflüssigung (26 bar)
R134a FKW	-26 °C	80 °C
R404A FKW	-47 °C	55 °C
R407C FKW	-45 °C	58 °C
R410A FKW	-51 °C	43 °C
R744 (Kohlendioxid)	-57 °C	-11 °C
R717 (Ammoniak)	-33 °C	60 °C
R290 (Propan)	-42 °C	70 °C
R600a (Butan)	-12 °C	114 °C
R1270 (Propen)	-48 °C	61 °C

Diese Tabelle zeigt wichtige Arbeitsmittel und deren physikalischen Eigenschaften, welche auch im praktischen Bereich als Kältemittel für Wärmepumpen eingesetzt werden.

Neben den Wärmeträgerfluiden ist auch das Schmiermittel (im Verdichter) von Bedeutung. Als Schmiermittel werden ausschließlich synthetisch hergestellte Öle verwendet, da das vom Verdichter benötigte Öl auch in den Wärmepumpenkreislauf gelangen kann. Das sich im Wärmepumpenkreislauf befindliche Öl ist dann auch den Temperaturschwankungen ausgesetzt und kann somit eine Problemquelle sein. Um den Kreislauf/Prozess nicht zu beeinflussen, müssen gewisse Anforderungen erfüllt werden, um Komplikationen aus dem Weg zu gehen. Diese Anforderungen werden in der DIN 51 503, das sind Anforderungen an Kältemaschinenöle, beschrieben.

4.2. AUFBAU DES WÄRMEPUMPENKREISLAUFES

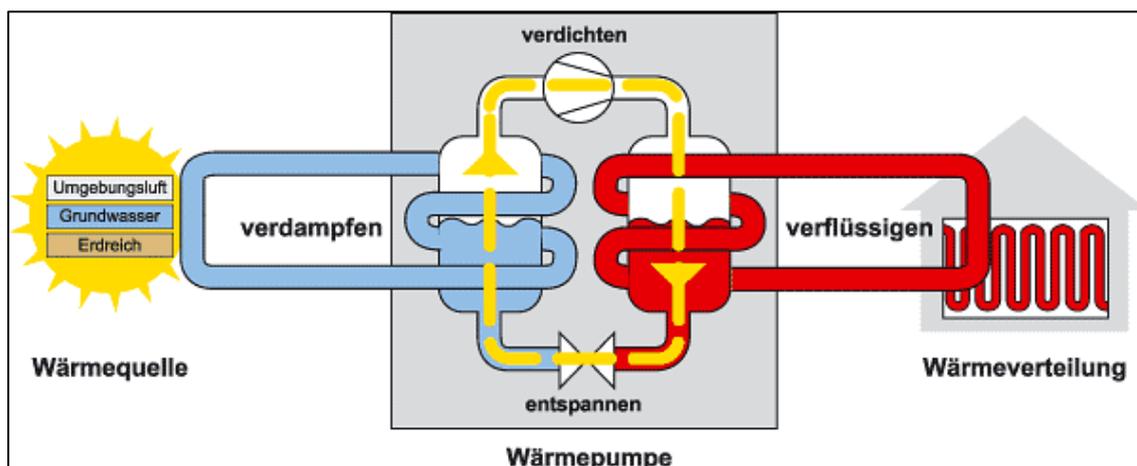


Abbildung 2: Prinzip Wärmepumpe (<http://www.bad8.de/solar/fkt-waermep.html>)

Wärmepumpen bestehen aus den vier Bauteilen, den Verdampfer, den Verdichter, den Kondensator und dem Expansionsorgan. Zunächst wird ein Arbeitsmittel mittels der Wärme des Mediums im Verdampfer zum Verdampfen gebracht. Der Verdichter steigert durch mechanische Arbeit die Temperatur (das Arbeitsmittel wird gasförmig), angelangt im Verflüssiger gibt das Arbeitsmittel die aufgenommene Wärme an den Heizkreislauf ab und kondensiert. Das Kondensat wird nun im Expansionsorgan wieder auf seine Verdampfungsdichte reduziert und der Kreislauf schließt sich.

Prinzipiell unterscheidet sich die Funktionsweise eines Kühlschranks, der auch ein Wärmepumpensystem ist, nur durch sein Einsatzgebiet. Im Fall des Kühlschranks ist das Fassungsvermögen der Wärmespeicher, dem die Wärme entzogen wird und an die Umgebung abgegeben wird. Das heißt beim Kühlschrank wird exakt derselbe Prozess verwendet.

4.2.1. Verdampfer

„Der Verdampfer ist ein Teil der Wärmepumpe oder einer Kältemaschine. Der Verdampfer ist ein Wärmeüberträger, in dem ein Arbeits- oder Kältemittel unter Wärmeaufnahme aus der Umgebung vom flüssigen in den dampfförmigen Aggregatzustand überführt wird.“ (Waldschmidt, 2007, S.87)

Der Verdampfer fungiert als Verbindungsstück und Überträger der Wärme zwischen Solekreislauf und Wärmepumpenkreislauf. Er übermittelt die aus dem Wärmemedium gewonnene Wärme, sodass im Wärmepumpenkreislauf das Energieniveau gesteigert werden kann.

Bei Wärmemedien, wie Luft und Grundwasser, wird die Wärme direkt aus den Medien mittels Verdampfer gewonnen, hier ist kein zusätzlicher Solekreislauf erforderlich.

Das Arbeitsmittel ist hier ein Mittel welches einen besonders niedrigen Siedepunkt besitzt, da die Temperatur der Sole oder des Wärmemediums nicht sonderlich hoch ist. Meist liegt der Siedepunkt unter $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Treffen daher im Verdampfer Arbeitsmittel und Sole aufeinander, so findet ein Wärmeaustausch zwischen den Fluiden statt und das Arbeitsmittel verdampft. Damit dieser Vorgang stattfinden kann ist es notwendig, dass die Temperaturdifferenz zwischen den Fluiden mindestens 5 K beträgt.

Die Wärmezufuhr lässt die Enthalpie, auch Wärmeinhalt, des Arbeitsmittels steigen, wobei es auch gering überhitzt. Während dieses Arbeitsschrittes sollte der Druck konstant bleiben. (Waldschmidt, 2007, S. 87)

„ Der Druck und/oder die Temperatur des überhitzten dampfförmigen Arbeitsmittels am Verdampferausgang bestimmt/bestimmen die Einstellung des Expansionsorgans und damit die Einspritzmenge des Arbeitsmittels.“ (Waldschmidt, 2007, S.87)

4.2.2. Verdichter

Das gasförmige Arbeitsmittel gelangt nun in den Verdichter. Der Verdichter auch Kompressor genannt, hebt das Energieniveau durch Kraftaufwand auf das Kältemittel.

Durch Drucksteigerung können die Teilchen nicht mehr so weit schwingen, aus diesem Grund steigt die Bewegungsintensität und die Temperatur. Dies ist der Kernprozess des gesamten Systems. Erst durch die Temperatursteigerung erhält man ein brauchbares Temperaturniveau, welches zum Heizen geeignet ist. Durch Arbeitsaufwand wird

die innere Energie gesteigert, jedoch nicht bis zum Sättigungspunkt. Der überhitzte Dampf, der eine Temperatur über dem eigenen Siedepunkt besitzt, gelangt nun weiter zum Verflüssiger/Kondensator. (vgl. Waldschmidt, 2007, S.91)

4.2.3. Kondensator

Der Kondensator ist wie der Verdampfer ein Wärmeüberträger. Er funktioniert jedoch in die entgegengesetzte Richtung. Aufgabe des Kondensators, auch Verflüssiger genannt, ist es die Wärme des Arbeitsmittels auf den Wärmeträger des Heizkreislaufes zu übertragen.

Die Temperatur des überhitzten Dampfes aus dem Kompressor wird dabei auf seine Verflüssigungstemperatur gesenkt. Hat er diese Temperatur erreicht, beginnt der Kondensationsprozess, das Fluid wird anschließend noch weiter gekühlt.

Während dieses Prozesses durchläuft das Arbeitsmittel drei Zonen. In der Ersten, der Überhitzungszone wird zunächst das Arbeitsmittel auf Verflüssigungstemperatur gebracht. Es folgt die Verflüssigungszone. In diesem Bereich wird der Aggregatzustand von gasförmig zu flüssig geändert. In der Unterkühlungszone wird die gesamte mögliche Wärme entzogen.

Während diesem fortlaufendem Prozess sind stets Arbeitsmittel und Heizmedium voneinander getrennt. Die Wärmeübertragung findet meist in einem Koaxial-Wärmeüberträger oder einem Platten-Wärmeüberträger statt. In beiden Fällen ist die Strömungsrichtung der Fluide entgegengesetzt. (vgl. Waldschmidt, 2007, S.93)

4.2.4. Expansionsorgan

Das Expansionsorgan schließt den Kreisprozess, in dem es das Arbeitsmittel wieder in seinen ursprünglichen Zustand versetzt. Im Expansionsorgan auch Drossel-, oder Entspannungsorgan genannt wird der Druck des Arbeitsmittels reduziert, so dass es mit seinem ursprünglichen Druck zum Verdampfer gelangen kann. Zusätzlich reguliert es auch die Überhitzung des Arbeitsmittels am Verdichtereingang. Zudem wird auch der Volumenstrom, des Wärmeträgerfluids an das Wärmeangebot angepasst. (vgl. Waldschmidt, 2007, S.95)

4.3. ERDWÄRMEKOLLEKTOREN

Erdwärmekollektoren entziehen dem Wärmemedium Erdreich Energie in Form von Wärme. Sie bestehen meist aus langlebigen Kunststoffleitungen, in denen eine Sole zirkuliert und die Wärme an den Verdampfer überträgt. Erdwärmekollektoren gibt es in unterschiedlichen Formen, um sie individuell und effektiv einsetzen zu können. Man unterscheidet zwischen Erdwärmesonden, Horizontalkollektoren und Verdampfersonden.

4.3.1. Erdwärmesonden

Erdwärmesonden sind die wohl einfachste Möglichkeit die Erdwärme zu fördern. Sie bestehen lediglich aus zwei U-förmigen Rohren, welche mittels Bohrlöcher in die Erde eingebettet werden. Diese Löcher sollten zirka sechs Meter voneinander entfernt sein, um eine gegenseitige Beeinflussung ausschließen zu können. Aufgrund des für die Rohre verwendeten Baustoffes, Polyethylen oder anderen Kohlenwasserstoffpolymere, erreichen diese Leitungen eine Lebensdauer bis zu 100 Jahren. Daher hat eine Erdwärmesonde eine wesentlich längere Lebensdauer als die herkömmlichen Leitungen.

Diese Sonden werden meist von einer Sole durchströmt, welche als Wärmeträgermedium agiert. Über ein Rohrsystem gelangt die Sole weiter zur Wärmepumpe, in welcher das Temperaturniveau gesteigert wird um anschließend die gewonnen Wärme ins Heizsystem einleiten zu können. (vgl. Bußman, 2011, S. 139)

4.3.2. Horizontalkollektoren

Hierbei handelt es sich wie bei den Erdwärmesonden um Rohre die aus dem Erdreich Wärme entnehmen. Jedoch brauchen diese horizontal verlegten Kollektoren einen wesentlich größeren Bereich zum Verlegen als vertikale SONDENSYSTEME. Zur Erschließung des Wärmeursprunges werden in diesem Fall auf einer recht großen Erdfläche in einer Tiefe von bis zu 2,5 Metern die Kunststoffleitungen verlegt. Nach dem Verlegen wird mit dem Aushub die Grube befüllt.



Abbildung 3: Flächenkollektor am Wiener Hauptbahnhof, Hofinger

Diese Methode steht also nur zur Debatte wenn ein Grundstück mit entsprechender Größe zu Verfügung steht. (vgl. Bußman, 2011, S.147) Von Vorteil ist, dass man keinen Bohrer braucht, sondern ausschließlich einen Bagger zum partiellen Entfernen des Erdreiches. Ungünstig ist diese Art der Verlegung in Gärten mit reichlich vorhandenem Altbaubestand oder gewünschter neuer Baumbepflanzung.

4.3.3. Verdampfersonden

In einer Verdampfersonde zirkuliert ein Fluid, das aufgrund seines geringen Siedepunktes einem ständigen Phasenwechsel ausgesetzt ist. Für ein senkrecht in die Erde eingebrachte Rohrsystem wird ein Fluid gewählt, dessen Siedepunkt dem Arbeitsbereich bzw. der Umgebungstemperatur des Erdbereiches ähnlich ist, dieses befindet sich somit in einem ständigen Aggregatzustandswechsel, flüssig zu gasförmig. Hierfür eignen sich zum Beispiel Alkane wie Propan und Butan oder NH_3 und CO_2 , jeweils mit erforderlichem Druck. CO_2 kann bei einem Druck von 5,2bar flüssig sein. Das im Rohrsystem durch die Erdwärme verdampfende Fluid steigt aufgrund seiner geringen Dichte auf. Im Sondenkopf findet die Kondensation statt, bei welcher ein Wärmeaustausch mit dem Wärmepumpenkreislauf stattfindet. Anschließend läuft das Fluid-Kondensat erneut in tiefere Schichten, der Kreislauf ist geschlossen und wiederholt sich. Vorteil einer solchen Verdampfersonde ist, dass aufgrund der thermischen Materialbewegung bis zum Verdampfen eine Zirkulation geschaffen wird, und dadurch eine Pumpe überflüssig wird.

Dieses System kann allerdings nicht so einfach zum Kühlen verwendet werden. (vgl. Empfehlungen Oberflächennahe Geothermie – Planung, Bau, Betrieb und Überwachung – EA Geothermie 2015, S. 48)

4.4. WÄRMESPEICHER

Wärmespeicher sind eine wichtige Komponente in einem Heizsystem. Sie dienen als Puffer. Gerade die regenerativen Energien benötigen meist einen Speicher um wirtschaftlich eine gute Leistung zu erbringen. Bei der solaren Nutzung ist dies besonders wichtig, da die Sonneneinstrahlung nicht fortlaufend konstant ist. Aus diesem Grund muss bei starker Solarer Strahlung die gewonnene Energie, um eine Nutzung über einen längeren Zeitraum zu ermöglichen, in einem Wärmespeicher zwischengespeichert werden.

Auch bei Wärmepumpen wird die Wirtschaftlichkeit durch Speichersysteme erhöht, auch wenn diese nicht so stark Wetter und Tag/Nacht abhängig sind. Zusätzlich wird auch die Nutzung bei niedrigeren Temperatur verbessert und auf Dauer somit auch die Lebensdauer der Wärmepumpe gefördert. (vgl. Becke, 2011, S.27). Wärmespeichersysteme können wassergefüllte Speicherkessel, aber auch Eisspeicher oder Massivelemente mit hoher thermischer Speicherfähigkeit sein.

5. DER HEIZKREISLAUF

Ein Heizkreislauf, welcher in Kombination mit einer Wärmepumpe steht, sollte möglichst effizient sein. In einem Einfamilienhaus eignen sich aufgrund seiner geringen Größe vor allem Fußboden-, Wand- und Deckenheizungen. Diese sogenannten Flächenheizungen aktivieren die umgebenden Bauteile und nutzen somit die Materialträgheit bzw. die thermischen Speichermassen der Bauteile. Der Vorteile dieser Heizungen ist, dass die aufgenommene Wärme des Heizwassers gut abgegeben werden kann und so mit relativ geringer Temperatur zum Verflüssiger zurück gelangt. Der dadurch recht große Temperaturunterschied zwischen Heizflüssigkeit und Arbeitsmittel erleichtert den Wärmetransfer. Übliche Vorlauftemperaturen bei Fußbodenheizungen liegen bei 35°C, bei einem Rücklauf von ca. 25-28°C, bei Wandheizungen liegen die Temperaturen um bis zu 5°C unter denen der Fußbodenheizung.

6. BEISPIELE ZUR ANWENDUNG VON ERDWÄRMESYSTEMEN

6.1. ERDWÄRME ANWENDUNG BEIM EINFAMILIENHAUS

Da die neue OIB-Richtlinie 6 (Version 2015) schon in Teilen Österreichs ein Teil der Bauordnung geworden ist, und damit die Versorgung mit alternativen Energieversorgungssystemen baurechtlich gefordert wird, ist es gerade für Einfamilienhausbauherren immer interessanter Wärmepumpen für die Gebäudeenergieversorgung in Betracht zu ziehen.

Grundlage für die effektive Nutzung einer Wärmepumpe ist Energie möglichst wirksam einzusetzen. Wärmepumpen harmonieren besonders gut mit Passivhäusern. Hier ist nämlich aufgrund guter Wärmedämmung und einer innovativen Bauweise der Heizwärmebedarf sehr gering. Für bereits bestehende Häuser eignen sich Wärmepumpen häufig nicht besonders gut, da diese oft einen überdurchschnittlichen Wärmebedarf haben. In diesem Fall wäre meist eine umfassende thermische Sanierung erforderlich, da ansonsten sich der Einbau einer Wärmepumpe nicht rechnen würde. In Niedrigenergiehäusern oder allgemein modernen Neubauten kann diese Technik jedoch gut integriert werden.

Ein weiterer wichtig Punkt ist die Wärmespeicherkapazität, die ein Haus besitzt. Die Wärmespeicherfähigkeit ist bei massiver Bauweise besonders stark. Mit einer gut isolierten Ummantelung der wärmespeichernden Bauteile ist eine hohe thermische Trägheit gegeben. Diese Trägheit schwächt bei längeren Hitze- und Kälteperioden oder auch im Tagesverlauf die Temperaturkurve ab, in dem die Speicherbauteile im Hitzefall Wärme aufnehmen und bei kühlerer Umgebung wieder abgibt.

Bevor entschieden werden kann welches Wärmepumpensystem zur Anwendung kommen kann oder soll, sind Klimakarten und die Untergrundeigenschaften (Grundwasser, Bodenaufbau) aber auch die möglicherweise vorhanden geothermischen Nutzungen von Nachbarn in der Planung zu berücksichtigen. Nur so kann das bestmögliche System verwendet werden. Angesichts der Tatsache, dass Wärmepumpen nur selten alleine

(d.h. als Einzelversorgungssystem) eingesetzt werden, ist es besonders wichtig im Vorfeld die Systemkombination gut zu planen. Der Heizwärmebedarf (HWB) muss berechnet werden, damit die Berechnung der einzusetzenden Wärmekollektoren bestimmt werden kann. Dieser HWB muss baurechtlichen Anforderungen entsprechend und darf bei Wohnneubauten laut OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik) maximal; „54,4 kWh/m²a“ (OIB Richtlinie 6, 2015) betragen. Auf Basis des HWB's und einer Heizlastberechnung kann der Umfang der Kollektoren berechnet werden und passende Komponenten bestimmt werden. Häufige Zusatzkomponenten eines Wärmepumpenheizsystems sind solarthermische Anlagen, aber auch konventionelle Wärmeversorgungssysteme wie Gasheizungen können mit einer Wärmepumpe gekoppelt werden. (vgl. Steinbacher, 2011, S. 45 f.).

Eine Bereitstellung der Energie für Raumheizung und Warmwasserbereitung ist möglich.

Angewandtes Beispiel

Haus Hofinger

Die gezeigte Grafik veranschaulicht eine praktische Umsetzung einer Luft/Wasser Wärmepumpe. Experte Johann Hofinger erklärt (2016): „Hier wird die Erdwärme nur zur Vorwärmung bzw. Vorkühlung der Außenluft,(...) verwendet.“ Für diesen Vorgang wurde im Garten ca. 130m Rohr mit einer Stärke von 32mm in einer Tiefe von ungefähr 1,50m verlegt.

Die Wärmepumpe entzieht so dem Wärmemedium Luft, welche durch Erdwärme vorgewärmt wird, Energie. Diese gewonnene Wärme wird für die Warmwasserbereitung sowie „ggf. für die Aufwärmung der Zuluft in den Räumen.“ Der Strombedarf dieser Anlage liegt bei ca. 1000 kWh im Jahr. Über einen Kachelofen wird der restliche Heizwärmebedarf gedeckt. Dieser liegt bei etwa 15kWh/m²a (Holzverbrauch ca. 800kg im Jahr) bei einer Energiebezugsfläche von 180m². (laut: Hofinger, Interview, 28.1.2016)

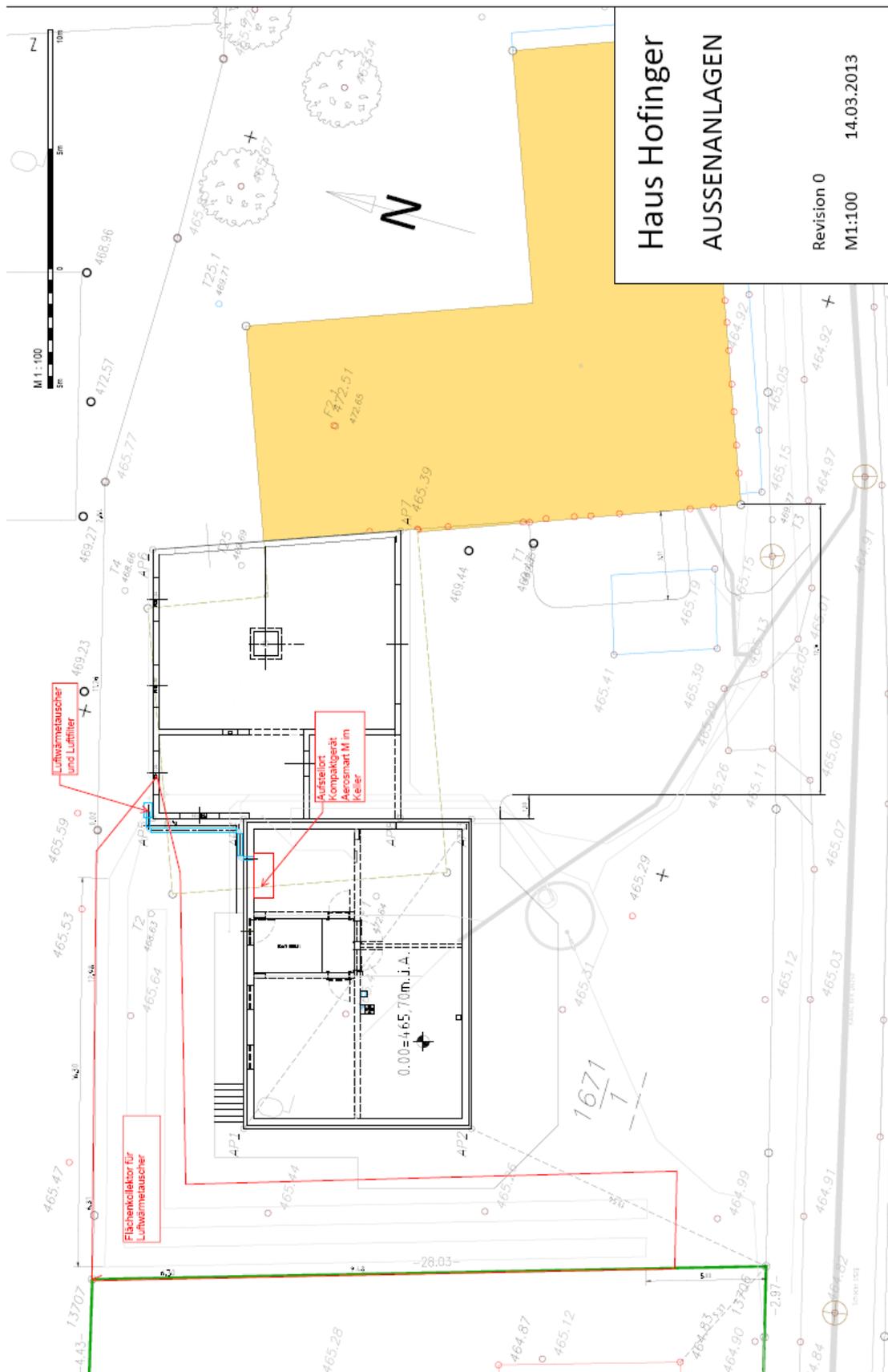


Abbildung 4: Gebäudeplan mit Außenanlage (Johann Hofinger)

Die gezeigte Grafik veranschaulicht eine praktische Umsetzung einer Luft/Wasser Wärmepumpe. Johann Hofinger sagte dazu: „Hier wird die Erdwärme nur zur Vorwärmung bzw. Vorkühlung der Außenluft,(...) verwendet.“ Für diesen Vorgang wurde im Garten ca. 130m Rohr mit einer Stärke von 32mm in einer Tiefe von ungefähr 1,50m verlegt.

Die Wärmepumpe entzieht so dem Wärmemedium Luft, welche durch Erdwärme vorgewärmt wird, Energie. Diese gewonnene Wärme wird für die Warmwasserbereitung sowie „ggf. für die Aufwärmung der Zuluft in die Räume.“ Der Strombedarf dieser Anlage liegt bei ca. 1000 kWh im Jahr. Über einen Kachelofen wird der restliche Heizwärmebedarf gedeckt. Dieser liegt bei etwa 15kWh/m²a (Holzverbrauch ca. 800kg im Jahr) bei einer Energiebezugsfläche von 180m². (Hofinger, Interview, 28.1.2016)

6.2. ERDWÄRME ANWENDUNG AM BEISPIEL HAUPTBAHNHOF SALZBURG

Ein Beispiel für eine erfolgreiche Nutzung von Erdwärme ist der Salzburger Hauptbahnhof. Bei der Renovierung des Salzburger Hauptbahnhofes wurde Rücksicht auf alternative Energiequellen genommen und ein Erdwärmesystem eingebaut, welches sich unter den Bahnsteigen sowie den Passagen befindet.

Nach einer umfangreichen Planung wurden ein Testpfahl und anschließend eine Testsonde zur Überprüfung der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes errichtet. Der an den Testobjekten durchgeführte Thermal Response Test ergab eine günstig höhere Wärmeleitfähigkeit als aufgrund der Berechnungen und Voruntersuchungen angenommen werden konnte „($\lambda_{\text{ist}} = 1,96 \text{ W/mK} > 1.80 \text{ W/mK}$)“ (Hofinger, 2011, S.1-7)

Diese Messdaten bestätigten die errechneten Energiepotentiale.

Die sich im Passagenbereich befindenden Pfähle werden nahezu alle als Energiepfeiler genutzt, das heißt, in den Pfählen befinden sich Leitungen, welche zur Wärmegewinnung genutzt werden. Die sich darin befindenden Pfahlsonden wurden bis auf eine Tiefe von 15 Metern in den Untergrund eingebaut.

Im Bahnsteigbereich wurden in zwei Phasen mit unterschiedlichen Längen insgesamt 21 Sonden abgeteuft. Sie haben in Summe eine Länge von 2828,3 m. Inklusive der Wärmepfähle ergibt sich eine Länge von 9807 m. Aufgrund der ausschließlichen Verwendung von korrosionssicheren Kunststoffen konnte hier auf Zusätze im Wärmeträger verzichtet werden. Als Wärmeträgerfluid wird im Primärkreislauf reines Leitungswasser genutzt.

„Zur Ausführung kam eine Wärmepumpe bzw. eine Kältemaschine mit drehzahlreguliertem Radialturboverdichter der Fa. Cofely, Typ QuantumX060-PC2-LL.“ (Hofinger, 2011, S. 1-7)

Es steht so eine Wärmeleistung von 606kW und eine Kälteleistung von 480kW zur Verfügung. Die Jahresheizleistung beträgt 1110 MWh und die Jahreskühlleistung 930 MWh. Zum Vergleich ein Liter Öl oder 1 m³ Erdgas hat eine ungefähre Heizeistung von ca. 10 kWh (Lohmeyer, „praktische Bauphysik“ Teubner Verlag 4. Auflage S. 40). Das heißt mit dieser Anlage werden im Heizfall umgerechnet 111000 l Öl oder 110000 m³ Gas gespart.

7. RESÜMEE

Im Laufe der Arbeit wurde immer deutlicher, dass unser Ziel Alternativen zum Primärenergieverbrauch zu finden, immer näher kommt.

Die Wärmepumpe als eines von mehreren Teilen im Puzzle, kann mit ihrer Effektivität einen wichtigen Beitrag darstellen. Welche Leistung eine solche Anlage erbringen kann wurde an den Beispielen Salzburger Hauptbahnhof und einem in Betrieb stehenden Einfamilienhaus veranschaulicht. Mit einer Jahresarbeitszahl ab 3 kann eine Wärmepumpe etwa 70 bis 80% des Gesamtenergiebedarfes für die Beheizung und Warmwasserbereitung eines Einfamilienhauses mit regenerativer Energie decken.

Welcher Anteil des Gesamtenergieverbrauches in Zukunft mittels Erdwärme gedeckt werden kann, liegt an uns. Auch wenn sich nicht der gesamte Bedarf mit diesem geothermischen Potenzial decken lässt. Da das System nicht unter allen Rahmenbedingungen eingesetzt werden kann, ist der aktuelle Anteil dennoch ausbaufähig.

Die Vorteile einer Wärmepumpe liegen klar in der Effizienz, die mit einer solchen Anlage einhergeht und deren hohen Energieverwertung. Der kleine Restbestand an benötigter Exergie kann optional auch durch andere Alternative Energieerzeugungssysteme wie Photovoltaik oder Windkraft gedeckt werden. Nachteile liegen klar in der Anschaffung einer solchen Anlage. Der Bau einer Erdwärmepumpenanlage erfordert einen großen Bauaufwand und lässt sich aufgrund der benötigten Bohrungen oder des Platzbedarfes für die Kollektoren nicht an jedem Standort durchführen.

Die Nachteile für die Umwelt könnten bei vollständigem Ersatz von ozonabbauenden Arbeitsmitteln und den leicht toxisch wirkenden Solezusätzen minimiert werden. Aus diesem Grund sind Wärmepumpen sehr umweltfreundliche Energieerzeuger.

8. QUELLEN

8.1. LITERATURVERZEICHNIS

Artner, L. & Trauninger D. (2015): Der Energieausweis und die Energieeffizienz von Gebäuden; Wien, Forum Verlag

Becke, W. (2011): Hocheffiziente Kombinationen von Solarthermie- und Wärmepumpenanlagen - Dokumentation und Analyse von existierenden und möglichen Systemkonzepten; Diplomarbeit am Institut für Angewandte Physik TU Wien

Bußman, W. u.a. (2011): Geothermie – Energie aus dem Inneren der Erde Ort; Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag

Hofinger, J. (2000): Nutzung geothermischer Energie und Umweltwärme auf niedrigem Temperaturniveau mittels erdberührter Bauteile; Wien, Diplomarbeit an der TU Wien

Hofinger, J. (2011): Erdwärmeanlage am Hauptbahnhof. Wien; iC consulenten ZT GmbH

Lohmeyer, G. (2001): Praktische Bauphysik; Wiesbaden Teubner Verlag 4. Auflage Wiesbaden

Loose, P. (2013): Erdwärmennutzung Versorgungstechnische Planung und Berechnung; Berlin VDE Verlag 4. Auflage

Österreichisches Institut für Bautechnik "OIB" (2007/2011/2015): OIB Richtlinie 6, "Energieeinsparung und Wärmeschutz"

Rant Z. (1953) zitiert von: Wolfgang Waldschmidt 2007. ABC der Wärmepumpe; Frankfurt am Main, VWEW Energieverlag Auflage 1

Steinbacher, D. (2011): Entwicklung einer dynamischen Berechnungsmethode zur Ermittlung des Gesamtenergiebedarfs von Einfamilienhäusern mit Wärmepumpe und thermischer Solaranlage unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens; Wien: Diplomarbeit an der TU Wien

Stierstadt, K. (2015): Energie das Problem und die Wende; Ostfildern Europa-Lehrmittelverlag 1. Auflage

Waldschmidt, W. (2007): ABC der Wärmepumpe; Frankfurt am Main : Verlag VWEW Energieverlag Auflage 1

Watter, H. (2015): Regenerative Energiesysteme; Wiesbaden, Springer Verlag

Wiener Bautechnikverordnung (2008): 3. Juni 2008 (WBTV, LGBl. für Wien Nr. 31/2008) in der gültigen Fassung

RL 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, S.1 Pkt. 6).

8.2. INTERNETQUELLEN

Doelling, R. (2015): Einsatz von Kältemittel in Wärmepumpen. URL: <http://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/technik/kaeltemittel.html> (aufgerufen am 08.02.2016)

N.N Erneuerbare Energie Österreich „Geothermie“ Geschichte. URL: <http://www.erneuerbare-energie.at/erdwrme/> (aufgerufen am 20.01.2016)

N.N. Fact Sheet Energiemix. (2004) URL: <http://ec.europa.eu/energy> (aufgerufen am 05.01.2016)

N.N. FCKW als Kältemittel verboten. URL: http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20010622_OTS0042/fckw-als-kaeltemittel-verboten (aufgerufen am 05.02.2016)

N.N.: Heizung, Wärmepumpe, Kältemittel. URL: <http://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/technik/kaeltemittel.html> (aufgerufen am 07.02.2016)

N.N. Geothermie Österreich. URL: <http://www.erneuerbare-energie.at/erdwrme/Dokument1> (vgl. Erneuerbare Energie Österreich „Geothermie“ Geschichte, (aufgerufen am 09.02.2016)

Kemter, F.; Sonnenkraft: Lohnt sich Photovoltaik noch? URL: <http://www.bauen.de/ratgeber/neue-energien-umwelt/solaranlagen-photovoltaik/photovoltaik/artikel/artikel/sonnenkraft-lohnt-sich-photovoltaik-noch.html>. (aufgerufen am 08.02.2016)

Stichel, W.(1996-2005): Einsatz von Frostschutzmitteln in Heizanlagen Alterung von Glykol-/Wassergemischen. Teil 1. URL: <http://www.ikz.de/1996-2005/1997/21/9721032.php> (aufgerufen am 09.02.2016)

N.N. Thermodynamik (2015): URL: <http://www.chemie.de/lexikon/Thermodynamik.html> (aufgerufen am 08.02.2016)

8.3. GESPRÄCHSQUELLEN

Hofinger, J. mit Isai Stuefer. Zum Thema: Geothermie allgemein, Einfamilienhaus Hofinger, Erdwärmeeanlage Salzburger Hauptbahnhof; Wien: 28.1.2016

Artner, L. mit Isai Stuefer, zum Thema Gebäudenergieeffizienz; Wien: Jänner 2016

8.4. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Kältemittel (<http://www.energieexperten.org/heizung/waermepumpe/technik/kaeltemittel.html>) 23

8.5. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Erdschalenmodell (<http://www.welt.de/wissenschaft/article129050079/Wasser-im-Erdmantel-laesst-Gestein-schmelzen.html>)..... 11

Abbildung 2: Prinzip Wärmepumpe (<http://www.bad8.de/solar/fkt-waermep.html>) 24

Abbildung 3: Flächenkollektor am Wiener Hauptbahnhof, Hofinger 28

Abbildung 4: Gebäudeplan mit Außenanlage (Johann Hofinger) 33