

**Strategie zur Entwicklung eines CO<sub>2</sub> neutralen Gebäudebestands auf Basis regenerativer Energiekonzepte unter Einbeziehung der Speichermasse von Gebäuden als dezentraler Wärmespeicher**

**Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades

BACHELOR OF ENGINEERING (B. Eng.)

in Kooperation mit Klima-Top GmbH

Erstellt von:	Maximilian Blank
Studiengang:	Energie-Ingenieurwesen
Matrikelnummer:	516620
Erstgutachter:	Prof. Dipl.-Phys. Andreas Gerber
Zweitgutachter:	Armin Bühler
Ausgabe:	17.08.2021
Abgabe:	17.12.2021

## Erklärung

Hiermit versichere ich, Maximilian Blank, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel: „Strategie zur Entwicklung eines CO<sub>2</sub> neutralen Gebäudebestands auf Basis regenerativer Energiekonzepte unter Einbeziehung der Speichermasse von Gebäuden als dezentraler Wärmespeicher“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ort, Datum

Unterschrift

# Inhaltsverzeichnis

<b>Erklärung .....</b>	<b>2</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>7</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>9</b>
1.1 Problemstellung .....	10
1.2 Aufbau der Arbeit.....	11
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>12</b>
2.1 Wärmeerzeuger.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.1.1 Wärmepumpe .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.1.2 Speicherwärmepumpe .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.1.3 Lüftungsanlage .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.2 Stromerzeugung.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.3 Wärmeverteilung im Raum .....	16
2.3.1 Wärmestrahlung .....	20
2.3.2 Flächenheizung (Klimadecke).....	20
2.4 Wärmespeicherung .....	20
2.4.1 Arten von Wärmespeichern .....	20
2.4.2 Eigenschaften .....	20
2.4.3 Gebäudemasse als sensibler Wärmespeicher .....	20
2.4.4 Stromspeicherung .....	20
<b>3 Kriterien zur Beurteilung des Bestands .....</b>	<b>21</b>
3.1 Standortanalyse.....	21
3.1.1 Ausrichtung des Gebäudes .....	21
3.1.2 Dachneigung.....	21
3.1.3 Verschattung.....	21
3.2 Gebäudeanalyse .....	21
3.2.1 Bestandsgebäude .....	21
3.2.2 Neubau.....	21
3.2.3 Nutzungsart.....	21
3.3 Spezifische Gebäudeanalyse .....	21
3.3.1 Energetische Bewertung der Gebäudehülle.....	21

---

3.3.2	Gebäudemasse .....	21
3.3.3	Dichtigkeitsprüfung (Blower Door Test) .....	21
3.3.4	Heizlast .....	21
<b>4</b>	<b>Vergleich der Auslegungsvarianten .....</b>	<b>22</b>
4.1	Aerothermisch .....	22
4.2	Geothermisch.....	22
4.3	Hydrothermisch .....	22
<b>5</b>	<b>Strategie zur Auswahl der passenden Variante.....</b>	<b>23</b>
5.1	Entscheidungskriterien (zusammengefasst) .....	23
5.2	Matrix .....	23
5.3	Mögliches Excel-Tool .....	23
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>24</b>
<b>Anhang A: Beispiele für die Gliederung von Abschlussarbeiten .....</b>		<b>25</b>
A.1	Literaturarbeiten.....	25
A.2	Systementwicklungen .....	25
<b>Anhang B: Formatvorlagen .....</b>		<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>27</b>

## Abbildungsverzeichnis

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterschiede zwischen Abbildungen und Tabellen **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabelle 2: Beispiele für Überschriftebenen .....**Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabelle 3: Aufstellung der wichtigsten Formatvorlagen der Dokumentvorlage ....**Fehler! Textmarke nicht definiert.**

## Abkürzungsverzeichnis

CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
BRD	Bundesrepublik Deutschland
GEG	Gebäudeenergiegesetz
PVT	Photovoltaik Thermische Kollektoren
JAZ	Jahresarbeitszahl
COP	Coefficient of Performance#
A	Air
B	Brine (Sole)
W	Water
PV	Photovoltaik

## **Abstract**

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Bedanken, die mich während meiner Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ich möchte mich herzlich bei Prof. Dipl.-Phys. Andreas Gerber bedanken, der mich bei der Anfertigung dieser Arbeit betreut und unterstützt hat.

Ein weiterer Dank gilt insbesondere Herrn Armin Bühler und allen Beteiligten der Firma Klima-Top GmbH, die mir Daten und Informationen zur Verfügung gestellt haben und mir bei Fragen und Problemstellungen stets mit Ihrer fachliche Kompetenz weiterhelfen konnten.

# 1 Einleitung

Rückblickend auf die letzten Jahrzehnte gibt es mehrere ökologische, soziologische und wirtschaftliche Problemstellungen, die die heutige Gesellschaft vor enorme Herausforderungen stellt. Eine Herausforderung die omnipräsent zu sein scheint ist der Klimawandel. Grundsätzlich beschreibt der Klimawandel die Änderung der Energiebilanz der Erde bedingt durch die Emission von Treibhausgasen wie CO<sub>2</sub> oder anderer schädlicher Gase. Die aus dem Klimawandel resultierenden Folgen sind bereits heute deutlich spürbar. Veränderungen der Stärke, der Häufigkeit, der räumlichen Ausdehnung und Dauer von Extremwetterereignissen sind zurückzuführen auf die immer weiter fortschreitende Klimaerwärmung. Einem Bericht der Vereinten Nationen zu folge, hat sich die Anzahl der Naturkatastrophen in den letzten 20 Jahren fast verdoppelt.<sup>1</sup> Hauptgrund hierfür ist der durch den Menschen verursachte-anthropogene Treibhauseffekt. Um diesem entgegenzuwirken wurde 2015 auf der Pariser Klimakonferenz ein Abkommen zwischen 190 Ländern getroffen, mit dem Ziel die globale Erderwärmung einzudämmen.

Im Zuge dessen hat Deutschland den Klimaschutzplan 2050 definiert, dieser dient dem Ziel die Treibhausemissionen Sektorübergreifend um 80-95 Prozent gegenüber 1990 zu verringern, um weitestgehend Klimaneutralität zu erreichen.<sup>2</sup> Deutschland zählt weltweit gesehen zu einer der größten Volkswirtschaften und obwohl die deutsche Bevölkerung nur rund einen Prozent der weltweiten Gesamtbevölkerung ausmacht, liegen die pro-Kopf CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland mit rund 10 Tonnen ungefähr doppelt so hoch, wie der internationale Durchschnitt mit rund 5 Tonnen.<sup>2</sup> Insgesamt wurden im Jahr 2020 in der BRD 739 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> freigesetzt.<sup>3</sup> Rund ein Fünftel der gesamten Emissionen stammt aus dem Gebäudesektor. Rechnet man Herstellungskosten für Strom und Wärme noch hinzu beträgt dieser Wert sogar das Doppelte, also ein Drittel der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>4</sup> Daher bietet besonders der Gebäudesektor ein enormes Energieeinsparpotenzial. Bis 2030 will die Bundesregierung die Emissionen in diesem Sektor um 66-67% gegenüber 1990 senken.<sup>4</sup> Um dieses Ziel zu erreichen, müssen neue innovative Energetische Konzepte entwickelt bzw. weiter optimiert werden, die sowohl im Neubau als auch im Bestand angewendet werden können.

---

<sup>1</sup> Vgl. (Tageschau, [UN-Bericht-Mehr Naturkatastrophen durch Klimawandel], 2020)

<sup>2</sup> Vgl. (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, [Klimaschutz in Zahlen], 2018)

<sup>3</sup> Vgl. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, [Deutsche Klimaschutzpolitik], 2021)

<sup>4</sup> Vgl. (Die Bundesregierung, [Bauen und Wohnen], 2021)

## 1.1 Problemstellung

Um im Gebäudesektor das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, bedarf es einer Wärmewende. Insgesamt machen Raumwärme, Kälte und Warmwasser für Gebäude rund 32 % des deutschen Endenergieverbrauchs aus. Um den Energieverbrauch in diesem Bereich drastisch zu reduzieren wurde 2020 seitens der Bundesregierung das GEG verabschiedet, hierdurch soll auf lange Sicht gesehen das Ziel der Energiewende im Gebäudesektor erreicht werden. Durch diverse Förderprogramme seitens des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle oder der Kreditanstalt für Wiederaufbau wurden zudem finanzielle Anreize für den Endkunden geschaffen, die den Weg hin zu neuen Energie- und Effizienzstandards ebnen sollen. Trotz aller Bemühungen ist die bisherige Bilanz relativ ernüchternd. Lediglich 4,5 % der Energie zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser wird aus erneuerbaren Energien gewonnen, der Großteil der Energie rund 27,5% wird immer noch aus fossilen Energieträgern generiert.<sup>5</sup> Durch eine Umstellung von fossiler Energie auf erneuerbare Energie könnte dieser Sektor einen enormen Beitrag zum Schutz unseres Planeten beitragen. Die Technologien, um diesen Wandel zu bewerkstelligen gibt es bereits heute, allerdings bedarf es eines Konzepts, durch welches die unterschiedlichen Technologien miteinander verknüpft und zu einem Ganzheitlichen System zusammengeführt werden. Nach der Deutschen Energie-Agentur wurden ca. 63% der Deutschen Wohngebäude „vor dem Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung 1979 errichtet.“<sup>6</sup> Die Effizienzstandards zu dieser Zeit unterscheiden sich grundlegend von den heutigen, um genau zu sein, waren schlichtweg nicht vorhanden. Daraus resultiert ein fünffach Höherer Energieverbrauch gegenüber Neubauten die nach 2001 errichtet bzw. erbaut wurden.<sup>2</sup> Wie man erkennen kann, sind die Einsparpotenziale, die hier durch eine Umstellung von fossilen auf erneuerbare Energien erreicht werden können, enorm.

Die Firma Klima-Top GmbH dieser Thematik angenommen und will mit Hilfe von Klimadecken und der Wärmespeicherung in der Gebäudemassen den Weg hin zur Wärmewende ebnen. Um das Ziel Wärmewende zu erreichen, bedarf es einem neuen Workflow. Aus diesem Grund wurde vom Unternehmen ein Netzwerk zwischen Klimaschutz Pionieren gegründet, welches die Wertschöpfungskette für ein Klimaneutrales Gesamtsystem schließen soll.

---

<sup>5</sup> Vgl. (Netzwerk Raum-Klimasysteme, [Vier Wegbereiter für die Wärmewende], 2021)

<sup>6</sup> Vgl. (Deutsche Energie-Agentur, [Gebäude energieeffizient gestalten], 2021)

Aktuell werden alle Projekte individuell bearbeitet, was zeit- und arbeitsaufwendig ist. Um diesen Prozess zu beschleunigen ist das Ziel dieser Bachelorarbeit, mit denen der Firma zur Verfügung stehenden Technologien und kooperierenden Firmen, ein Konzept bzw. eine Strategie zu implementieren, die sowohl für Bestands-als auch für Neubauten anwendbar ist. Hierdurch soll ein neuer Workflow geschaffen werden, der die Bearbeitung aller Projekte deutlich erleichtert. Zudem soll die thermische Bauteilaktivierung, insbesondere die Speicherung von Wärme in der Gebäudemasse ein Schlüsselement bei der weiteren Planung einnehmen. Denn hierdurch kann Erzeugung und Verbrauch entkoppelt und die Schwankungen des Energieangebots auf dem Markt leicht ausgeglichen werden.

## **1.2 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Bachelorarbeit gliedert sich in sechs Kapitel. In Kapitel eins wurden Probleme, welche es im Gebäudesektor zu bewältigen gibt, genauer ausgeführt und erörtert. Im zweiten Kapitel werden grundlegende Begrifflichkeiten und Technologien dargelegt, die für die Erarbeitung des Energiekonzepts von Wichtigkeit sind. Kapitel drei beschäftigt sich mit den Kriterien zur Beurteilung des Bestands. Im Zuge dessen wird unter anderem die Gebäudehülle untersucht sowie eine spezifische Gebäudeanalyse vorgenommen. Dieses Kapitel legt somit die Beurteilungsgrundlage für die Auswahl des passenden Energiekonzepts fest. Im vierten Kapitel werden die unterschiedlichen Auslegungsvarianten, die sich aus den verschiedenen Kriterien ergeben, dargelegt und kurz erläutert. Anschließend wird in Kapitel fünf eine Strategie zur Auswahl der passenden Auslegungsvariante erarbeitet. Im Schlusskapitel dieser Arbeit werden die Ergebnisse abschließend zusammengefasst und ein Ausblick auf die Zukunft gegeben.

## 2 Grundlagen

Im Folgenden wird zunächst der Kooperationsbetrieb Klima-Top GmbH mit seinen Geschäftsfeldern und Tätigkeiten vorgestellt. Anschließend werden unterschiedliche physikalische Grundbegrifflichkeiten und Systemkomponenten beschrieben, die essenziell für die weitere Konzeption sind. Zu den wichtigsten Systemkomponenten zählen unter anderem Erzeuger für Strom und Wärme und effiziente Möglichkeiten zur Speicherung und Verteilung von primär-Wärme und sekundär-Strom.

### 2.1 Vorstellung Kooperationsbetrieb



Die Bachelorthesis wurde in Kooperation mit dem mittelständischen Unternehmen Klima-Top GmbH angefertigt. Ganzheitlich gesehen gehört das Unternehmen zu einer Holding mit mehreren Tochtergesellschaften. Zu den Netzwerkpartnern gehören unter anderem die Singular GmbH und die Raum-K GmbH. Gegründet wurde die Firma im Jahr 2007 von mehreren Gesellschaftern. Die Vertretungsberechtigten Geschäftsführer sind Armin Bühler und Johann Hofmayr. Zum Hauptgeschäft des Unternehmens gehören die Planung und der Vertrieb von Klimadecken zum Heizen sowie zum Kühlen für Neubauten sowie für Sanierungen. Bei der Planung und Konzeption verschiedener Projekte stehen die Gesichtspunkte Ressourcenschonung, CO<sub>2</sub>-Neutralität und Behaglichkeit stets im Vordergrund.

*„Durch wertschöpfende Synergien mit gleichgesinnten  
Modulpartnern und Menschen, die zukunftsfähig denken, verstehen,  
planen und bauen, sind wir Vorreiter und Energieversteher  
der Gegenwart und der Zukunft.“<sup>7</sup>*

---

<sup>7</sup> (Raum-Klimasysteme, [<https://www.raum-k.world/>], 2021)

## 2.2 Stromerzeugung

Für ein funktionierendes Heizungssystem bedarf es einer Form von Antriebsenergie, denn wo Veränderungen bzw. eine Wirkung erzielt werden muss, bedarf es Energie. Energie ist eine physikalische Größe, aber wie schon im ersten Hauptsatz der Thermodynamik festgelegt, kann Energie in einem abgeschlossenem System weder erzeugt noch vernichtet werden, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden. Die Energiebilanz in einem abgeschlossenen System bleibt somit immer konstant. Energie ist sozusagen der Treibstoff für jedweden Prozess und kann so gesehen als Lebensgrundlage für die heutige Gesellschaft gesehen werden.<sup>8</sup> Um Elektrische Energie bzw. Strom zu „erzeugen“ muss somit Energie von einer Form in eine andere Form umgewandelt werden. Die für das Heizungssystem benötigte Elektrische Antriebsenergie kann aus unterschiedlichen Energieträgern gewonnen werden. Zum einen aus fossilen Energieträgern zum anderen aus erneuerbaren Energien. Um den Prozess der Dekarbonisierung voranzutreiben, werden für die Planung des Energiekonzepts ausschließlich erneuerbare Energien eingesetzt. Grundsätzlich können für den Umwandlungsprozess verschiedene Energieträger verwendet werden, diese werden nachfolgend als Primärenergieträger bezeichnet. Die Überführung von den Energieträgern in eine andere Form ist stets verlustbehaftet und kann nicht zu hundert Prozent erfolgen. Jedoch geht die Energie nicht verloren, sondern wird lediglich in eine nicht nutzbare Energieform umgewandelt (1.Hauptsatz der Thermodynamik). Nachfolgend werden die Primärenergieträger aufgeführt, die sich aus ökologisch und ökonomischer Sicht für den Einsatz der Heizungsanlage eignen.



<sup>8</sup> Vgl. (Matthias Günther, [Energieeffizienz durch Erneuerbare Energien], 2015)

**Sonnenenergie-** diese Primärenergieform eignet sich aufgrund ihres hohen und scheinbar unbegrenzten Vorkommens besonders für die Erzeugung von elektrischer Energie. Die Sonne stellt die größte natürliche Energiequelle dar. Sie liefert jährlich eine Energiemenge, die ausreichen würde, um das 10.000fache des Weltenergiebedarfs zu decken.<sup>9</sup> Durch den sogenannten Photoeffekt kann das von der Sonne ausgestrahlte Licht für die Gewinnung von elektrischem Strom nutzbar gemacht werden. Hierzu werden sogenannte Solarzellen verwendet, die in ein Solarmodul eingebunden werden.<sup>10</sup> Solarzellen gibt es in den unterschiedlichsten Ausführungen, welche wiederum alle auf demselben Funktionsprinzip basieren. Kern jeder Solarzelle ist ein Halbleiter, in welchem Elektronen gebunden sind, sie können sich sozusagen nicht frei bewegen (Abb.1). Trifft Sonnenlicht auf eine Zelle so lösen sich die gebundenen Elektronen aus ihrer Struktur heraus und bewegen sich. Um diesen Elektronen eine Flussrichtung zu geben, werden Fremdatome auf beiden Seiten des Halbleitermaterials hinzugegeben. Diese Fremdatome werden auf einer Seite positiv und auf einer Seite negativ aufgeladen. Durch die negative Dotierung der frei beweglichen Elektronen im Halbleitermaterial, fließen diese stets zur positiv geladenen Seite. Von dort aus fließen sie durch einen äußeren Verbraucher wieder zurück zur negativ geladenen Seite. Hierdurch entsteht ein Zyklus, der den elektrischen Strom nutzbar macht.<sup>11</sup>

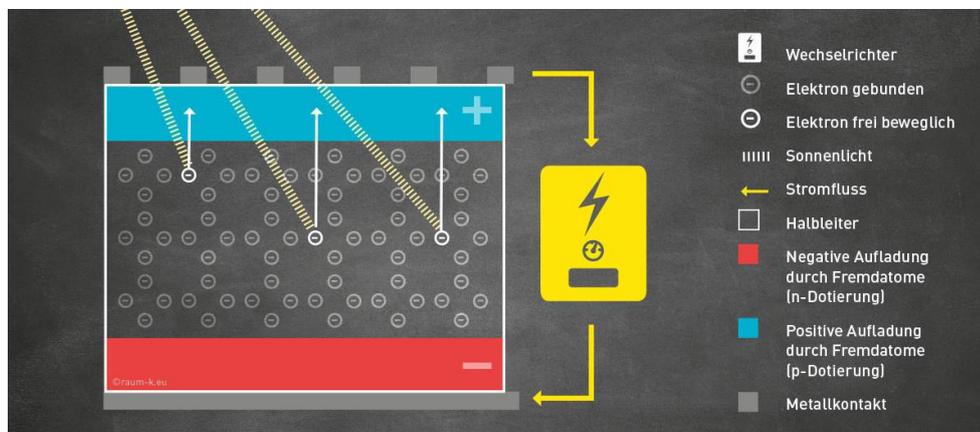


Abbildung 1: Aufbau einer Solarzelle (Quelle: <https://raum-k.eu/gesamtsystem/raum-k-solar/funktion/>)

<sup>9</sup> Vgl. (Institut für Wärmetechnik-TU Graz, [Grundlagen der Sonnenenergiestrahlung], 2014)

<sup>10</sup> Vgl. (Wolfgang Osterhage, [Die Energiewende: Potenziale bei der Energiegewinnung], 2015, S.15)

<sup>11</sup> Vgl. (Raum-K, [Vier Wegbereiter für die Wärmewende], 2019)

Der Strom für die Heizungsanlage kann somit mithilfe von Photovoltaik-Modulen generiert werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit den erzeugten Ökostrom in Verbindung mit einem Batteriespeicher für die Deckung des Stromverbrauchs im Haushalt zu verwenden. Eine weitere Möglichkeit zur Stromerzeugung bieten zudem PVT-Kollektoren. Diese unterscheiden sich unwesentlich von der Funktionsweise eines herkömmlichen Photovoltaik Moduls. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die vom Modul erzeugte Abwärme nutzbar gemacht wird und mittels einer Wärmepumpe zum Heizen genutzt werden kann, was das System kostengünstiger und andererseits effizienter macht da keine zusätzlichen Komponenten zur Wärmeerzeugung bzw. als Wärmequelle benötigt werden.

**Windenergie-** diese Art der Stromerzeugung bietet eine weitere Möglichkeit zur Deckung des Energiebedarfs. Mit dem Forschungsprojekt Windheizung 2.0 hat das Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP ein Vorhaben ins Leben gerufen, welches die Stromerzeugung durch erneuerbare Energien flexibilisieren soll. Mit dem Projekt soll ein Paradigmenwechsel zwischen Erzeugung und Verbrauch gelingen. Aufgrund von inhomogenen Witterungsverhältnissen entstehen besonders bei der Nutzung der Windenergie Schwankungen bei der Erzeugung, die dafür sorgen, dass Anlagen zur Sicherung der Netzstabilität teilweise vom Netz genommen werden müssen. Mithilfe von thermischen Speichern in der Gebäudemasse kann der Überschüssige Strom nach dem Prinzip Power-to-Heat eingespeichert werden. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass Verbrauch und Erzeugung entkoppelt werden. Der Strom wird angebotsorientiert eingespeichert und bedarfsabhängig verbraucht. Hierdurch können die zeitweisen Stromüberschüsse sinnvoll und effizient genutzt werden.<sup>12</sup>

Mithilfe von Photovoltaikmodulen bzw. Windkraftanlagen kann die Primärenergie somit in Endenergie (Strom) umgewandelt werden.



<sup>12</sup> Vgl. (Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP [Windheizung 2.0 – Energiespeicherung und Stromnetzregelung mit hocheffizienten Gebäuden], 2015/2016)

## 2.3 Wärmeerzeugung

Um die Endenergie für Heiz-bzw. Kühlzwecke nutzbar zu machen, bedarf es eines weiteren Umwandlungsprozess. Mithilfe von Wärmeerzeugern kann die gewonnene Endenergie in Nutzenergie umgewandelt werden. Gemäß der EU-Verordnung 813/2013 „bezeichnet der Begriff Wärmeerzeuger einen Teil des Heizgeräts, der mithilfe verschiedener Verfahren Wärme erzeugt.“<sup>13</sup> Wärmeerzeuger gibt es in den verschiedensten Varianten, sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Betriebsweise, ihrer Energieträger und ihrer Aufgaben. Für den weiteren Planungsprozess werden vorwiegend monovalente Wärmepumpen betrachtet. Mithilfe der Wärmepumpen kann hierdurch mit minimalem Stromeinsatz Wärme oder Kälte aus der Umwelt nutzbar gemacht werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit die Wärmepumpe mit einer Solarthermieanlage zu kombinieren. Mithilfe der Wärmepumpen und der Solarthermie Kollektoren kann die Endenergie in Nutzenergie umgewandelt werden und zum Heizen bzw. Kühlen verwendet werden.



### 2.3.1 Wärmepumpe

Die Wärmepumpe stellt, bezogen auf ihre Systemrelevanz, mit eine der wichtigsten Systemkomponenten dar. Grundsätzlich sind Wärmepumpen Maschinen, die von außen zugeführte Wärmeströme mithilfe von mechanischer Arbeit von einem niedrigen Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau anheben. Im Gebäudebereich dienen die Außenluft, das Erdreich und die Sonne als natürliche Wärmequellen. Um ein höheres Temperaturniveau (zum Heizen) bzw. ein niedrigeres Temperaturniveau (zum Kühlen) zu erreichen folgt die Wärmepumpe hierbei einem umgekehrten Kraft-Wärme-Prozess.<sup>14</sup> Bei der Funktionsweise wird prinzipiell in zwei verschieden Arten unterteilt.

<sup>13</sup> Vgl. (Jeanette Kunde [Wärmeerzeuger – Was zeichnet diesen aus], 2020)

<sup>14</sup> Vgl. (Simon Hirzel [Energiekompendium-Ein Nachschlagwerk für Grundbegriffe, Konzepte und Technologien], 2017, S.1100)

Zum einen die Sorbtionswärmepumpe und zum anderen der Kompressionswärmepumpe, wobei letztere zu den am häufigsten verbreiteten Wärmepumpentypen gehört. Daher werden folgend lediglich Wärmepumpen, die nach dem Prinzip der Kompression arbeiten näher betrachtet.

Die Kompressionswärmepumpe besteht im Wesentlichen aus einem Verdampfer, einem Verdichter, einem Verflüssiger und einem Expansionsventil. Der Arbeitsprozess unterteilt sich hierbei in vier Schritte, die sich wiederholen (Abb.2).



Abbildung 2: Wärmepumpenkreisprozess (<https://heizung.de/waermepumpe/wissen/die-waermepumpe-funktion-kurz-und-verstaendlich-erklart/>)

Durch die Wärmepumpe zirkuliert ein Kältemittel welches nach und nach verschiedene Zustandsänderungen durchläuft. Im ersten Schritt absorbiert das Kältemittel Umweltwärme aus der Luft, dem Erdreich oder dem Grundwasser und wird verdampft. Hierdurch ändert sich der Aggregatzustand des Kältemittels von flüssig zu gasförmig.

Mithilfe eines elektrisch angetriebenen Kompressors wird der Kältemitteldampf im zweiten Schritt verdichtet, wodurch sich die Temperatur und der Druck erhöhen. Daraufhin gibt das komprimierte Gas die Wärmeenergie an den Heizkreislauf ab und verflüssigt sich wieder. Bevor sich der Kreislauf wiederholt, fließt das flüssige Kältemittel durch ein Expansionsventil zurück zum Verdampfer. Durch das Expansionsventil verringert sich der Druck und die Temperatur, sodass das Kältemittel wieder Wärme aufnehmen kann.<sup>15</sup>

Aussagen über die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe können mittels der Jahresarbeitszahl (JAZ) und dem Coefficient of Performance (COP), getroffen werden. Die JAZ ist eine dimensionslose Kennzahl, welche das Verhältnis von eingesetzter Strommenge und ausgehender Wärmemenge über das Jahr hin beschreibt. Der COP

<sup>15</sup> Vgl. (Simon Hirzel [Energiekompendium-Ein Nachschlagwerk für Grundbegriffe, Konzepte und Technologien], 2017, S.536)

wiederum beschreibt das Verhältnis von Nutzwärme zu aufgewendeter elektrischer Energie zu einem bestimmten Betriebspunkt, der gemäß DIN EN 255 und DIN EN 14511 unter Laborbedingungen gemessen wird.<sup>16</sup> Der COP bezieht sich somit auf die Wärmepumpe selbst, wobei sich die JAZ auf das gesamte Heizsystem bezieht. Für beide Kennzahlen gilt, je höher desto besser. Am effizientesten arbeiten Wärmepumpen bei niedrigen Systemtemperaturen bzw. Vorlauftemperaturen unter 50°C.<sup>17</sup> Daher eignen sich vor allem Flächenheizungen (Klimadecke) in Verbindung mit einer Wärmepumpe, da diese mit niedrigen Vorlauftemperaturen effizient heizen bzw. kühlen.

Für die Nutzung einer Flächenheizung im Gebäudebereich eignen sich drei verschieden Arten von Wärmepumpen:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe (A/W),
- Sole-Wasser-Wärmepumpe (B/W),
- Wasser-Wasser-Wärmepumpe (W/W)

Die Wärmegegewinnung erfolgt hierbei Aero,- Geo,- oder Hydrothermisch. Durch reversibel arbeitende Wärmepumpen kann der Kraft-Wärme Prozess umgekehrt werden, hierdurch kann neben der Bereitstellung von Heizwärme auch aktiv gekühlt werden.

### 2.3.2 Solarthermische Gebäudeklimatisierung

Um die Effizienz der Wärmepumpe zu steigern, kann diese mit einer Solarthermischen Anlage kombiniert bzw. ergänzt werden. Im Gegensatz zu PV-Anlagen, die primär für die Stromerzeugung konzipiert wurden, nutzen Solarthermische Anlagen die Energie der Sonne, um Wärme zu für Brauch- und Trinkwarmwasser zu erzeugen. Hierzu wird die einfallende Sonnenstrahlung absorbiert. Durch die Absorption der Strahlung entsteht Wärme, die mithilfe eines speziellen Wärmeträgermedium zu einem Speicher transportiert werden kann.<sup>18</sup> Die entstandene Wärme kann entweder eingespeichert oder zur direkt genutzt werden, indem die Quelle der Wärmepumpe mit zusätzlicher Wärme versorgt wird. Hierdurch kann das Temperaturniveau der Wärmequelle angehoben werden, was sich wiederum positiv auf die Effizienz auswirkt.<sup>19</sup> Um eine perfekte Synergie zwischen Wärmepumpe und der thermischen Solaranlage zu erzeugen, muss die Auslegung der Solaranlage individuell und an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden.

---

<sup>16</sup> Vgl. (o.V. energie-experten, [Leistungszahl von Wärmepumpen], 2021)

<sup>17</sup> Vgl. (Bosch Thermotechnik, [Vorlauftemperatur Wärmepumpe], kein Datum)

<sup>18</sup> (Vgl. Simon Hirzel, [Energiekompendium-Ein Nachschlagwerk für Grundbegriffe, Konzepte und Technologien], 2017, S.697/921)

<sup>19</sup> Vgl. (Bosch Thermotechnik, [Solarthermie mit Wärmepumpe], kein Datum)

### 2.3.3 Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Grundsätzlich beschreibt eine Lüftungsanlage ein technisches Bauteil, die dem Zweck der Be- und Entlüftung von Gebäuden dient. Durch Sonneneinstrahlung oder auch durch Personen im Raum entsteht Wärme, die bei herkömmlichen Lüftungsanlagen ungenutzt über die Fortluft nach außen getragen wird.<sup>20</sup> Mithilfe des Prinzips der Wärmerückgewinnung kann diese Abwärme wiederum nutzbar und zur Unterstützung des Heizsystems verwendet werden. Desweiteren kann hierdurch im gleichen Zuge die Behaglichkeit im Raum gesteigert werden, da Feuchtigkeit, Gerüche und CO<sub>2</sub> belastete Luft ohne Probleme abgeführt werden können.<sup>21</sup> Wärmetauscher sorgen dafür, dass die in der Fort-bzw. Abluft enthaltene Wärme entzogen und an die Zuluft übertragen wird.<sup>22</sup> Bezogen auf die zu erbringende Heizleistung können mit Wärmerückgewinnungsanlagen die Lüftungsverluste minimiert werden, wodurch wiederum die Effizienz des gesamten Systems gesteigert und optimiert werden kann. Durchschnittlich kann durch die Rückgewinnung 90% der Energie, die durch das Lüften verloren gehen würde wieder zurückgewonnen werden.<sup>23</sup>

---

<sup>20</sup> Vgl. (Thomas Laasch, Erhard Laasch, [Haustechnik – Grundlagen, Planung, Ausführung], 2013, S.782)

<sup>21</sup> Vgl. (Marcus Dunst, [Lüftungsanlagen in Wohnräumen- Entscheidungshilfen für den Bauherrn], 2021, S.42)

<sup>22</sup> Vgl. (Simon Hirzel, S.1102)

<sup>23</sup> Vgl. (Marcus Dunst, S.42)

## **2.4 Wärmeübertragung**

Beim Begriff Wärmeübertragung handelt es sich um einen Prozess bei dem thermische Energie aufgrund eines Temperaturunterschieds transportiert wird. Gemäß des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik erfolgt dieser Transport stets irreversibel. Während dieses Prozesses findet ein Temperatúrausgleich statt, bei dem Wärme vom Ort höherer Temperatur zum Ort niedrigerer Temperatur fließt. Die Wärmeübertragung kann dabei auf drei verschiedene Arten erfolgen, es wird unterschieden in Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Konvektion.<sup>24</sup> Im Folgenden wird lediglich die Wärmeübertragung mittels Strahlung betrachtet, da für die Beheizung der Gebäude in dieser Arbeit ausschließlich Deckenheizungen verwendet werden.

### **2.4.1 Wärmestrahlung**

### **2.4.2 Flächenheizung (Klimadecke)**

## **2.5 Wärmespeicherung**

---

<sup>24</sup> Vgl. (Hans Dieter Baehr; Karl Stephan, [Wärme und Stoffübertragung], 2019, S.1-2)

## **3 Kriterien zur Beurteilung des Bestands**

Kapitel drei soll mit das ausführlichste werden. Hier sollen minuziös alle Parameter und Kriterien geklärt werden die Einfluss auf die Auswahl des passenden Systems haben können.

### **3.1 Standortanalyse**

#### **3.1.1 Ausrichtung des Gebäudes**

#### **3.1.2 Dachneigung**

#### **3.1.3 Verschattung**

### **3.2 Gebäudeanalyse**

#### **3.2.1 Bestandsgebäude**

#### **3.2.2 Neubau**

#### **3.2.3 Nutzungsart**

### **3.3 Spezifische Gebäudeanalyse**

#### **3.3.1 Energetische Bewertung der Gebäudehülle**

#### **3.3.2 Gebäudemasse**

#### **3.3.3 Dichtigkeitsprüfung (Blower Door Test)**

#### **3.3.4 Heizlast**

## **4 Vergleich der Auslegungsvarianten**

Um eine passende Auslegungsvariante zu wählen, müssen diese zuerst definiert werden. Die Auslegungsvarianten werden unterteilt in drei Kategorien (Unterschiedliche Wärmequellen) und sollen hier aufgeführt werden. (Auslegungsvarianten wurden in tabellarischer Form aufgeführt).

### **4.1 Aerothermisch**

### **4.2 Geothermisch**

### **4.3 Hydrothermisch**

---

## **5 Strategie zur Auswahl der passenden Variante**

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

## **Anhang A: Beispiele für die Gliederung von Abschlussarbeiten**

### **A.1 Literaturarbeiten**

1. Überblick (oder: Zusammenfassung, „Executive Summary“, alles Wichtige für den „Manager“ oder Schnellesser)
2. Fragestellung (oder: Ziele, Ausgangspunkt, Motivation)
3. Übersicht über den Stand der Wissenschaft und Technik (Beschreibung der Lösungsansätze, Beispiele etc. in einzelnen Abschnitten)
4. Bewertung der einzelnen untersuchten Ansätze, Beispiele etc., Identifikation von Defiziten
5. Synthese: Erstellung einer Gesamtschau, allgemeine Prinzipien, Beschreibung einer eigenen Sicht auf das Problem, evtl. auch eigene Vorschläge
6. Zusammenfassung (Erklärung des Nutzens), Ausblick

Anhang: eventuell recherchierte Texte, Produktbeschreibungen, etc.

### **A.2 Systementwicklungen**

1. Überblick (oder: Zusammenfassung, „Executive Summary“, alles Wichtige für den „Manager“ oder Schnellesser)
2. Problemstellung (oder: Ziele, Ausgangspunkt), Vorgesehener Benutzerkreis, Bedürfnisse der Benutzer
3. Stand der Technik (Wie wird das Problem bisher gelöst, wo sind die Defizite)
4. Gewählter Lösungsansatz (allgemeines Prinzip, welche Werkzeuge, z.B. Programmiersprachen werden verwendet)
5. Beschreibung der durchgeführten Arbeiten
6. Ergebnis (z.B. Screenshots mit Erläuterungen)
7. Zusammenfassung (Erklärung des Nutzens), Ausblick

Anhang: evtl. (ausgewählte) Programmbeispiele

## **Anhang B: Formatvorlagen**

## 7 Literaturverzeichnis

1. **Mustermann, Max.** *Gebäudemasse*. Memmingen : s.n., 2021.
2. **Bla, Hermann.** *Klimawandel*. München : Springer , 2012.
3. *Folgen des Klimawandels*. **Blank.** Stuttgart : s.n., 2021, Bd. 5.