

---

Matthias Kohler

# **Machbarkeitsstudie für ein Wärmenetz in einem Gewerbegebiet in Remagen**

Bachelorarbeit

Technische Hochschule Köln,  
Cologne Institut for Renewable Energy,

27. November. 2023

Betreuer: Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

Ko-Referent: Prof. Dr. Ingo Stadler



Cologne Institute for  
Renewable Energy

**Technology**  
**Arts Sciences**  
**TH Köln**

---

## Erklärungen

Name: Matthias Kohler

### Erklärung zum eigenständigen Verfassen

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst habe. Ich habe keine anderen außer den von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Köln, 25.November 2023

*M. Kohler*

Matthias Kohler

### Erklärung zur Veröffentlichung

Ich bin damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit ausgeliehen werden darf. Sie darf von meinem Betreuer im Internet veröffentlicht werden.

Köln, 25.November 2023

*M. Kohler*

Matthias Kohler

### Erklärung zu Bildrechten

Außer den im Folgenden genannten habe ich alle Bilder und Diagramme dieser Abschlussarbeit selbst erstellt.

---

Die folgenden Bilder sind von anderen Autoren übernommen. Die Autoren sind in meiner Arbeit entsprechend genannt. Sie dürfen aufgrund einer öffentlichen Lizenz veröffentlicht werden.

Abbildung 3: Funktionsweise Fernwärme

Abbildung 4: Funktionsweise Nahwärme mit Großwärmepumpe

Abbildung 5: Funktionsweise kalte Anergienetz

Abbildung 6: Funktionsweise Erdwärme

Abbildung 11: Karte von Remagen mit markierten Gewerbepark

Die Nutzungsrechte der folgenden Bilder sind mir vom Autor der Bilder persönlich/mündlich/schriftlich/per E-Mail erteilt worden:

Abbildung 17 – Abbildung 32 Simulation mit nPro

Für die folgenden Bilder habe ich keine expliziten Nutzungsrechte erhalten. Sie sollten daher vor einer Veröffentlichung der Arbeit unkenntlich gemacht werden.

Abbildung 7: Übersicht Stadt Remagen

Abbildung 8 Einordnung der Zulässigkeit von Erdwärmesonden

Abbildung 9 Übersicht Schutzzonen in Remagen

Abbildung 10 Gesamtenergieverbrauch der Stadt Remagen

Abbildung 12 Standort der neuen Kläranlage

Abbildung 13 Vorgehen zur Kommunalen Wärmeplanung

Abbildung 16 Energiebedarf von Wohnhäusern in Deutschland nach Baujahren und Anzahl der Wohneinheiten

Köln, 25.November 2023

*M. Kohler*

Matthias Kohler

---

## Kurzfassung

Diese Arbeit erforscht die Machbarkeit eines Wärmenetzes im Stadtgebiet Remagen. Dabei ist der Gewerbepark Remagen Süd als zentraler Ausgangspunkt der Untersuchungen festgelegt. Es wird ein Vorgehen für diese Arbeit anhand von gängigen Leitfäden zur kommunalen Wärmeplanung ausgearbeitet. Als Datengrundlage werden Wärmebedarfe berechnet und mit Literaturkennwerten sowie Kennwerten von bereits bestehenden Wärmenetzen eingeordnet. Die Netzkonfigurationen werden über eine selbst entworfene Bewertungsmatrix bestimmt. Es werden zwei mögliche Wärmenetze mit unterschiedlichen Betriebstemperaturen simuliert, die den Gewerbepark sowie ein angrenzendes Wohnquartier umfassen. Die Simulationen zeigen, dass die Umsetzung eines Netzes technisch möglich ist und eine ökologische Verbesserung darstellt: Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß wird von 4.089 Tonnen pro Jahr auf 570 Tonnen pro Jahr beziehungsweise 1.146 Tonnen pro Jahr gesenkt. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nach Kapitalwertberechnung fallen negativ aus. Die Investitionen von 30 Millionen Euro und 80 Millionen Euro weisen über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ein negatives Ergebnis auf. Ob ein Wärmenetz eine Lösung zur Wärmebereitstellung im untersuchten Gebiet darstellt, muss durch detaillierte Datenerhebungen und den Vergleich mit alternativen Lösungsmöglichkeiten näher untersucht werden.

## Abstract

This work investigates the feasibility of a heating network in the Remagen urban area. The Remagen Süd business park is defined as the central starting point for the investigations. A procedure for this work is developed based on common guidelines for municipal heat planning. As a data basis, heat requirements are calculated and categorised with literature parameters and characteristic values of existing heating networks. The network configurations are determined using a self-designed evaluation matrix. From this, two possible heating networks are simulated, covering the business park and a neighbouring residential area. The simulations show that the implementation of a network is technically possible and represents an ecological improvement, from 4,089 tonnes per year to 570 and 1,146 tonnes per year respectively. The profitability analyses after calculating the net present value are negative. The investments of 30 and 80 million euros show a negative result over an observation period of 20 years. Whether a heating network is a solution for providing heat in the area must be investigated in more detail by collecting detailed data and comparing it with alternative solutions.

---

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Danken, die mich bei der Abfassung dieser Arbeit unterstützt haben. Dazu zählen

Hannah Huber, die mich immer wieder angetrieben hat die Sachen anzugehen.

Haris Susic für seine Korrekturlesung und mentale Unterstützung.

Prof. Eberhard Waffenschmidt, für die Betreuung der Arbeit und Geduld im Prozess

## Inhaltsverzeichnis

Machbarkeitsstudie für ein Wärmenetz in einem Gewerbegebiet in Remagen .....	1
Erklärungen .....	2
Erklärung zum eigenständigen Verfassen .....	2
Erklärung zur Veröffentlichung .....	2
Erklärung zu Bildrechten .....	2
Kurzfassung.....	4
Abstract .....	4
Inhaltsverzeichnis .....	6
Abbildungsverzeichnis .....	9
Tabellenverzeichnis .....	11
Abkürzungsverzeichnis .....	11
1.    Einleitung .....	13
2.    Stand der Technik .....	14
2.1. Heizsysteme .....	14
2.1.1. Konventionelle Heizungssysteme .....	14
2.1.2. Wärmepumpen .....	14
2.1.3. Biomasse und Biogas .....	16
2.1.4. Photovoltaik .....	16
2.2. Wärmenetze .....	16
2.2.1. Fernwärme .....	18
2.2.2. klassische Nahwärme .....	18
2.2.3. Anergienetze .....	19
2.2.4. Förderungen für Wärmenetze .....	20
2.2.5. Wärmequellen .....	21
2.3. Beispielprojekte .....	24
2.3.1. planerische Beispiele .....	24
2.3.2. Anwendungsbeispiele .....	25

2.4.	Standortbeschreibung Remagen .....	26
2.4.1.	Lage .....	26
2.4.2.	Geologie und Klima .....	27
2.4.3.	Geothermisches Potential .....	27
2.4.4.	Schutzzonen .....	28
2.4.5.	Datengrundlage Energiebedarf .....	29
2.4.6.	Gewerbepark Remagen Süd.....	30
2.4.7.	Örtliche Wärmepotentiale .....	31
3.	Hintergrund .....	33
3.1.	Politischer Kontext .....	33
3.1.1.	EU und Deutschland .....	33
3.1.2.	Bundesländer .....	34
3.1.3.	Stadt Remagen.....	34
3.2.	Kommunale Wärmeplanung Methodik und Vorgehen .....	35
3.2.1.	Leitfaden Rheinland-Pfalz .....	35
3.2.2.	Leitfaden Baden-Württemberg .....	36
3.2.3.	Bezug zu dieser Arbeit.....	37
4.	Machbarkeitsstudie .....	39
4.1.	Abgeleitetes Vorgehen dieser Arbeit.....	39
4.2.	Verwendete Software.....	40
4.2.1.	Hotmaps .....	40
4.2.2.	Npro.....	41
4.2.3.	Zensus Daten .....	41
4.2.4.	QGis .....	41
4.2.5.	Miro .....	41
4.3.	Bestandsanalyse .....	42
4.3.1.	Vorgehen bei der Berechnung und Einordnung .....	42
4.3.2.	Analyse des Wohngebietes .....	43

---

4.3.3.	Gewerbepark Remagen Süd.....	49
4.4.	Bewertungsmatrix zur Auswahl der Technik .....	54
4.4.1.	Erstellung der Matrix.....	54
4.4.2.	Netzauswahl.....	55
4.4.3.	Technikauswahl Netz.....	56
4.4.4.	Anschluss an die Endverbraucher .....	59
4.4.5.	Zielszenario .....	60
4.5.	Simulation.....	60
4.5.1.	Datengrundlage Simulationssoftware.....	60
4.5.2.	Simulation Klassische Nahwärme.....	61
4.5.3.	Simulation Anergienetz .....	67
4.5.4.	Analyse der Simulationen .....	70
4.5.5.	CO2-Bilanz .....	72
4.5.6.	Interpretation der Simulationsergebnisse.....	73
4.5.7.	Fehlerquellen.....	73
4.6.	Kritische Bewertung und Handlungsempfehlung.....	74
5.	Fazit .....	76
6.	Anhang.....	78
6.1.	Denkmalgeschützte Gebäude.....	78
6.2.	Tabellen und Rechnungen.....	86
6.3.	Simulationsergebnisse klassische Nahwärme.....	89
6.4.	Simulationsergebnisse Anergienetz.....	92
7.	Literaturangaben .....	96



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Funktionsprinzip Wärmepumpe [4].....	15
Abbildung 2 Schaubild eines möglichen Wärmenetzes für ländliche Regionen [10] .....	17
Abbildung 3 Funktionsweise Fernwärme [12].....	18
Abbildung 4 Funktionsweise Nahwärme mit Großwärmepumpe [12].....	19
Abbildung 5 Funktionsweise Anergienetz [9].....	20
Abbildung 6 Funktionsweise Erdwärme [18].....	22
Abbildung 7 Übersicht Stadt Remagen [31].....	27
Abbildung 8 Einordnung der Zulässigkeit von Erdwärmesonden in Remagen [34] .....	28
Abbildung 9 Übersicht über Schutzzonen in Remagen [37].....	29
Abbildung 10 Gesamtenergieverbrauch der Stadt Remagen 2019 [40].....	30
Abbildung 11 Karte von Remagen mit markierten Gewerbepark Remagen Süd [41].....	31
Abbildung 12 Geplanter Standort der neuen Kläranlage [43] .....	32
Abbildung 13 Vorgehen im Leitfaden Baden-Württemberg zur Kommunalen Wärmeplanung [52]	37
Abbildung 14 Abgeleitetes Vorgehen dieser Arbeit [53].....	40
Abbildung 15 Wärmekarte des Stadtgebietes Remagen [63] .....	44
Abbildung 16 Energiebedarf von Wohnhäusern in Deutschland nach Baujahren und Anzahl Wohneinheiten [61] .....	46
Abbildung 17 nPro Eingabemaske zu Arbeitspreisen [55, 66] .....	61
Abbildung 18 nPro Eingabemaske Energiesystem der Gebäude [55, 66] .....	62
Abbildung 19 Auswahl der Netzparameter [55] .....	62
Abbildung 20 nPro Technologieauswahl Energiesystem [66] .....	63
Abbildung 21 nPro Dimensionierung der Anlage (klassische Nahwärme) [66] .....	64
Abbildung 22 Energieflüsse der Betriebssimulation – klassische Nahwärme [66].....	65
Abbildung 23 Erzeugung/Bezug thermischer Energie nach Monaten und Energiequellen – klassische Nahwärme [66] .....	65
Abbildung 24 Stromerzeugung/ -bezug nach Monaten – klassische Nahwärme [66].....	66
Abbildung 25 Kapitalwert nach 20 Jahren – klassische Nahwärme [66].....	66
Abbildung 26 Beispiel für Energiesysteme der Anschlussnehmer [66] .....	67

Abbildung 27 Energieflüsse der Betriebssimulation - Anergienetz [66].....	68
Abbildung 28 Erzeugung/Bezug thermischer Energie nach Monaten und Energiequellen – Anergienetz [66].....	68
Abbildung 29 Stromerzeugung/ -bezug nach Monaten – Anergienetz [66].....	69
Abbildung 30 Kapitalwert nach 20 Jahren – Anergienetz [66] .....	69
Abbildung 31 Energiemengenbezug der Varianten [66] .....	70
Abbildung 32 Bereitgestellte Energie der Varianten [66] .....	71
Abbildung 33 Investitions- und Energiekosten der Varianten [66].....	71
Abbildung 34 CO2 Kosten der Varianten [66].....	72

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Tabelle 1 Erfasster Gebäudebestand im Wohnquartier [60].....	45
Tabelle 2 Berechnung Energiebedarf für Wohnhäuser in Deutschland nach Baujahren [60].....	47
Tabelle 3 Abschätzung der theoretischen einfachen Leitungslänge anhand von Messungen [60].	48
Tabelle 4 Einordnung der errechneten Kennwerte anhand von Literaturwerten im Wohnquartier [60] .....	48
Tabelle 5 Umfrageergebnisse Gewerbepark Remagen Süd [60].....	50
Tabelle 6 Datengrundlage zur Berechnung des spezifischen Wärmebedarfes für den Gewerbepark [60] .....	51
Tabelle 7 Nutzung und entsprechender spezifischer Wärmebedarf von Gewerbe [60, 65].....	51
Tabelle 8 Berechnungen zur Leitungslänge und Bezugsfläche im Gewerbepark [60] .....	53
Tabelle 9 Einordnung der errechneten Kennwerte anhand von Literaturwerten im Gewerbepark [60] .....	53
Tabelle 10 Kriterien der Bewertungsmatrix [60].....	54
Tabelle 11 Ausgefüllte Bewertungsmatrix zur Netztypauswahl [60].....	55
Tabelle 12 Ausgefüllte Bewertungsmatrix zur Technikauswahl [60] .....	56
Tabelle 13 Vergleich CO <sub>2</sub> -Ausstoß der Varianten [60].....	72

## Abkürzungsverzeichnis

°C.....	Grad Celsius
a.....	Jahr
BauNVO.....	Baunutzungsverordnung
BEW .....	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BHKW.....	Blockheizkraftwerk
CO <sub>2</sub> .....	Kohlenstoffdioxid
COP .....	Coefficient of Performance
ct.....	(Euro-)cent
GHD.....	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
km.....	Kilometer
kWh.....	Kilowattstunden

l.....Liter

m.....Meter

MWh.....Megawattstunden

WE.....Wohneinheiten

## 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit widmet sich einer detaillierten Machbarkeitsstudie zur Implementierung eines Wärmenetzes in der Stadt Remagen. Angesichts des stetig wachsenden Interesses an nachhaltigen Energiequellen und der Dringlichkeit, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, richtet sich diese Untersuchung darauf, das Potenzial, die technische Realisierbarkeit sowie die wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen eines solchen Wärmenetzes zu untersuchen. Die vorliegende Forschung soll nicht nur die Realisierbarkeit eines Wärmenetzes in Remagen aufzeigen, sondern auch Lösungsansätze und Empfehlungen für die Weiterentwicklung erörtern.

Die Wärmewende nimmt eine zentrale Position innerhalb der Energiewende ein. Die Umstellung auf regenerative Energiesysteme birgt zahlreiche komplexe Fragen, angefangen bei der Analyse und Anpassung bestehender Netzwerke bis hin zur Auswahl und Implementierung geeigneter Technologien für die Wärmeherzeugung. Die Herausforderung besteht darin, einen ausgewogenen Ansatz zu finden, der sowohl ökologische Aspekte als auch ökonomische und infrastrukturelle Anforderungen berücksichtigt. Dies erfordert nicht nur technisches Know-how, sondern auch eine strategische Planung unter Berücksichtigung der lokalen Ressourcen, politischen Rahmenbedingungen und der Bedürfnisse der Bürgerinnen und Bürger.

Zentraler Untersuchungspunkt dieser Arbeit ist die Machbarkeit eines Wärmenetzes im Gewerbepark Remagen Süd. Ziel ist es, die Möglichkeit der Wärmeversorgung des Gewerbeparks durch ein Wärmenetz zu untersuchen. Hierfür wird zunächst im Kapitel 2 Stand der Technik ein Überblick über konventionelle und moderne Heizsysteme gegeben. Es werden Wärmenetze und Wärmequellen der Netze in den gängigsten Anwendungsmöglichkeiten beschrieben. Es werden vergleichbare planerische Beispiele und Anwendungsbeispiele innerhalb Deutschlands dargelegt. Abschließend wird der Standort Remagen im Hinblick auf die Fragestellung beschrieben. In Kapitel 3 wird der Hintergrund zu dieser Arbeit dargelegt. Der politische Kontext auf allen Regierungsebenen, von EU-Ebene bis zur kommunalen Ebene, wird erläutert. Des Weiteren werden aktuelle Entwicklungen und Gesetzesvorgaben zur kommunalen Wärmeplanung in Deutschland beschrieben. Dabei werden gängige Anwendungsmethoden zur Wärme- und Netzplanung vorgestellt.

In Kapitel 4 wird anhand der zuvor beschriebenen Anwendungsmethoden ein Vorgehen für diese Arbeit abgeleitet. Dieses Vorgehen wird im weiteren Verlauf des Kapitels angewandt. Dabei werden zunächst die genutzten Softwareprogramme vorgestellt. Es wird eine Bestandsanalyse durchgeführt, die den Gewerbepark sowie ein angrenzendes Wohngebiet analysiert. Dabei wird anhand von Zensusdaten und im Kontext dieser Arbeit durchgeführten Umfragen sowie Recherchen zu Energieverbräuchen eine Wärmebedarfsabschätzung der beiden Quartiere aufgestellt. Die Ergebnisse der Abschätzung werden mittels spezifischer Vergleichskennwerte eingeordnet. Des Weiteren werden örtliche energetische Potentiale analysiert. Mittels einer eigens für diese Arbeit entworfenen Bewertungsmatrix werden zwei mögliche Wärmenetzkonfigurationen gefunden, die anschließend näher untersucht werden. Diese Untersuchung beinhaltet eine Simulation mit der Software nPro, über die eine technisch mögliche Netzkonfiguration gefunden wird und eine Aussage zur Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub> Ausstoß der einzelnen Varianten getroffen werden kann. Diese Ergebnisse werden zum Abschluss des Kapitels kritisch bewertet. Die Arbeit schließt mit einem Fazit, welches die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse der Studie darlegt.

## 2. Stand der Technik

Im folgenden Kapitel wird der Stand der Technik im Hinblick auf Heizsysteme und Wärmenetz dargestellt. Hierbei werden zunächst konventionelle und moderne Heizsysteme und verschiedene gängige Formen der Anwendung beschrieben. Anschließend wird ein Überblick über bereits bestehende oder geplante Wärmenetzprojekte in Deutschland gegeben. Im Anschluss werden Wärmenetze inklusive Fördermöglichkeiten auf Bundesebene und gängige Techniken zur Wärmebereitstellung beschrieben.

### 2.1. Heizsysteme

In diesem Kapitel werden die gängigsten Methoden zur Wärmegewinnung beschrieben. In der Vergangenheit wurden oftmals fossile Energieträger genutzt, die heutzutage von erneuerbaren Energiesystemen abgelöst werden.

#### 2.1.1. Konventionelle Heizungssysteme

In diesem Kapitel wird die in Deutschland am meisten verwendete Heizungstechnik beschrieben. Diese bilden in Bestandsgebäuden die grundlegenden Voraussetzungen, von denen aus ein Wärmenetz geplant werden muss. Gasheizungen und Ölheizungen machen laut dem Dena-Gebäudereport 80 % der bestehenden Wärmeerzeuger aus [1]. Diese konventionellen Techniken werden seit Jahrzehnten verbaut und sind im Laufe der Jahre weiterentwickelt worden. Dementsprechend haben sich die Effizienz und Nutzungsparameter stetig geändert und verbessert. Bis 1990 wurden Heizsysteme verbaut, die mit Vor- und Rücklauftemperaturen von 90 °C/70 °C bis hin zu 75 °C/65 °C arbeiten. Seit 1990 werden Brennwertsysteme verbaut, die durch zusätzliche Nutzung der Abgaswärme effizienter sind. Zusätzlich arbeiten die Heizsysteme auf Temperaturen von 60 °C/45 °C. Moderne Flächenheizungen (beispielsweise Fußbodenheizungen) arbeiten mit Betriebstemperaturen von 40 °C/30 °C. Diese niedrigen Temperaturen sind durch große Radiatorflächen möglich. [2, 3].

#### 2.1.2. Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe arbeitet nach dem Prinzip der Wärmekraftmaschine. Sie nutzt die Energie, die in der Umgebungsluft, dem Erdreich oder dem Grundwasser gespeichert ist, um ein Heizsystem anzutreiben. Dabei wird durch den Einsatz von Strom, der zur Antriebsenergie der Wärmepumpe genutzt wird, die Temperatur des Heizmediums erhöht.

Der Kreislauf beginnt, wie in Abbildung 1 zu sehen, in einem Verdampfer. Dieser wird von einem Rohrleitungssystem durchströmt, welches die thermische Energie aus der Erde, der Umgebungsluft oder dem Grundwasser überträgt. Dort verdampft das Kältemittel der Wärmepumpe durch die zugeführte Energie der Wärmequelle. Der entstandene Dampf wird dann durch einen Verdichter komprimiert, wodurch seine Temperatur und sein Druck erhöht werden. Das erhöhte Temperaturniveau ermöglicht es, dass das Kältemittel im nächsten Schritt in einem Verflüssiger konden-

siert, wobei die aufgenommene thermische Energie an das Heizungswasser abgegeben wird. Das abgekühlte Kältemittel wird im Anschluss durch ein Expansionsventil entspannt und der Kreislauf beginnt von vorne [4].

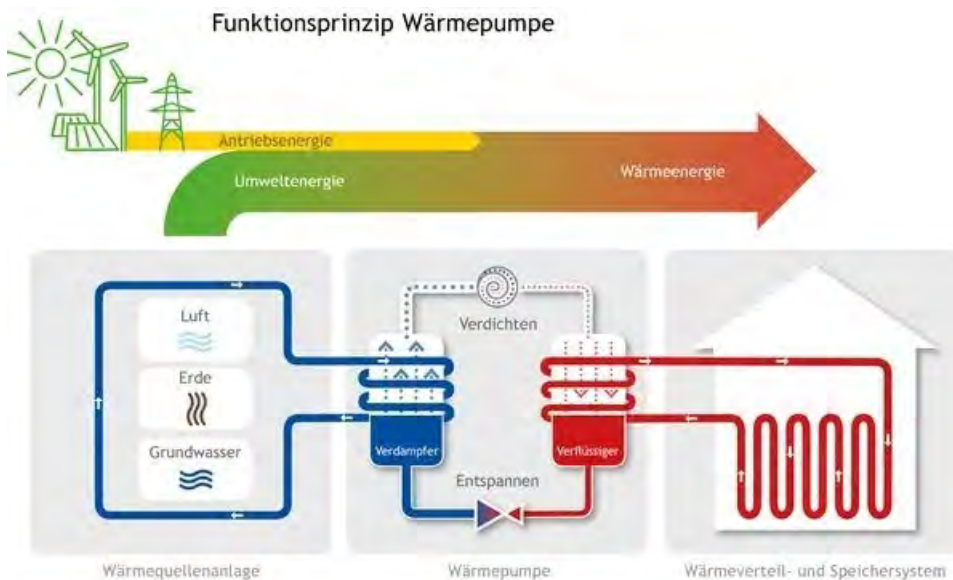


Abbildung 1 Funktionsprinzip Wärmepumpe [4]

Die Arbeitszahl einer Wärmepumpe wird auch als COP (Coefficient of Performance) bezeichnet und gibt das Verhältnis von abgegebener Wärme zur zugeführten Antriebsenergie an. Je höher der COP, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Der COP moderner Wärmepumpen liegt meist zwischen 3,5 und 6 [5].

Die Effizienz einer Wärmepumpe hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Beispielsweise der Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle und dem Heizsystem, der Leistungskurve der Wärmepumpe und der Größe des Systems. Um die Effizienz zu maximieren, sollten Wärmepumpen in Wärmenetzen mit niedrigen Vorlauftemperaturen betrieben werden. Dies ermöglicht es, die Wärmequelle optimal zu nutzen und den Wärmeverlust durch das Leitungssystem zu minimieren. Zudem ist eine niedrige Betriebstemperatur des Heizsystems in der Regel effizienter. Für die Anwendung in Systemen mit hoher Betriebstemperatur und konventionellen Heizkörpern (beispielsweise Altbauten, Gewerbe und Industrie) eignen sich Hochtemperaturwärmepumpen. Diese erreichen hohe Vorlauftemperaturen von bis zu 70-80°C [4, 5].

Wärmepumpen werden in verschiedensten Szenarien genutzt. Sie nutzen thermische Energie aus Wasser, Luft und Erdreich. Es gibt kleinere Systeme, die für Wohnhäuser dimensioniert sind und Großwärmepumpen, die für den Einsatz in größeren Gebäuden und Netzen konzipiert sind. Sie weisen Leistungen von ca. 100 kW bis zu mehreren MW auf. Obwohl sie grundsätzlich nach dem gleichen Prinzip wie herkömmliche Wärmepumpen arbeiten, sind Großwärmepumpen speziell an die anspruchsvollen Anforderungen ihrer Umgebung angepasst, um eine zuverlässige und effiziente Wärmebereitstellung zu gewährleisten [6].

Während Anlagen in kleineren Leistungsklassen serienmäßig produziert werden, handelt es sich bei Großwärmepumpen ab etwa 2 MW um maßgefertigte Lösungen, die speziell auf die individuellen Projektanforderungen zugeschnitten sind. Oftmals werden Großwärmepumpen nicht einzeln eingesetzt, sondern als Teil eines umfassenden Systems zur Wärme- und Kälteversorgung integriert. Dabei können verschiedene Ansätze verfolgt werden, wie beispielsweise die ausschließliche Nutzung von Wärmepumpen oder die Einbindung der Wärmepumpe in bestehende Nah- oder Fernwärmenetze. Diese Integration kann in Kombination mit Blockheizkraftwerken, Kraftwärmekopplungsanlagen oder anderen erneuerbaren Wärmeerzeugern erfolgen [6].

### 2.1.3. *Biomasse und Biogas*

Biogas ist ein energiereiches Gasmisch, das aus der Zersetzung von organischem Material hervorgeht. In Biogasanlagen wird der Gärprozess gezielt genutzt, um Biogas aus Substanzen wie Gülle, Bioabfällen oder Energiepflanzen zu erzeugen. Dabei erfolgt die Vergärung der Biomasse in luftdichten Containern, die als Fermenter bezeichnet werden. Im Gegensatz zu Biogasanlagen setzen Biomasse-Kraftwerke auf die direkte Verbrennung von Materialien wie Resthölzern. Diese Verbrennung erzeugt Wärme, die wiederum dazu verwendet wird, Dampf zu produzieren. Dieser Dampf treibt eine Turbine an, um elektrische Energie zu erzeugen. Die erzeugte Wärme wird oft auch zur Beheizung von Gebäuden verwendet, wodurch die Kraftwerke Wirkungsgrade von bis zu 80% erreichen. Biogas-Kraftwerke zeichnen sich durch eine hohe Verfügbarkeit über das gesamte Jahr aus und können für Lastspitzen eingesetzt werden. Anlagen mit installierter Leistung von mehreren Megawatt können oft über 6.000 MWh pro Jahr erzeugen [7].

### 2.1.4. *Photovoltaik*

Photovoltaik bezeichnet die Gewinnung von elektrischer Energie aus Sonneneinstrahlung. Sie wird in der Regel nicht direkt zum Heizen benutzt, stellt aber eine Kombinationstechnologie für den CO<sub>2</sub> neutralen Betrieb von beispielsweise Wärmepumpen dar. Wärmepumpen und andere Heizsysteme benötigen als Antriebsmittel Strom. Dieser Strom kann entweder aus dem Netz bezogen werden oder durch unter anderem Photovoltaik Anlagen generiert werden. Da der Netzstrom auch durch fossile Energieträger generiert wird, ist dieser nicht CO<sub>2</sub> neutral zudem sind die Kosten für den Strombezug aus dem Stromnetz nicht garantiert und kann bei Krisensituationen stark variieren. Deshalb empfiehlt sich oftmals in Kombination mit erneuerbaren Heizsystemen auch Photovoltaikanlagen zu installieren, um einen kostengünstigen Betrieb mit möglichst geringem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu gewährleisten. Bei überschüssiger Stromerzeugung wird dieser in das Stromnetz eingespeist und mit 6 bis 9 Cent/kWh vergütet [8].

## 2.2. **Wärmenetze**

Ein Wärmenetz ist ein System zur Verteilung von thermischer Energie, welches eine effiziente und umweltfreundliche Möglichkeit bietet, die Energie zu transportieren und zu nutzen. Wärmenetze können sowohl für die Versorgung von Gebäuden als auch für industrielle Prozesse genutzt werden. Die thermische Energie kann aus verschiedenen Quellen stammen, wie beispielsweise Ab-



wärme, Geothermie, Biomasse oder Solarthermie (siehe Abbildung 2). Hierbei sind verschiedenste Netztypologien möglich, abhängig von der Zusammensetzung der Verbraucher und Versorger. Die Vorteile von Wärmenetzen liegen vor allem in der Effizienz und Umweltfreundlichkeit. Durch den zentralen Wärmeerzeuger und die Verteilung über das Netzwerk können Verluste minimiert werden. Zudem können erneuerbare Energiequellen wie Biomasse oder Geothermie effizient genutzt werden, was zu einer Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen führt. Auch die Kosten für die Wärmeversorgung können durch den Einsatz von Wärmenetzen gesenkt werden [9].

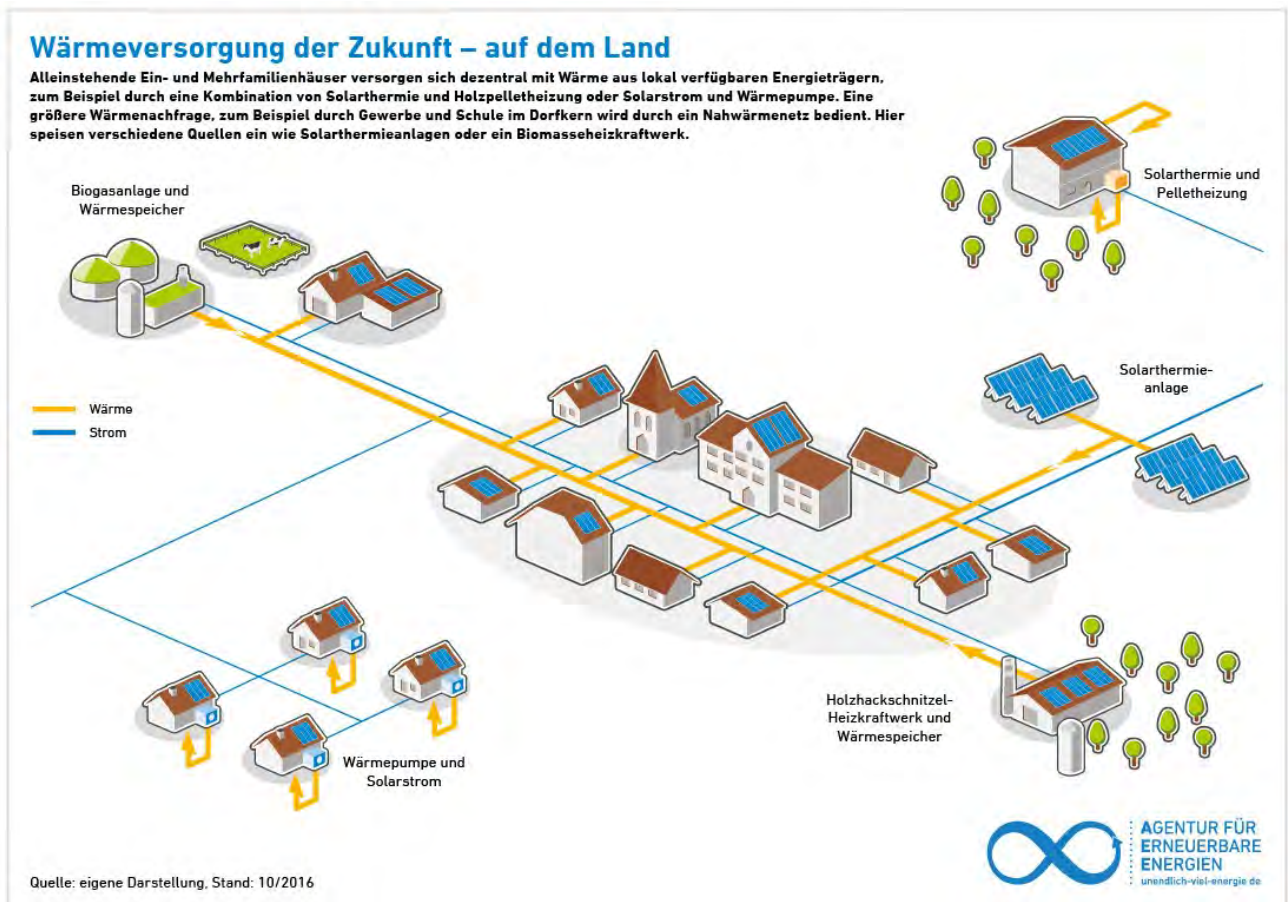


Abbildung 2 Schaubild eines möglichen Wärmenetzes für ländliche Regionen [10]

Wärmenetze bieten Lösungsmöglichkeiten für verschiedenste Voraussetzungen zur Wärme- und Kälteversorgung. Die einzelnen Netze lassen sich anhand ihrer Betriebstemperatur und Leitungslängen bzw. Netzgrößen unterscheiden. Es kann grob in Nah- und Fernwärmenetzen, sowie Hoch- und Niedertemperaturnetzen unterschieden werden. Im Folgenden werden die drei gängigsten Netztypen erklärt. Die Übergänge zwischen den einzelnen Netztypen sind fließend und nicht an konkrete Parameter gebunden. Verschiedene Quellen liefern verschiedene Einteilungen. Es wird die Einteilung gemäß dem Bundesverband für Wärmepumpen übernommen [9].

### 2.2.1. Fernwärme

Fernwärmenetze transportieren die Energie durch gedämmte Rohrleitungen über größere Entfernungen. Sie werden in der Regel von einer zentralen Wärmequelle gespeist. Zudem können Fernwärmenetze in der Regel besser an den tatsächlichen Wärmebedarf angepasst werden, da sie flexibel auf Änderungen in der Nachfrage reagieren können. Die Versorgungssicherheit ist ein wichtiger Vorteil von Fernwärme. Durch den Einsatz von Reservekesseln und Wärmeübergabestationen kann auch im Falle eines Ausfalls einer Wärmeerzeugungsanlage eine kontinuierliche Wärmeversorgung gewährleistet werden. Ein Nachteil besteht bei der Umsetzung von Fernwärmenetzen. Die Investitionskosten sind oft höher als bei der dezentralen Wärmeerzeugung, da ein umfangreiches Netzwerk von Rohrleitungen und Wärmeübergabestationen benötigt wird. Zudem kann es schwierig sein, die Interessen der verschiedenen Akteure, wie Netzbetreiber, Wärmeerzeuger und Verbraucher, in Einklang zu bringen [11].

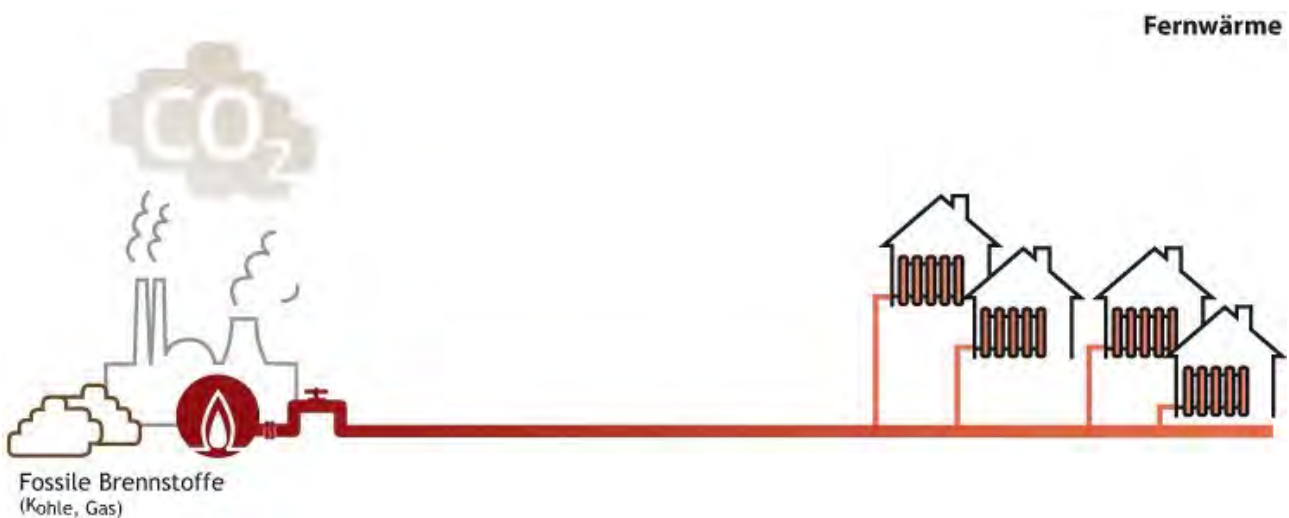


Abbildung 3 Funktionsweise Fernwärme [12]

Fernwärmenetze stehen langfristig vor der Herausforderung, die noch vorwiegend aus fossilen Brennstoffen wie Kohle und Erdgas gewonnene Wärmeerzeugung durch nachhaltige und erneuerbare Wärmequellen zu ersetzen. In diesem Zusammenhang eröffnen große Wärmepumpen-Anlagen eine Perspektive. Insbesondere in städtischen Gebieten, in denen die Nutzung von Biomasse und Solarthermie aufgrund von beschränkten Ressourcen erschwert ist. Die Effizienz und Wirtschaftlichkeit dieser Systeme stehen in engem Zusammenhang mit der Temperatur und Produktivität der Wärmequelle sowie der Netztemperatur. Fernwärmenetze nehmen eine maßgebliche Rolle in der deutschen Wärmeversorgung ein, da sie etwa 15 % des gesamten deutschen Wärmebedarfs abdecken [11].

### 2.2.2. klassische Nahwärme

Nahwärme bezeichnet die Versorgung von Gebäuden mit Wärmeenergie aus einer zentralen Energiequelle, die sich in unmittelbarer Nähe der Verbraucher befindet. Die Wärme wird über ein Netz aus Rohrleitungen zu den einzelnen Gebäuden transportiert und dort für Heizzwecke genutzt. Der Vorteil von Nahwärme liegt darin, dass sie im Vergleich zu dezentralen Heizsystemen wie Öl- oder Gasheizungen eine höhere Energieeffizienz aufweist, da Verluste durch den Transport der

Wärmeenergie auf ein Minimum reduziert werden können. Zudem bietet Nahwärme die Möglichkeit, regenerative Energiequellen effektiver zu nutzen und somit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu verringern [13].

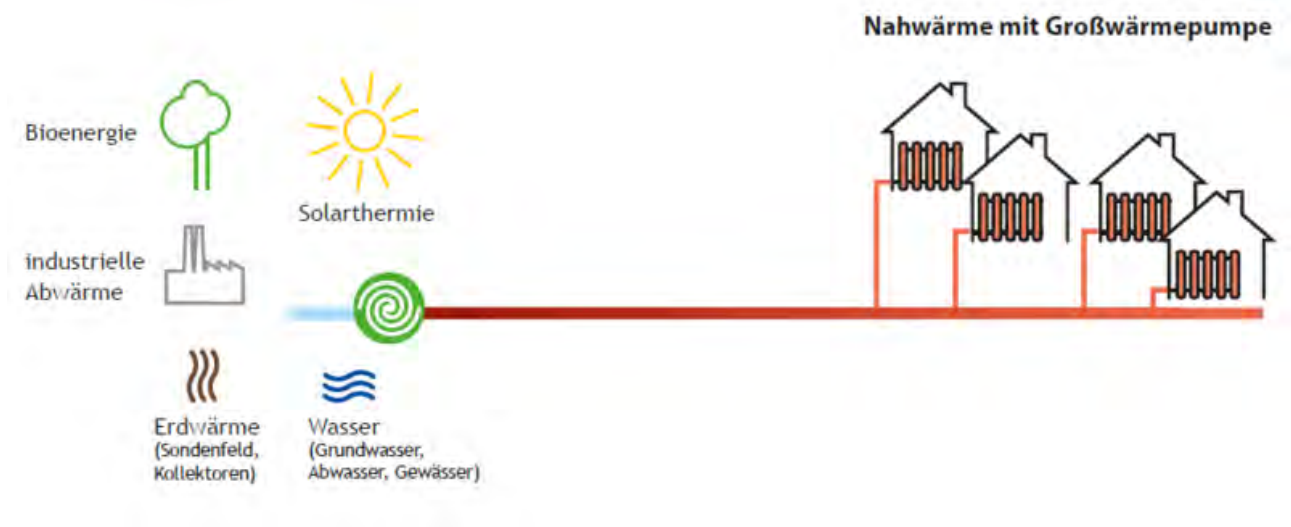


Abbildung 4 Funktionsweise Nahwärme mit Großwärmepumpe [12]

Gewöhnlich wird ein derartiges Wärmenetz um eine zentrale Heizzentrale herum konstruiert, die früher oft mit Heizkesseln oder Blockheizkraftwerken (BHKW) ausgestattet war. In zunehmendem Maße übernehmen Großwärmepumpen-Anlagen diese Rolle und ersetzen oder ergänzen die herkömmlichen fossilen Wärmeerzeuger. Solche Wärmenetze werden typischerweise für ganze Stadtviertel oder Wohnkomplexe errichtet [9].

### 2.2.3. Anergienetze

Während konventionelle Wärmenetze mit Übertragungstemperaturen von 50 °C bis über 100 °C arbeiten, werden kalte Wärmenetze mit Temperaturen von ca. -10 °C bis 25 °C betrieben. Diese Netze, wie in der Abbildung 5 dargestellt, werden auch Anergienetze genannt. Sie sind Wärme-/Kältenetze, mit denen thermische Energie nahe an der Umgebungstemperatur zwischen Energiequelle und Verbraucher transportiert wird. Das Übertragungsmedium ist hierbei eine frostbeständige Sole, welche die thermische Energie im Rohrleitungssystem transportiert und im Betrieb durch die nicht isolierten Rohre auch Umgebungswärme aufnehmen kann. Die benötigte Betriebstemperatur der Hausheizungen wird durch dezentrale Wärmepumpen gewährleistet [14].

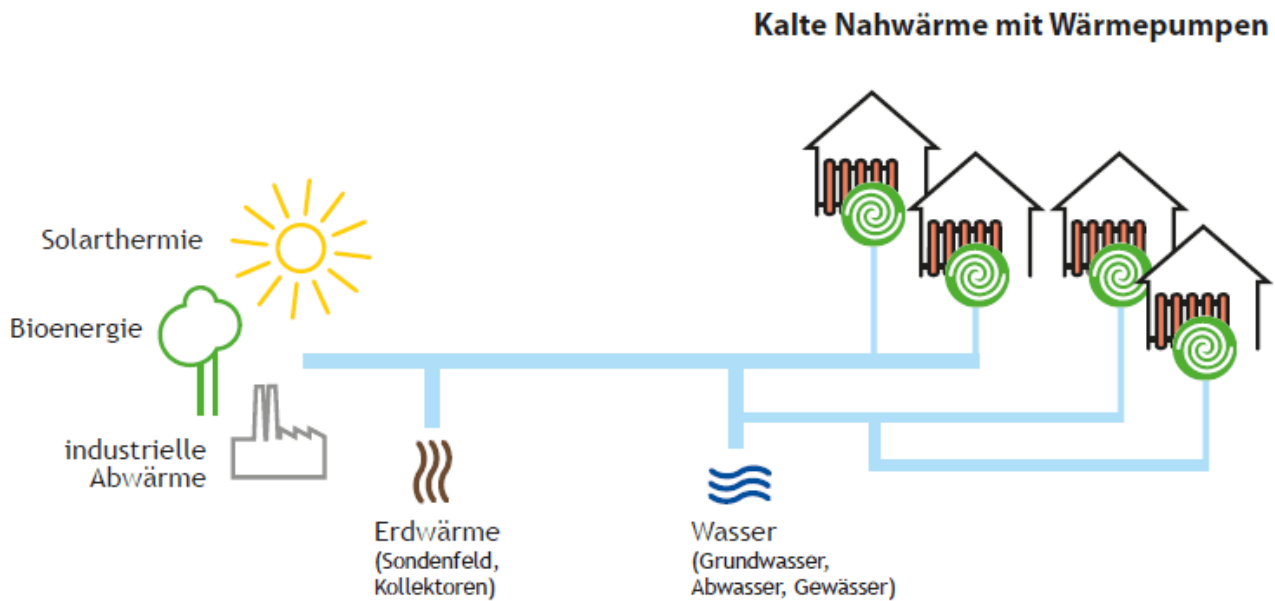


Abbildung 5 Funktionsweise Energienetz [9]

Der Energiebedarf wird durch dezentrale Energiequellen mit geringerer Temperatur gedeckt. So können neben Biogasanlagen auch Solarthermie-Anlagen, Geothermie-Anlagen, das Abwasser von Haushalten, Regenwasser oder Grundwasserbrunnen sowie Flüsse zur Wärmeversorgung genutzt werden. Neben diesen Möglichkeiten stellt Abwärme aus Industrie- und Gewerbegebieten eine weitere Wärmequelle dar. So kann die Abwärme von nahgelegenen Industriegebieten, Bürogebäuden oder Supermärkten zur Wärmeversorgung des kalten Nahwärmenetzes beitragen, da keine hohen Temperaturen erforderlich sind. Um die Energiebilanz zwischen Quellen und Wärmebezügen in einem bestimmten Zeitraum auszugleichen, sind außerdem Energiespeicher notwendig. Hier werden beispielsweise Erdwärmespeicher als Niedertemperaturspeicher verwendet [15].

#### 2.2.4. Förderungen für Wärmenetze

Im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) werden mittels 4 Modulen Wärmenetze gefördert. Modul 1 beinhaltet die Förderung von Transformationsplänen und Machbarkeitsstudien mit bis zu 50 %, mit einer maximalen Fördersumme von 2 Millionen Euro pro Antrag.

Über das zweite Modul werden systemische Förderungen für Neubau und Bestandsnetze verfolgt. Hierbei wird der Neubau von Wärmenetzen gefördert, die zu mindestens 75 % mit erneuerbaren Energien versorgt werden. Die Förderung gilt ab einer Netzgröße von 16 Gebäuden beziehungsweise 100 Wohneinheiten. Voraussetzung ist unter anderem die Vorlage einer Machbarkeitsstudie. Die Machbarkeitsstudien müssen bestimmte Vorgaben zu Aufbau und Inhalt erfüllen. Sind diese Vorgaben erfüllt, können Zuschüsse für Investitionen in Erzeugungsanlage und Infrastruktur beantragt werden. Es können 40 % der förderfähigen Ausgabe gefördert werden, bis zu einer maximalen Fördersumme von 100 Millionen Euro. „Der Antragsteller muss anhand einer Wirtschaftlichkeitslückenberechnung darlegen, dass die beantragte Förderung unter Berücksichtigung sämtli-

cher Kosten-, Erlös- und Förderkomponenten über die Lebenszeit des zu fördernden Projekts sowie eines plausiblen kontrafaktischen Falls für die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens erforderlich ist. Die Förderung ist auf die Wirtschaftlichkeitslücke begrenzt [16].“

Im dritten Modul werden förderfähige Einzelmaßnahmen berücksichtigt. Dies beinhaltet die Erweiterung bestehender Wärmenetze durch einzelne Maßnahmen, wie zum Beispiel Solarthermieanlagen, Wärmepumpen etc. Es werden 40 % der förderfähigen Ausgaben bezuschusst. Im vierten Modul ist die Betriebskostenförderung vorgesehen. Hierbei können Betriebskosten für Solarthermieanlagen sowie strombetriebenen Wärmepumpen, die bereits in einem anderen Modul gefördert wurden, kompensiert werden [16].

### 2.2.5. *Wärmequellen*

Die Quellen zur Wärmeversorgung können sehr unterschiedlich ausfallen. Konventionell sind zum Großteil fossile Energieträger eingesetzt. Im folgenden Abschnitt werden gängige alternative und regenerative Wärmequellen dargestellt. Diese sind im Hinblick auf die Kompatibilität mit einem Wärmenetz ausgewählt.

#### 2.2.5.1. *Oberflächennahe Geothermie*

Oberflächennahe Geothermie ist eine Methode zur Energiegewinnung, die auf der Nutzung der natürlichen Wärme aus dem Erdreich basiert. Diese Technologie ermöglicht es, die im Erdinneren gespeicherte Wärme für verschiedene Zwecke wie Heizung und Stromerzeugung zu nutzen. Oberflächennahe Geothermie bezeichnet alle Anlagen bis zu einer Bohrtiefe von 400 m. Der Prozess der Geothermie beginnt mit einer Erkundung, um geeignete geothermische Ressourcen zu identifizieren. Die Temperatur hängt unter anderem von der Bohrtiefe und der Bodenbeschaffenheit ab. Das geothermische Potential ist in vielen Teilen von Deutschland bekannt und in Online-Datenbanken zu finden [17].

Über Bohrlöcher wird Gestein oder Wasser an die Oberfläche gepumpt. Je nach geothermischem Reservoir kommen unterschiedliche Techniken zum Einsatz. Die gewonnene Wärme wird in einem Wärmetauscher (beispielsweise einer Wärmepumpe) genutzt, um auf ein Arbeitsfluid übertragen zu werden. Dieses Arbeitsfluid wird erhitzt und in einen energieumwandelnden Prozess geleitet. Die Rückführung des abgekühlten Wassers oder Dampfs in das geothermische Reservoir ist von Bedeutung, um einen nachhaltigen Kreislauf zu gewährleisten und mögliche Umweltauswirkungen zu minimieren [17].

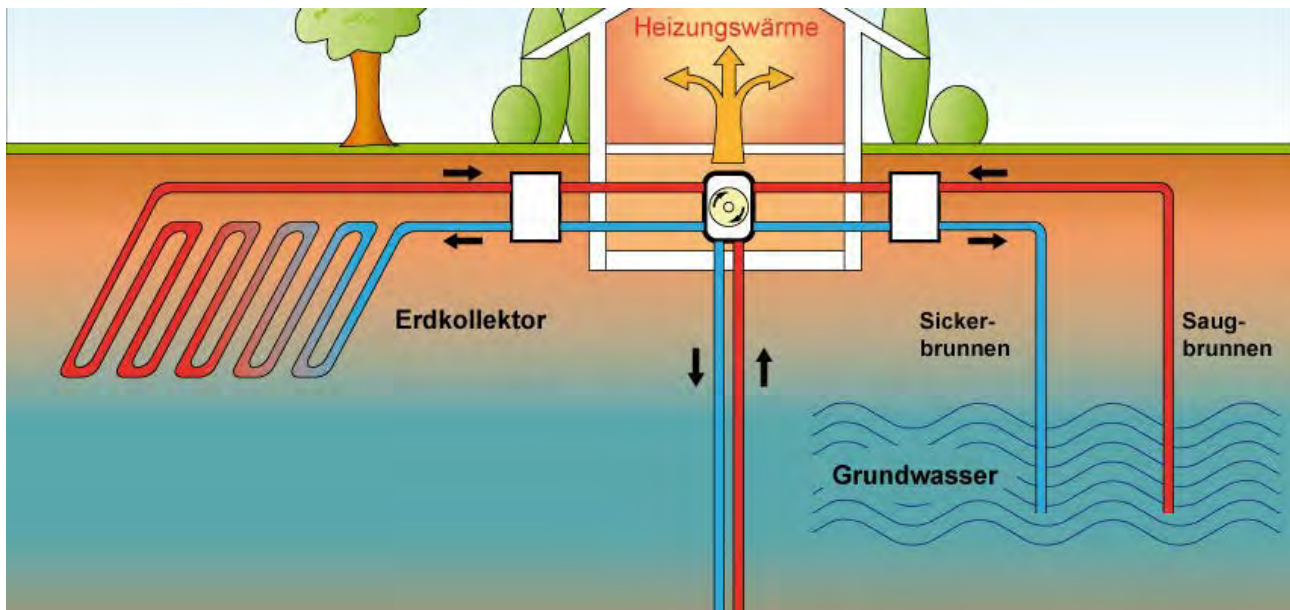


Abbildung 6 Funktionsweise Erdwärme [18]

Erdwärme kann mittels Erdwärmekollektoren nutzbar gemacht werden. Es werden Rohre in 1,5m bis 2 m Tiefe horizontal im Erdreich verlegt, die Register genannt werden. In diesen Rohren zirkuliert die Sole, welche dem Erdreich Wärme entzieht und diese zu einer Wärmepumpe transportiert. Hierfür ist eine gewisse unbebaute und nicht verschattete Fläche notwendig. Dabei ist die Wärmegewinnung stark von den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen abhängig. Die Erdwärmesonde benötigt eine geringere Fläche. Bei dieser Technik werden die Rohrleitungen vertikal in der Erde verlegt. Die Rohre reichen bis zu 100 m tief in das Erdreich. Ebenso wie bei den Erdwärmekollektoren wird durch die in den Rohren zirkulierende Sole dem Erdreich Energie entzogen und diese zur Wärmepumpe transportiert. Grundwasserbrunnen nutzen die thermische Energie, die im Grundwasser gespeichert ist. Sie können eine höhere Leistung pro Bohrloch liefern als Wärmesonden. Grundwasser als Energiequelle ermöglicht eine ganzjährige und konstante Energieentnahme. Bei Temperaturen von 8°C bis 14 °C, je nach Jahreszeit, ist eine konstante Versorgung mit Wärmeenergie gewährleistet. Geothermieanlagen finden in verschiedensten Größen Anwendung. Sie können Leistungsbereiche von einigen Kilowatt bis hin zu mehreren Hundert Kilowatt abdecken. So sind in Deutschland bereits Anlagen mit über 800 kW thermischer Leistung realisiert [18, 19].

#### 2.2.5.2. Gewässer

Bei der Nutzung von Oberflächengewässern dienen Bäche, Flüsse oder Seen als Energiequelle. Je nach Art des Gewässers unterliegt die Nutzung der Wärme Regelungen zur Wassertemperatur und dem Wasserstand. Diese Parameter sind stark abhängig von den Jahreszeiten. Somit eignen sich nur Gewässer mit ausreichender Tiefe und Wassermenge für die Nutzung als Energiequelle. Dem Gewässer wird Wasser entnommen, einer Wärmepumpe zugeführt und danach wieder in das Gewässer geleitet. Hierbei muss das Wasser bei der Entnahme gefiltert werden und es müssen Vorgaben zur maximalen Temperaturdifferenz eingehalten werden. Die Nutzung von Abwässern aus Industrie und Gewerbe ist eine weitere mögliche Energiequelle. Aufgrund von Kühl- oder Produktionsprozessen können Abwässer aus Produktionsprozessen eine deutlich höhere Temperatur

als das Grundwasser aufweisen. Dadurch ist auch ein Transport über größere Entfernungen unproblematisch. Eine weitere Nutzung von Abwässern ermöglicht sich innerhalb von Gebäuden, der Kanalisation oder in Abläufen von Kläranlagen. Je nach Art der Quelle stehen hier unterschiedliche Temperaturen und Mengen zur Verfügung. Weitere Energiequellen sind das Trinkwasser oder die Nutzung des gesammelten Regenwassers [19].

#### 2.2.5.3. Abwärme

Bei industriellen Prozessen entsteht meist Abwärme, die in die Umwelt abgegeben wird. Diese Abwärme kann nutzbar gemacht werden, indem die Produktionsstätten an ein Wärmenetz angeschlossen werden. Somit können über Wärmepumpen die nicht genutzte Abwärme angeführt und in ein Netz eingespeist werden. Je nach Prozess und Größe können die Temperaturen und Energiemengen stark variieren und auch in der Umsetzung verschiedenste Herausforderungen liefern [20].

#### 2.2.5.4. Wärmespeicher

Ein Wärmespeicher, auch als thermischer Energiespeicher bezeichnet, ist eine essenzielle Komponente in zahlreichen Energie- und Wärmeversorgungssystemen. Seine grundlegende Funktion besteht darin, thermische Energie zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt wieder freizusetzen. Diese Technologie spielt eine entscheidende Rolle bei der Integration erneuerbarer Energiequellen, insbesondere bei solaren und geothermischen Systemen. Die Funktionsweise eines Wärmespeichers beruht auf dem Prinzip der Energiespeicherung durch Temperaturänderung. In einem typischen Wärmespeicher wird Energie zugeführt, wenn sie verfügbar und kostengünstig ist. Diese Wärme wird in einem Speichermedium, oft einem Wärmespeichermedium wie Wasser, Salz oder Felsen, gespeichert und erhöht die Temperatur des Mediums. Der Schlüssel zur Effizienz von Wärmespeichern liegt in der Isolierung und Wärmedämmung des Speichers, um Wärmeverluste während der Speicherung zu minimieren. Wenn Wärmeenergie zu einem späteren Zeitpunkt benötigt wird, wird sie aus dem Speichermedium abgezogen. Dieser Prozess ermöglicht es, die erzeugte Wärmeenergie zu einem Zeitpunkt zu nutzen, an dem die Energiequellen nicht aktiv Energie produzieren, beispielsweise in der Nacht oder während bewölkter Tage [21].

Es gibt verschiedene Arten und Größen von Wärmespeichern, darunter sensible Wärmespeicher, Latentwärmespeicher und thermochemische Speicher. Sensible Wärmespeicher speichern Energie durch die Erhöhung der Temperatur eines Mediums, während Latentwärmespeicher Energie durch Phasenänderungen eines Materials, wie Schmelzen oder Erstarren, speichern. Thermochemische Speicher nutzen chemische Reaktionen, um Wärmeenergie zu speichern und freizusetzen. Das Speichern der thermischen Energie im Erdreich ist eine weitere Möglichkeit der Wärmespeicherung. Die Funktion von Wärmespeichern erstreckt sich über verschiedene Anwendungen, von der Unterstützung der Wärmeversorgung in Gebäuden bis hin zur Stabilisierung von Energieerzeugungssystemen. Sie sind von entscheidender Bedeutung, um den kontinuierlichen Energiefluss aus erneuerbaren Quellen sicherzustellen und die Effizienz und Nachhaltigkeit der Energieerzeugung zu maximieren. Dabei spielen Faktoren wie Speicherkapazität, Wärmeübertragungseffizienz und Materialauswahl eine wichtige Rolle bei der Gestaltung effektiver Wärmespeichersysteme.

Wärmespeicher finden in verschiedenen Größen Anwendung. Von Pufferspeichern für einzelne Haushalte bis hin zu mehreren hundert Megawatt, je nach Anwendung [21, 22].

#### 2.2.5.5. Solarthermie

Solarthermie-Anlagen in ihrer einfachsten Form dienen ausschließlich der Bereitstellung von warmem Trinkwasser. Die Effizienz dieser Anlagen hängt von ihrer Größe sowie dem Warmwasserverbrauch ab und kann in etwa 50 % des für die Warmwasserbereitung benötigten Energiebedarfs aus Sonnenenergie decken. In komplexeren Systemen, bei denen die Solarenergie auch zur Heizungsunterstützung verwendet wird, erfolgt die Nutzung der Solarwärme zusätzlich zur Warmwasserbereitung auch für die Raumheizung. Die Effektivität einer solchen solarthermischen Anlage hängt von verschiedenen Faktoren ab, darunter die Kollektorgröße, der Energiebedarf für die Raumheizung sowie die Temperaturanforderungen der Heizsysteme. Solarthermieanlagen sind volatil, da sie abhängig von der Sonneneinstrahlung sind. Eine Solaranlage kann etwa ein Drittel des Gesamtenergiebedarfs für die Raumheizung decken, wobei die tatsächliche Abdeckung oft niedriger ausfällt [23].

### 2.3. Beispielprojekte

In diesem Abschnitt werden planerische Beispiele, sowie Anwendungsbeispiele aufgezeigt, die möglichst nah an den vorliegenden Gegebenheiten liegen. Es werden hauptsächlich Beispiele vorgestellt, die in Deutschland umgesetzt sind.

#### 2.3.1. *planerische Beispiele*

Die planerischen Beispiele sollen einen Einblick über kommunale Wärmeplanung und Machbarkeitsstudien in Bezug auf Wärmeplanung geben. Es werden Projekte in der Planungsphase vorgestellt. Diese Projekte bieten einen Einblick in vergleichbare Arbeiten.

##### 2.3.1.1. Machbarkeitsstudie Gemeinde Heek

Die Gemeinde Heek in NRW hat zusammen mit der Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizienz mbH. eine Machbarkeitsstudie „Gemeinde Heek – Machbarkeitsstudie Nahwärmenetz Gewerbegebiet Bült“ durchgeführt. In dieser Machbarkeitsstudie wird die Machbarkeit eines Wärmenetzes zwischen einem Gewerbegebiet und einem Neubauwohngebiet untersucht. Das Ergebnis bestätigt die Machbarkeit und schlägt die Kombination aus Luft-Wasser-Wärmepumpen inkl. Pufferspeicher, Abwärme aus einer Restholzverwertung und Biomassekessel in einem Nahwärmenetz vor. Bei einer Vorlauftemperatur von 50°C sollen 17 bestehende Nichtwohngebäude im Gewerbegebiet, sowie 13 geplante Neubauten im Wohngebiet versorgt werden. Laut Studie ist bei ähnlichen Gegebenheiten eine Übertragung denkbar [24].



### 2.3.1.2. Stadt Ludwigsburg, kommunale Wärmeplanung

In der Stadt Ludwigsburg wurde die kommunale Wärmeplanung als „strategisches Planungsinstrument“ für die gesamte Stadt entworfen. Sie ist in den Vorgaben des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg vorgeschrieben. Die Stadt hat zunächst eine Bestandsanalyse durchgeführt, die den aktuellen Wärmebedarf abschätzt. Anschließend wurden über eine Potentialanalyse die Möglichkeiten zur Einsparung von Energie und dem möglichen Einsatz von erneuerbaren Energien untersucht. Im Anschluss wurde ein Zielszenario zur klimaneutralen Wärmeversorgung 2035 aufgestellt und ein Strategien- und Maßnahmenkatalog aufgestellt, um dieses Ziel zu erfüllen [25].

### 2.3.2. Anwendungsbeispiele

In diesem Abschnitt werden Anwendungsbeispiele beschrieben. Sie zeigen, wie eine mögliche Umsetzung der planerischen Arbeiten aussehen kann und geben einen Einblick in den Stand der Technik.

#### 2.3.2.1. Flusswassernutzung in Lauerdeck

In der Stadt Lauterdeck in Rheinland-Pfalz wird dem Fluss Lauder das ganze Jahr über thermische Energie entnommen. Seit 2011 werden durch ein offenes System 10 Liter Flusswasser pro Minute abgeführt und über eine Hochtemperaturwärmepumpe auf 65 °C angehoben. Das Rücklaufwasser ist um 3 Grad kälter und wird wieder in den Fluss geleitet. Durch die hohen Temperaturen der Wärmepumpe lassen sich auch konventionelle Heizkörper betreiben. Jährlich werden hierdurch ca. 520 MWh Energie bereitgestellt. An das 200 Meter lange Netz sind 11 teilweise öffentliche Gebäude angeschlossen, die einen Großteil ihres Heizenergiebedarfes aus dem Netz beziehen. Der Spitzenlastausgleich besteht aus sechs Gasbrennwertkesseln [26].

#### 2.3.2.2. Geothermieanlage „Bonner Bogen“

Im Oktober 2009 wurde in Bonn in direkter Rheinnähe eine grundwassergekoppelte Wärmepumpenanlage realisiert. Hier fördern zwei Gruppen von je drei Grundwasserbrunnen die thermische Energie des Grundwassers. Der Deckungsgrad des Wärmebedarfs liegt im Winter bei 60 % - 80 % und der Kühlbedarf wird im Sommer zu annähernd 100 % gedeckt. Die versorgte Nutzfläche beträgt knapp 40.000 m<sup>2</sup>, auf der unter anderem ein Hotel, ein Kindergarten und Büro-/ Gewerbegebäude stehen. Die Anlage soll in den nächsten Jahren vergrößert werden und „kann als Musteranlage für große, grundwassergekoppelte Wärmepumpen gelten [27].“

#### 2.3.2.3. Wärmenetz zwischen zwei Firmen in Deggenhausen

In Deggenhausen am Bodensee in Bayern werden mit Hilfe der Solarcomplex AG zwei Firmen mit insgesamt 170 Mitarbeitern über ein Wärmenetz miteinander verbunden. Betrieben wird das Netz mit Holzpellets aus einem nahegelegenen Sägewerk, einem Ölkessel und Pufferspeicher. Ziel ist

eine komplett CO<sub>2</sub>-neutrale Deckung des Wärmebedarfs von jährlich 330.000 kWh. Dies soll unter anderem mit Solarthermie und Erdwärme umgesetzt werden. Für einen Teil der Dorfgemeinschaft besteht ein Nahwärmenetz auf Basis von Hackschnitzel mit einer Kesselleistung von 500 kW. Für das gesamte Gelände wird aktuell ein Konzept mit hohem ökologischen Anspruch erarbeitet, in das nach und nach der Energiebedarf aller Gebäude systematisch integriert werden kann [28].

#### 2.3.2.4. Heizkraftwerk Kläranlage Waiblingen

In Waiblingen (Baden-Württemberg) ist seit 1986 ein Fernwärmenetz installiert, welches mit Abwasserwärme aus dem gereinigten Abwasser des Klärwerks vor Ort versorgt wird. Ein Blockheizkraftwerk gewinnt aus Faulgasen zusätzlich Strom und Wärme. Bei Lastspitzen werden bis zu vier Heizkessel zugeschaltet. Das Projekt gilt als Pionierleistung, da es zu der Zeit eines der ersten seiner Art war. Das Netz hat eine Länge von 3,6 km und versorgt 24 Gebäude und hat einen Wärmeleistungsbedarf von 6.500 kW [29].

## 2.4. Standortbeschreibung Remagen

Im folgenden Abschnitt werden der Ist-Zustand, die Lage, Geologie, das Grund- und Oberflächenwasser, Schutzzonen sowie das geothermische Potential am Standort beschrieben. Hierbei wird sich an der in Kapitel 2.3.1.1 vorgestellten Machbarkeitsstudie orientiert. Des weiteren werden wird der Gewerbepark Remagen Süd beschrieben und örtliche Wärmepotentiale untersucht.

### 2.4.1. Lage

Remagen ist eine Stadt im Landkreis Ahrweiler in Rheinland-Pfalz. Die Stadt liegt am westlichen Ufer des Rheins, etwa 15 km südöstlich von Bonn. Remagen ist Teil des nördlichen Mittelgebirges und liegt in der Nähe des rheinischen Schiefergebirges. Die Stadt besteht aus 8 Gemeinden (siehe Abbildung 7). Insgesamt leben 18.749 Menschen in der Stadt. 8.121 davon in der Gemeinde Remagen und ca. 10.000 in den 7 restlichen Ortsteilen [30].

Abbildung 7 Übersicht Stadt Remagen [31]

#### 2.4.2. Geologie und Klima

Die Stadt liegt in der Eifel, an der Grenze zum Westerwald. Die beiden Mittelgebirge werden durch den Rhein getrennt. Die Geologie der Region wird von Schiefer und Grauwacke dominiert. In der Umgebung von Remagen finden sich zahlreiche Weinberge, die auf den steilen Hängen des Rheintals angelegt sind. Die Weinbauflächen erstrecken sich in den Hängen bis zu einer Höhe von 300 m über dem Meeresspiegel. Bei den Jahresdurchschnittstemperaturen liegen die Tageshöchstwerte bei 14 °C, in der Nacht liegt der Durchschnitt bei 5 °C. Die Sonnenscheindauer beträgt im Schnitt ungefähr 4 Stunden pro Tag [32, 33].

#### 2.4.3. Geothermisches Potential

Das geothermische Potential in Remagen wird vom Landesamt für Geologie und Bergbau für Erdwärmesonden in bis zu zwei Metern Tiefe Großteiles als „geeignet“ bezeichnet. Die Böden sind „ohne Vernässung und tiefgründig [34]“. In Abbildung 8 ist die Standortbewertung des Stadtgebietes bezüglich der rechtlichen Zulassung zu sehen. Hier ist zu erkennen, dass die Umgebung im Süden der Stadt und in der Gemeinde Kripp als antragszulässig eingestuft wird. Am Rhein und in der Altstadt Remagen sind Erdwärmesonden durch Fachbehörden zu prüfen.

*Abbildung 8 Einordnung der Zulässigkeit von Erdwärmesonden in Remagen [34]*

#### 2.4.4. Schutzzonen

Wie in Abbildung 9 zu erkennen, liegt die Stadt im Nationalpark (Entwicklungsbereich 1b) bzw. Landschaftsschutzgebiet. In Landschaftsschutzgebieten gelten besondere Regelungen, um die natürlichen Lebensräume und Landschaften zu schützen und zu erhalten. Es handelt sich dabei um Gebiete, die aufgrund ihrer besonderen Schönheit, Eigenart und Vielfalt sowie ihrer Bedeutung für die Erholung und Freizeitgestaltung geschützt sind. Bei der Nutzung von Landschaftsschutzgebieten sind bestimmte Einschränkungen zu beachten. So sind beispielsweise bauliche Veränderungen, Rodungen oder Neuanpflanzungen von Bäumen und Sträuchern in der Regel nur eingeschränkt möglich oder ganz untersagt. Auch landwirtschaftliche Tätigkeiten wie das Anlegen von Feldern oder das Aufstellen von Stallungen können eingeschränkt sein. Dieser Bereich erstreckt sich bis zur Mitte des Rheins, der Fluss und alles darüber hinaus liegt in einer Naturparkzone. Im direkten Umfeld gibt es keine Trinkwasserschutzzonen [35, 36].

Abbildung 9 Übersicht über Schutzzonen in Remagen [37]

Die genauen Vorgaben zum Landschaftsschutzgebiet sind in der Verordnung über das Landschaftsschutzgebiet „Rhein-Ahr-Eifel“ vom 23. Mai 1980 festgehalten. Hierbei sind „Flächen innerhalb des räumlichen Geltungsbereiches eines bestehenden oder künftig zu erlassenden Bebauungsplanes mit baulicher Nutzung und innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile im Sinne des § 34 des Bundesbaugesetzes sind nicht Bestandteile des Landschaftsschutzgebietes [38].“ Im Bebauungsplan des Gewerbegebietes ist im Abschnitt 1.5 folgende Regelung zu Nebenanlagen getroffen (§ 14 BauNVO) „Nebenanlagen zur Versorgung der Gebiete oder einzelner Betriebe mit Elektrizität, Gas und Wasser sowie Anlagen zur Abwasserbeseitigung können ausnahmsweise auch außerhalb der überbaubaren Flächen zugelassen werden. Für eine entsprechende Eingrünung ist Sorge zu tragen [39].“

#### 2.4.5. Datengrundlage Energiebedarf

In Abbildung 10 ist der Endenergieverbrauch der Stadt Remagen von 2015 bis 2019 zu sehen. Die Stadt Remagen hatte 2019 einen Endenergieverbrauch von 450.714 MWh, der zu 42 % den Haushalten zuzuordnen ist. Darauf folgt der Sektor Verkehr mit 35 % und die Wirtschaft mit 22 % (Industrie 14 % und GHD 8 %). Die Jahre davor sehen von Zusammensetzung und Endenergieverbrauch ähnlich aus. Ein Großteil dieses Energiebedarfes wird 2018 von Gas (44 %) und Heizöl (37 %) gedeckt. Der Anteil an Strom im Endenergieverbrauch liegt bei 18 % [40].

*Abbildung 10 Gesamtenergieverbrauch der Stadt Remagen 2019 [40]*

#### *2.4.6. Gewerbepark Remagen Süd*

In dieser Arbeit stellt der Gewerbepark Remagen Süd den Ausgangsstandort der Untersuchung dar. Er liegt zwischen den Gemeinden Remagen und Kripp und umfasst die Bebauungspläne der Gewerbegebiete I bis IV. Die Bebauungspläne wurden 2008 veröffentlicht [38]. In dem Gewerbepark sind ungefähr 40 Unternehmen ansässig. Die Tätigkeitsfelder der Unternehmen sind vielfältig. Unter anderem sind eine Tischlerei, ein Supermarkt, eine Metallbaufirma, ein Industrieunternehmen zur Herstellung von Filteranlagen und ein Folienhersteller ansässig. Der Gewerbepark liegt im Süden der Stadt und befindet sich in einem Abstand von 1.300 Metern zum Rhein (siehe Abbildung 11).



Abbildung 11 Karte von Remagen mit markierten Gewerbepark Remagen Süd [41]

#### 2.4.7. Örtliche Wärmepotentiale

In diesem Abschnitt werden Wärmepotentiale aufgrund von örtlichen Gegebenheiten dargelegt. Diese Potentiale werden im weiteren Verlauf der Arbeit bewertet und eingeordnet.

##### 2.4.7.1. Klärwerk Neubau

Aufgrund von Überflutung in der Flutkatastrophe im Aartal 2021 und zukünftigem Hochwasserschutz wird die Sinziger Kläranlage neu gebaut. Der neue Standort befindet sich unweit des Gewerbeparks (siehe Abbildung 12). Ab der 2. Hälfte 2023 sollen die Bauplanung und Öffentlichkeitsabstimmung beginnen. Der Planungs- und Genehmigungsprozess soll bis 2026 abgeschlossen sein und das Bauvorhaben soll innerhalb von drei Jahren bis 2030 umgesetzt werden. Die Kosten werden auf 185 Millionen Euro geschätzt. Die Kläranlage soll nach neuesten Energieeffizienzstandards gebaut werden. Durch Nutzung von entstehenden Faulgasen in Blockheizkraftwerken, Wasserkraft, Photovoltaik und Abwärme soll ein „Netto-Null-Betrieb“ gewährleistet sein. Die aktuelle Anlage reinigt 17.500 m<sup>3</sup> Wasser pro Tag für 115.000 Einwohner. Die neue Anlage soll auf 174.000 Einwohner ausgelegt werden [42].

*Abbildung 12 Geplanter Standort der neuen Kläranlage [43]*

#### 2.4.7.2. Rheinwasser/Grundwasser

Die Nähe zum Rhein bietet eine Möglichkeit, das Flusswasser als Wärmequelle zu nutzen. Beispielprojekte aus den Kapiteln 2.3.2.1 und 2.3.2.2 lassen den Schluss zu, dass eine Nutzung des Flusswassers möglich ist. Ein erhöhtes Potential der Grundwassernutzung ist auch durch die Nähe des Rheins gegeben.

#### 2.4.7.3. Abwärme Gewerbepark

Der Gewerbepark mit diversen Unternehmen kann eine Möglichkeit zur Abwärmenutzung geben. Das genaue Abwärmepotential wird im Laufe der Arbeit näher untersucht. Durch das Anschließen des Gewerbeparks an ein Wärmenetz ist eine eventuelle Abwärmenutzung naheliegend.

#### 2.4.7.4. Betonwerke Wertstoffhof

Die Betonwerke Dyckerhoff und das Wertstoffzentrum Remagen Kripp liegen ebenfalls in direkter Umgebung. Sie sind auf Abbildung 12 zu erkennen und liegen nördlich sowie westlich des geplanten Neubaus der Kläranlage. Es sind keine weiteren Daten vorhanden, die eine Abschätzung auf konkrete Wärmemengen zulassen.



### 3. Hintergrund

Dieses Kapitel beschreibt besondere technische und politische Hintergründe. Zum einen wird der aktuelle politische Kontext von EU bis Gemeindeebene wiedergegeben. Dieser Kontext ordnet die Intention und Aktualität der Arbeit ein. Zum anderen wird ein Einblick in Leitfäden zur Wärmeplanung und Wärmenetzen gegeben, die aktuell Anwendung zur Wärmenetzplanung finden. Dieser Einblick soll die Grundlage für das Vorgehen in dieser Arbeit legen und aufbauen.

#### 3.1. Politischer Kontext

Der Umstieg auf erneuerbare Energien und CO<sub>2</sub>-Einsparung ist auf allen politischen Ebenen, von der Europäischen Union bis zu den Gemeinden und Kommunen, Thema. Die Energiewende und Wärmewende sind ein wichtiger Bestandteil der deutschen und europäischen Klimapolitik und umfassen eine Vielzahl von Maßnahmen zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Eine wesentliche Herausforderung besteht in der Umstellung des Wärmesektors von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energien. Die Wärmewende ist ein wichtiger Schritt, um die Klimaziele zu erreichen und die Energiewende zu einem Erfolg zu machen [44].

##### 3.1.1. EU und Deutschland

Die Europäische Union hat sich das Ziel gesetzt, bis 2030 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 40 Prozent, im Vergleich zum Stand von 1990, zu erreichen. Um dieses Ziel zu erreichen hat die EU eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, um die Wärmewende voranzutreiben. Dazu gehören die Förderung erneuerbarer Energien, die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden und die Förderung von Wärmespeichern. Laut dem Bericht „Energieeffizienz in Zahlen Entwicklungen und Trends in Deutschland 2021“, welcher vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie veröffentlicht wurde, betrug der Anteil der Wärmeenergie am Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2019 insgesamt 53,3 %. Dabei entfielen 26,6 % auf den Bereich Raumwärme, 21,4 % auf den Bereich Prozesswärme und 5,3 % auf Warmwasser. Hieraus lässt sich die Wichtigkeit der Wärmewende als großer Bestandteil der Energiewende ablesen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz fördert bundesweit mit der nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) Klimaschutzprojekte. Auch die Verbindlichkeit zur kommunalen Wärmeplanung wird politisch diskutiert, aufgrund der „Befürchtungen, dass die kommunale Wärmeplanung ohne eine bundesweite Verpflichtung zur Einführung nicht flächendeckend eingeführt wird und damit auch nicht den erwarteten Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten kann [45].“ Am 16.08.2023 hat das Bundeskabinett einen Gesetzesentwurf beschlossen, der zeitgleich mit dem Gebäudeenergiegesetz am 1.1.2024 in Kraft tritt. Das Gesetz verpflichtet Gemeinden bis zum 30.06.2026 bzw. bei unter 100.000 Einwohnern bis zum 30.06.2028 Wärmepläne zu erstellen. Bis 2030 sollen Wärmenetze zu 30 % mit erneuerbaren Energien beziehungsweise Abwärme betrieben werden, bis 2040 mit 80 %. Das Gebäudeenergiegesetz sieht vor, dass neue Heizungen ab 2024 zu 65 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden müssen. Die Pflicht gilt ab dem 1. Januar 2024 für den Einbau neuer Heizungen. Es gibt keine sofortige Austauschpflicht für bestehende Heizungen. Sie können weiter genutzt werden. Auch kaputte Heizungen können repariert werden oder durch gesetzlich vorgesehene Möglichkeiten für mindestens 65 % erneuerbares Heizen

ersetzt werden: der Anschluss an ein Wärmenetz, elektrische Wärmepumpe, Stromdirektheizung, Hybridheizung (Kombination aus Erneuerbaren-Heizung und Gas- oder Ölkessel) oder einer Heizung auf der Basis von Solarthermie. Außerdem gibt es unter bestimmten Bedingungen die Möglichkeit so genannter „H2-Ready“-Gasheizungen, also Heizungen, die auf 100 Prozent Wasserstoff umrüstbar sind. Enddatum für die Nutzung fossiler Brennstoffe in Heizungen ist der 31. Dezember 2044. Ab 2045 muss in allen Gebäuden klimaneutral mit ausschließlich erneuerbaren Energien geheizt werden. Das Gesetz macht den Umstieg verbindlich [46, 47].

### 3.1.2. *Bundesländer*

Einige Bundesländer haben bisher freiwillig ihre Kommunen zu einer verbindlichen Wärmeplanung verpflichtet (beispielsweise Baden-Württemberg). Zu diesem Zweck wurden Leitfäden und Vorgaben zur Hilfe der Umsetzung erstellt. Das Bundesland Rheinland-Pfalz hat die kommunale Wärmeplanung nicht verbindlich eingeführt. Über die Energieagentur Rheinland-Pfalz wird die kommunale Wärmeplanung gefördert. Die Energieagentur hat ein Faktenpapier zur kommunalen Wärmeplanung herausgegeben. Auf Grundlage der nationalen Klimaschutzinitiative werden die wichtigsten Fakten zur Umsetzung und Förderung genannt [48].

### 3.1.3. *Stadt Remagen*

Am 27.09.2021 hat der Stadtrat in Remagen ein integriertes Klimaschutzkonzept verabschiedet, welches 136 Seiten umfasst. In diesem werden sowohl Gründe für den Klimaschutz sowie eine Standortbeschreibung der Stadt gegeben. Hierbei werden bisherige Aktivitäten in Sachen Klimaschutz und eine Potentialanalyse aufgestellt. Des Weiteren wird ein Fahrplan für Klimaschutzmaßnahmen, inklusive Meilensteinplan dargelegt. Am Ende wird in einem Maßnahmenkatalog mit detaillierten Beschreibungen und Bewertungen der einzelnen Maßnahmen aufgelistet [40].

Potentiale zum Nutzen von erneuerbaren Energien bieten Photovoltaik und Biomasse. Während Biogasanlagen aufgrund der zunehmenden Konkurrenz zur Agrarwirtschaft und Chemieindustrie ein geringes Potential aufweisen, wird für Biomasse und speziell Holz ein „Potential von circa 1.827 MWh elektrisch und 4.249 MWh thermisch pro Jahr [40]“ erkannt. Dieses Potential entsteht durch Schadholzbestände aufgrund von Trockenheit und Borkenkäferbefall. Die Schadholzbestände werden durch einen hohen Bestand an Nadelhölzern und Monokulturen in den nächsten Jahren weiter verfügbar sein und haben aktuell noch keine Abnehmer auf dem Holzmarkt. Als kurzfristige Maßnahme wird die Steigerung der Sanierungsrate, sowie die Nutzung von erneuerbaren Energien genannt. Einen direkten Einfluss auf die Sanierungsrate kann die Stadt nicht nehmen. Es soll vermehrte Öffentlichkeitsarbeit stattfinden, mit dem Ziel, Hausbesitzer über die Möglichkeiten von Sanierungsmaßnahmen und Förderungen aufzuklären [40].

In dem Klimaschutzkonzept werden Quartierkonzepte als mittel- bis langfristige Maßnahme genannt. Es geht hervor, dass zum Zeitpunkt der Konzepterstellung in Remagen kein quartiersumfassendes Konzept zur Wärme- oder Stromversorgung vorhanden ist. Es werden mögliche Potentiale genannt, wie das „Gewerbegebiet, der Bauhof und die Verwaltungsgebäude der Stadt. [...] Ein Quartierskonzept ist auf diesem Gebiet besonders sinnvoll, da hier viele Großverbrauchergebäude liegen und sich die Lastverbräuche teilweise sehr gut ergänzen [40].“ Auch Wohnsiedlungen

mit hohem Anteil an Altfeuerungsanlagen werden mit hohem Einsparpotential eingeordnet. Die Möglichkeit eines Nahwärmenetzes wird als denkbare Möglichkeit bewertet.

### **3.2. Kommunale Wärmeplanung Methodik und Vorgehen**

Es gibt verschiedene Leitfäden zur kommunalen Wärmeplanung. Teilweise von den Bundesländern veröffentlicht, teilweise von Vereinen und Initiativen. Die kommunale Wärmeplanung wird für die Bundesländer und Kommunen verpflichtend. Im Folgenden werden zwei dieser Leitfäden und beinhalteten Methodiken gegenübergestellt. Es wird aufgrund der Lage des Untersuchungsgebietes der Leitfaden des Landes Rheinland-Pfalz vorgestellt. Des Weiteren der Leitfaden des Landes Baden-Württemberg, da dieser „am weitesten verbreitet ist [49]“. Aus dieser Gegenüberstellung wird in Kapitel 4.1 ein Vorgehen für diese Arbeit hergeleitet. [49, 50].

#### *3.2.1. Leitfaden Rheinland-Pfalz*

Die Energieagentur Rheinland-Pfalz hat einen Leitfaden für Kommunen zur Umsetzung von Nahwärmenetzen veröffentlicht. Dieser Leitfaden soll bei der Planung und Umsetzung von Nahwärmenetzen unterstützen und somit einen Beitrag zur Energiewende leisten. Zunächst werden in dem Leitfaden Anlass und Synergieeffekte von Nahwärmenetzen beschrieben. So eignen sich Heizungserneuerungsmaßnahmen, Neubaumaßnahmen, Straßeninstandsetzungsmaßnahmen, Leitungsverlegungen oder -sanierungen und Infrastrukturmaßnahmen besonders gut, um Nahwärmenetze zu planen und umzusetzen. Im nächsten Schritt wird eine grundsätzliche Abschätzung vorgenommen. Dabei wird geprüft, ob ein Mindestwärmemengenabsatz von 500 kWh pro Jahr und Meter Trasse erreicht werden kann und welche Leitungsverluste, Bebauungsdichte und Anschlussoptionen gegeben sind. Zudem wird die Energieträgerverfügbarkeit geprüft und eine Abschätzung vorgenommen, wer an dem Nahwärmenetz beteiligt sein könnte [51].

In der Initialplanung werden dann weitere Schritte eingeleitet. Hierbei geht es um die Kommunikation mit Anwohnern, die Abklärung rechtlicher Rahmenbedingungen, die Festlegung einer Rechtsform sowie die Erhebung energetischer Kenndaten. In der Detailplanung wird dann ein Ingenieurbüro einbezogen, um eine Machbarkeitsstudie und Wirtschaftlichkeitsberechnung durchzuführen, inklusive Gegenüberstellung verschiedener Systemvarianten. Auch die Wärmepreiskalkulation wird in diesem Schritt vorgenommen [51].

Nach der Entscheidungsfindung, welche Anlagentechnik eingesetzt werden soll, wird ein Finanzierungskonzept erstellt und eine verbindliche Interessentenabfrage durchgeführt. Im nächsten Schritt erfolgt die Fördermittelbeantragung, bevor dann weitere Schritte zur Umsetzung eingeleitet werden. Hierzu gehören die Detailplanung, Ausschreibungen und verbindliche Vertragsabschlüsse. Schließlich werden der Bau und Betrieb des Nahwärmenetzes realisiert. Hierbei wird der Auftrag vergeben, das Vorhaben gebaut, eine Testphase durchlaufen und die Betriebsführung übernommen [51].

### 3.2.2. Leitfaden Baden-Württemberg

Der Leitfaden für kommunale Wärmeplanung in Baden-Württemberg verfolgt das Ziel, den Bedarf und die Potentiale für die Wärmeversorgung systematisch zu analysieren und zusammenzuführen. Durch die ganzheitliche Betrachtung von Energiebedarf, Energieeinsparung, Versorgungsstrukturen und Potentialen ergeben sich Möglichkeiten für die lokale Umsetzung einer nachhaltigen Wärmeversorgung. Der Wärmeplan dient dabei als Fahrplan für die Gemeinde und Kommunen, um eine klimafreundliche Wärmeversorgung langfristig zu ermöglichen [52].

Wie in Abbildung 13 dargestellt, erfolgt im ersten Schritt eine Ist- und Potentialanalyse. Hierbei wird das Potential für Energieeinsparungen und die Nutzung von Abwärme ermittelt. Auch der Bedarf an Warmwasser und Prozesswärme in Haushalten, Gewerbe und Industrie wird betrachtet. Dabei werden auch lokale Potentiale für erneuerbare Energien berücksichtigt. Im Anschluss werden Verbrauchs- und Versorgungsszenarien untersucht und eine Zonierung der Eignungsgebiete aufgestellt. Diese Ergebnisse werden mit der Stadtentwicklung abgeglichen. Aus diesen Schritten wird eine Wärmewendestrategie entwickelt, aus der Umsetzungsprojekte abgeleitet werden. Die Wärmewendestrategie gibt einen Transformationspfad zur Umsetzung des Wärmeplans. Hierbei werden Maßnahmen, Prioritäten und Zeitpläne festgelegt. Auch die Einbindung der Bürger und Akteure vor Ort sowie die Abstimmung mit anderen Planungsinstrumenten, wie dem Klimaschutzkonzept erfolgt in diesem Schritt. Resultierende Projekte werden über Machbarkeitsstudien und Detailplanungen umgesetzt. Diese Projekte werden über Monitoring und Reporting durch Review-Prozesse bewertet und bei Bedarf angepasst [52].

Im letzten Schritt wird die Wärmewendestrategie formuliert, die den Transformationspfad zur Umsetzung des Wärmeplans beschreibt. Hierbei werden Maßnahmen, Prioritäten und Zeitpläne festgelegt. Auch die Einbindung der Bürger und Akteure vor Ort sowie die Abstimmung mit anderen Planungsinstrumenten wie dem Klimaschutzkonzept erfolgt in diesem Schritt [52].

*Abbildung 13 Vorgehen im Leitfaden Baden-Württemberg zur Kommunalen Wärmeplanung [52]*

### 3.2.3. *Bezug zu dieser Arbeit*

Beide Leitfäden haben das Ziel, Kommunen bei der Umsetzung von nachhaltigen Wärmeversorgungskonzepten zu unterstützen. Der Leitfaden der Energieagentur Rheinland-Pfalz konzentriert sich auf die Umsetzung der Nahwärmeversorgung, während der Leitfaden der kommunalen Wärmeplanung Baden-Württemberg einen umfassenderen Ansatz verfolgt, der ein strategisches Vorgehen liefert. Beide empfehlen eine Analyse des aktuellen Zustands der Wärmeversorgung und eine Bewertung des Potentials erneuerbarer Energien in der Gemeinde oder Kommune.

Der Leitfaden der Energieagentur Rheinland-Pfalz geht stärker auf die technischen Aspekte der Umsetzung ein und beschreibt den Planungsprozess im Detail, einschließlich der Schritte der Detailplanung, der Entscheidungsfindung, der Fördermittelbeantragung und des Baus und Betriebs. Der Leitfaden der kommunalen Wärmeplanung Baden-Württemberg betont den strategischen Ansatz und schlägt vor, ein Zielszenario zur Deckung des Wärmebedarfs zur Erreichung von Klimaneutralität zu entwickeln. In diesem Sinne zielt er auf eine längerfristige Planung ab, die den

Wärmeplan als Routenplaner für die Gemeinde oder Kommune betrachtet. Insgesamt haben beide Leitfäden gemeinsam, dass sie eine umfassende Analyse und Planung empfehlen, um eine nachhaltige Wärmeversorgung zu gewährleisten. Sie ergänzen sich, indem der Leitfaden der Energieagentur Rheinland-Pfalz einen detaillierteren technischen Ansatz verfolgt, während der Leitfaden der kommunalen Wärmeplanung Baden-Württemberg einen strategischeren Ansatz verfolgt, um eine langfristige Vision für eine nachhaltige Wärmeversorgung zu entwickeln.

## 4. Machbarkeitsstudie

Im folgenden Kapitel werden die Erkenntnisse Ergebnisse der Arbeit vorgestellt. Ziel ist die Frage, ob es ein Wärmenetz für ein Gewerbegebiet machbar ist. Es wird eine Lösung mittels Wärmenetz untersucht und weitere, dezentrale Lösungen sind in diesem Vorgehen nicht berücksichtigt. In Rücksprache mit der Stadt Remagen wird der Gewerbegebiet Remagen Süd ausgewählt. Aufgrund von möglichen Ergänzungen der Lastkurven der Verbräuche zwischen Wohnhäusern und Industrie, sowie Gewerbe wird zudem ein Wohnquartier in die Untersuchungen mit einbezogen. Hierzu wird der Gewerbegebiet und ein nahes Wohngebiet näher untersucht. Die Grundlage zum Vorgehen lieferte die selbst entworfene Methodik, die aus gängigen Leitfäden abgeleitet wird, sowie selbst erhobene und recherchierte Daten. Diese werden zunächst beschrieben und im Anschluss wird das Vorgehen auf dieser Grundlage dargelegt. Es wird ein Gebiet ausgewählt, in dem ein Zielszenario mittels einer Simulation untersucht wird. Am Ende des Kapitels folgt eine Interpretation der Ergebnisse. Eine der beiden Netzkonfigurationen legt die gleichzeitige Kühlung im Sommer nahe. Diese wird in der entsprechenden Simulation berücksichtigt. Zum Abschluss werden die Ergebnisse gegenübergestellt, bewertet und eine Handlungsempfehlung gegeben.

### 4.1. Abgeleitetes Vorgehen dieser Arbeit

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird ein eigens entwickeltes Vorgehen angewandt, um die Realisierbarkeit einer Wärmeversorgung mittels eines Wärmenetzes in dem Stadtgebiet zu untersuchen. Das Vorgehen ist in Abbildung 14 dargestellt und wurde mittels der Software Miro (Kapitel 4.2.5) erstellt. ES besteht aus mehreren aufeinander aufbauenden Schritten, die es ermöglichen, sowohl den Bestand als auch die Potentiale und Hindernisse des Vorhabens zu analysieren. Diese Schritte orientieren sich an der Vorgabe des Wärmeleitfadens Baden-Württemberg in Kapitel 3.2.2 und wurden dem Kontext der Arbeit entsprechend angepasst.

Zunächst erfolgt eine Bestandsanalyse. Diese wird aus den in Kapitel 2 recherchierten Grundlagen aufgebaut. Dazu erfolgt unter Einbeziehung der in Kapitel 2.4 recherchierten Hindernisse, wie Denkmalschutz, Umweltschutz und Potentiale wie hoher Wärmebedarf, Lage zum Gewerbegebiet und Bebauungsdichte eine mögliche örtliche Umsetzung. Für die ausgewählten Gebiete wird eine Wärmebedarfsabschätzung erstellt. Anschließend werden die Ergebnisse anhand von recherchierten Kennwerten interpretiert.

Eine mögliche technische Umsetzung wird mittels einer Bewertungsmatrix ausgearbeitet. Es werden detaillierte Betrachtungen zu energetischen Potentialen durchgeführt. Die Entscheidung zu den untersuchten Techniken wird unter Zuhilfenahme dieser Bewertungsmatrix in Kapitel 4.4.1 getroffen und liefert zwei mögliche Zielszenarien.

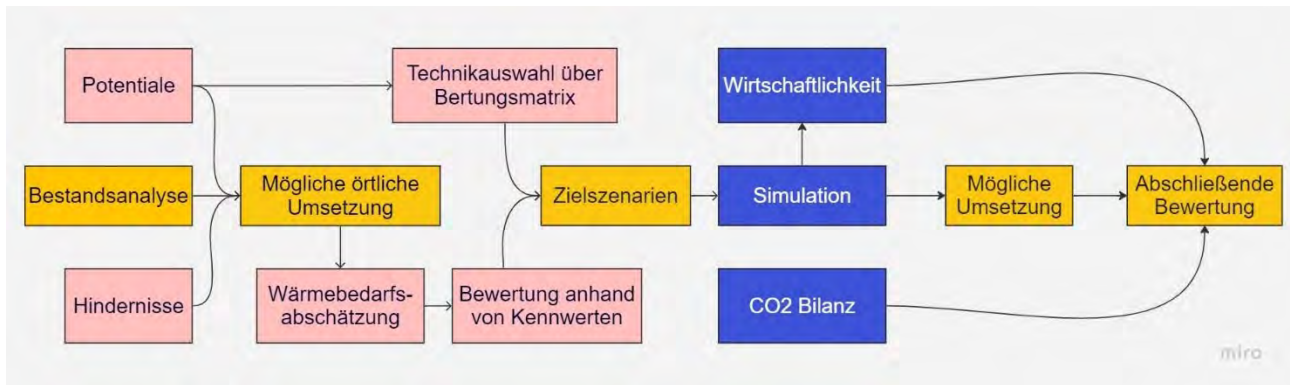


Abbildung 14 Abgeleitetes Vorgehen dieser Arbeit [53]

Die Szenarien werden mittels einer Software simuliert. Die Software trifft Entscheidungen zur Dimensionierung und Zusammensetzung der Netze. Es wird ein Ergebnis zur möglichen Umsetzung der Netze geliefert. Anschließend wird das Zielszenario bzw. das Ergebnis der Untersuchung anhand einer Wirtschaftlichkeitsberechnung der Software und einer erstellten CO<sub>2</sub>-Bilanz abschließend bewertet. Hierbei werden die Kosten und potenziellen Einnahmen der Wärmeversorgung aufgestellt und analysiert. Des Weiteren werden die Machbarkeit und Effizienz der geplanten Wärmeversorgung anhand der Ergebnisse interpretiert. Zudem werden mögliche Handlungsempfehlungen für zukünftige Entwicklungen im Bereich der nachhaltigen Energieversorgung auch unter Einbeziehung der aktuellen politischen Gegebenheiten innerhalb einer abschließenden Bewertung diskutiert.

## 4.2. Verwendete Software

Im Folgenden werden die verwendeten Softwareprogramme beschrieben, die neben den gängigen MS-Office Programmen Excel und Word im Verlauf dieser Arbeit genutzt werden.

### 4.2.1. Hotmaps

Hotmaps ist ein Open-Source Kartierungs- und Planungstool für Heizungen und Kühlungen. Das übergeordnete Ziel von Hotmaps ist die Entwicklung einer Open-Source-Toolbox für die Kartierung und Planung von Heiz- und Kühlsystemen sowie die Bereitstellung von Standarddaten für die EU-Länder auf nationaler und lokaler Ebene. Diese Daten und Tools ermöglichen es öffentlichen Behörden, Ressourcen und Lösungen zur Energieversorgung in ihrem Verantwortungsbereich auf effiziente und kostengünstige Weise zu identifizieren, zu analysieren, zu modellieren und zu kartieren. Diese Ergebnisse helfen den Behörden, Heiz- und Kühlsystemstrategien auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene zu entwickeln, die im Einklang mit den Zielen für erneuerbare Energien und CO<sub>2</sub>-Emissionen auf nationaler und EU-Ebene stehen [54].



#### 4.2.2. *Npro*

NPro wurde speziell konzipiert, um den Prozess der frühen Planung von energetischen Quartiersprojekten zu optimieren und zu standardisieren. In diesem Werkzeug werden bewährte Berechnungsmethoden in eine benutzerfreundliche Oberfläche integriert, die leicht bedienbar ist. Die Fokussierung liegt auf der Berechnung und Auslegung von Wärme- und Kältenetzen sowie kalten Nahwärmenetzen. Es zeichnet sich zudem durch die Integration von Berechnungsmethoden aus dem Bereich der mathematischen Optimierung aus. Es können Jahreskennlinien und Wirtschaftlichkeitsrechnungen mit eigenen Daten oder bereits hinterlegten Zahlen ausgerechnet werden [55]. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in nPro wird mittels der Kapitalwertmethode wiedergegeben. Hierbei wird der Kapitalwert aus der Summe der Einnahmen und Ausgaben über den Betrachtungszeitraum errechnet. Die Einnahmen und Ausgaben werden je nach Zeitpunkt des Zahlungsstroms entsprechend verzinst, wodurch der Zeitwert des Geldes berücksichtigt wird. Ist der Kapitalwert über den betrachteten Zeitraum positiv, entstehen überschüssige Einnahmen und die Investition kann als vorteilhaft eingestuft werden. Ist der Kapitalwert kleiner Null, würden dementsprechend Verluste entstehen [56].

#### 4.2.3. *Zensus Daten*

Der Zensus ist eine Methode zur Datenerhebung in Deutschland. Sie geht aus der klassischen Volkszählung hervor und arbeitet mit Bund und Ländern zusammen. Es werden unter anderem genaue Daten zu Wohnungs- und Häuserbestand in Deutschland geliefert. Durch das Einbeziehen von Einwohnermeldeämtern und weiteren Melderegistern sowie stichprobenartigen Umfragen werden verlässliche Ergebnisse für ganz Deutschland geliefert. Der letzte Zensus fand 2022 statt und liefert somit aktuelle Datengrundlagen [57].

#### 4.2.4. *Qgis*

Qgis ist eine Open-Source-Geoinformationssoftware, die es ermöglicht, beispielsweise Zensusdaten zu visualisieren und zu analysieren. Die Funktionsweisen sind komplex und können unter anderem durch Python-Plugins noch erweitert werden. „QGIS bietet derzeit Werkzeuge für Vektoranalyse, Rasteranalyse, Stichproben, Geoprocessing, Geometrie und Datenbankmanagement [58].“

#### 4.2.5. *Miro*

Miro ist eine kollaborative Online-Whiteboard-Plattform, die es Benutzern ermöglicht, gemeinsam an Ideen, Projekten und Konzepten zu arbeiten. So können beispielsweise Mindmaps, Flussdiagramme erstellt werden [59].

### 4.3. Bestandsanalyse

Zunächst wird der Ist-Zustand aufbauend auf den im Abschnitt 2.4 recherchierten Daten näher beschrieben. Es wird der Gewerbepark Remagen Süd und ein geeignetes Wohngebiet näher untersucht. Hierzu wird die Software Hotmaps genutzt, die einen Überblick über die Wärmedichte im Stadtgebiet gibt. Anschließend werden mittels Qgis Zensusdaten zu Gebäudealter und Heizungssystemen ausgewertet. Des Weiteren wird eine Umfrage im Gewerbepark, die im Zuge dieser Arbeit durchgeführt wurde, zur Datenerhebung genutzt. Diese Daten werden im Hinblick auf den Wärmebedarf und Stand der Technik analysiert. Anschließend werden die Ergebnisse der Analyse interpretiert, indem sie anhand von Kennwerten eingeordnet werden.

#### 4.3.1. Vorgehen bei der Berechnung und Einordnung

Die Berechnungen zum Gewerbepark und Wohnquartier erfolgen nach dem gleichen Vorgehen. Zunächst wird ein spezifischer Wärmebedarf anhand von Quellen recherchiert. Dieser Bedarf wird mit den gemessenen bzw. recherchierten Werten zu Nutz-/ Wohnfläche verrechnet (siehe Formel 1).

*Formel 1 Berechnung Jahresbedarf an Endenergie pro Gebäude aus Multiplikation der Literaturwerte für Endenergiebedarf, bezogen auf Nutzfläche und durchschnittliche Nutzfläche Wohngebäude für Wohngebäude; Baujahrguppe 1949-1979 [60]*

$$236 \frac{kWh}{m^2 \times a} \times 178,5m^2 = 42.126 \frac{kWh}{a}$$

Ergebnis dieser Rechnung ist ein Jahresenergiebedarf für jeden Gebäudetyp. Diese Energiemenge wird in Formel 2 im Falle des Wohnparks mit der Anzahl der Gebäude multipliziert. In der Berechnung des Energiebedarfes im Wohnquartier liegen Endenergiewerte als Rechengrundlage vor. Aus diesen Werten wird in Formel 3 der Anteil an Strom herausgerechnet und liefert somit ein Ergebnis zur thermischen Energie. Die Berechnungen des Gewerbeparks legen Energiebedarfe direkt als thermischer Energie zu Grunde. Deshalb wird dieser letzte Rechenschritt in Formel 3 nicht benötigt.

*Formel 2 Beispielrechnung Jahresbedarf an Endenergie für gesamte Gebäudegruppe durch Multiplikation Jahresbedarf an Endenergie pro Gebäude mit gesamter Gebäudeanzahl; Baujahrguppe 1949-1979 [60]*

$$42.126 \frac{kWh}{a} \times 32 = 1.348.032 \frac{kWh}{a}$$

Formel 3 Beispielrechnung thermischer Energiebedarf der Gebäudegruppe durch Multiplikation Endenergiebedarf der Gebäudegruppe und Anteil thermischer Energie von Endenergie; Gebäudegruppe 1949-1979 [60]

$$1.348.032 \frac{kWh}{a} \times 0,82 = 1.105.386 \frac{kWh}{a}$$

Bei diesen Berechnungen werden Sanierungsraten nicht in die Berechnungen mit einbezogen. Die Sanierungsrate in Deutschland liegt aktuell bei 1 % pro Jahr. Hieraus ergeben sich geringere Realwerte. Aufgrund der geringen Sanierungsrate in der Vergangenheit und aufwendigen Abschätzungen bei älteren Gebäuden, Sanierungsdatum und Status quo zur Zeit der entsprechenden Sanierungsmaßnahme, werden diese Betrachtungen außer Acht gelassen. Bei der Analyse des Gewerbegebiets wird ein weiteres Vorgehen angewandt, um vergleichbare Werte für den Energiebedarf zu erhalten. Diese Rechnungen sind im entsprechenden Abschnitt (Kapitel 4.3.3.2) beschrieben [61].

Die Kennwerte, anhand denen eine Einordnung des Potentials für ein Wärmenetz durchgeführt wird, sind zwei verschiedenen Quellen entnommen. So gibt der Praxisleitfaden zur Wärmeplanung Rheinland-Pfalz eine Wärmedichte von mindestens 500 kW pro Jahr und Meter Trasse an, damit sich ein Wärmenetz rentieren kann. Dieser Wert wird beispielhaft in Formel 4 berechnet. In dem „Leitfaden Rahmenbedingungen für Wärmenetze“ des Landkreises Osnabrück sind die Werte zu Bestandsnetzen gegeben sowie die Aussage, ob ein Untersuchungsgebiet für ein Wärmenetz geeignet ist oder nicht. Diese Aussage wird anhand der Wärmebezugsdichte getroffen. Zur Berechnung wird der Bedarf an thermischer Energie durch die Leitungslänge bzw. die Bezugsfläche geteilt. Die Bezugsfläche errechnet sich aus der Länge mal Breite des Wärmenetzes (siehe Formel 5) [51, 62].

Formel 4 Beispielrechnung Wärmedichte durch Division gesamter thermischer Energiebedarf durch einfache Leitungslänge; Wohnquartier [60]

$$3.743.031 \frac{kWh}{a} \div 5.674m = 663 \frac{kWh}{m \times a}$$

Formel 5 Beispielrechnung Wärmebezugsdichte durch Division gesamter thermischer Energiebedarf durch Bezugsfläche; Wohnquartier [60]

$$3.743.031 \frac{kWh}{a} \div 150.000m^2 = 25 \frac{kWh}{m^2 \times a}$$

#### 4.3.2. Analyse des Wohngebietes

Zunächst wird ein potenzielles Wohngebiet gefunden. Dazu erfolgt eine Bewertung anhand der Software Hotmaps sowie der in Kapitel 2.4 recherchierten Hindernisse, wie Denkmalschutz und Umweltschutz. Potentiale wie hoher Wärmebedarf. Die Lage zum Gewerbegebiet und Bebauungsdichte werden ebenfalls berücksichtigt. Im Anschluss wird zu dem ausgewählten Gebiet eine Aus-

sage zu Stand der Technik und Wärmebedarf gegeben. Diese Ergebnisse werden mittels Literaturkennwerten zu Wärmenetzen eingeordnet.

#### 4.3.2.1. Gebietsauswahl

Im Rahmen einer Studie zur gezielten Nutzung erneuerbarer Energieressourcen wird mittels Hotmaps eine Karte zur Wärmedichte der Stadt Remagen erstellt. Anhand dieser Karte werden Potentiale im Hinblick auf Wärmebedarfsdichte sichtbar. Es werden drei Gebiete mit einer Wärmedichte von 500 MWh/Jahr-1000 MWh/Jahr zur näheren Betrachtung ausgewählt. Die ausgewählten Gebiete sind in Abbildung 15 in Blau markiert. Das Gebiet im Nord-Westen der Stadt liegt in der Altstadt von Remagen, Das zweite Gebiet an der Rheinpromenade und das dritte nordwestlich am Gewerbepark.

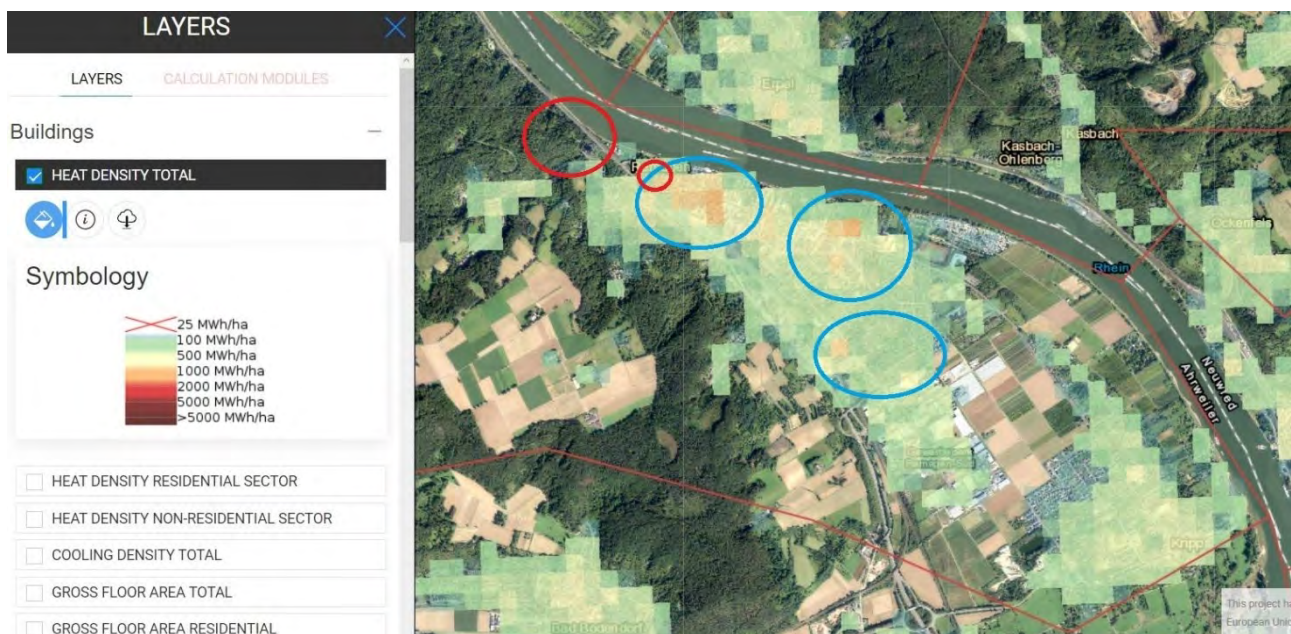


Abbildung 15 Wärmekarte des Stadtgebietes Remagen [63]

Im nächsten Schritt werden die ausgewählten Gebiete anhand von verschiedenen Kriterien bewertet. Hierbei sind im ersten Schritt Ausschlusskriterien, wie Denkmalschutzvorgaben und die Entfernung zum Gewerbepark berücksichtigt. Eine genaue Auflistung der denkmalgeschützten Gebäude ist dem zu Anhang entnehmen. In Abbildung 15 wurden die zwei Gebiete mit besonders hohem Vorkommen an denkmalgeschützten Gebäuden in Rot markiert. Aufgrund der Überschneidungen innerhalb der Altstadt und der hohen Bebauungsdichte im Stadtzentrum wird das nordwestliche Gebiet von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Das zweite, an der Rheinpromenade gelegene Gebiet wird aufgrund seines hohen Abstandes zum Gewerbepark und die ebenfalls dichte Bebauung ausgeschlossen. Das dritte Gebiet wird aufgrund seiner Nähe zum Gewerbepark und der verhältnismäßig hohen Wärmedichte näher untersucht. Weitere Hindernisse in Form von beispielsweise Schutzzonen werden bei einer theoretischen Bebauung vorerst nicht relevant (vgl. Kapitel 2.4.4.).

## 4.3.2.2. Wärmebedarfsabschätzung

Das verbleibende Gebiet wird anhand von Zensusdaten (Kapitel 4.2.3) zu Baujahr und Heizungstyp mit der Software QGis (Kapitel 4.2.4) genauer betrachtet. Die vorliegende Tabelle 1 enthält die so ermittelten Informationen über die Anzahl der errichteten Gebäude in verschiedenen Baujahren sowie den prozentualen Anteil dieser Gebäude am Gesamtergebnis in einem spezifischen Untersuchungsgebiet.

Tabelle 1 Tabelle 1 Erfasster Gebäudebestand im Wohnquartier [60]

Baujahre	1949-1979	1979-1986	1987-1991	1991-1996	1996-2000	2001-2004	2005-2009
Gesamt	32	27	17	40	9	34	13
% Gesamtergebnis	19%	16%	10%	23%	5%	20%	8%

Von 1919 bis 1949 wurden insgesamt 32 Bauwerke erfasst, was einen Anteil von 19 % am Gesamtergebnis ausmacht. Die Zeitspanne von 1949 bis 1979 verzeichnete den Bau von 27 Immobilien, was einem Anteil von 16 % am Gesamtergebnis entspricht. Innerhalb des Zeitraums von 1979 bis 1986 wurden 17 Bauten realisiert, die einen Anteil von 10 % am Gesamtergebnis ausmachen. Der Zeitraum von 1987 bis 1991 verzeichnete den Bau von 40 Gebäuden, was einem Anteil von 23 % am Gesamtergebnis entspricht. In den Jahren von 1991 bis 1996 wurden 9 Bauwerke fertiggestellt, was einem Anteil von 5 % am Gesamtergebnis entspricht. Der Zeitraum von 1996 bis 2000 umfasst 34 errichtete Gebäude, was einem Anteil von 20 % am Gesamtergebnis entspricht. Von 2001 bis 2004 wurden 13 Immobilien errichtet, was einen Anteil von 8 % am Gesamtergebnis ausmacht. Für den Zeitraum von 2005 bis 2009 wurden 13 Gebäude gebaut, dies entspricht einem Anteil von 8 %. Die Gesamtanzahl der erfassten Gebäude beträgt 127.

*Abbildung 16 Energiebedarf von Wohnhäusern in Deutschland nach Baujahren und Anzahl Wohneinheiten [61]*

Der Energieverbrauch von Wohnhäusern in Deutschland ist in der Abbildung 16 nach Baujahr und Anzahl der Wohneinheiten dargelegt. Hierbei beziehen sich die spezifischen Verbräuche auf die Gebäudenutzfläche. Diese ist 1,2 bis 1,35-mal größer als die Gebäudewohnfläche. Die aufgelisteten Zeiträume sind teilweise nicht gleich den Daten zum Gebäudebestand. Es werden entsprechend Näherungen getroffen. Ein Großteil der Gebäude im betrachteten Quartier sind Einfamilienhäuser mit einer Wohneinheit (WE). In der Abbildung 16 ist zu erkennen, dass je neuer das Gebäude, desto weniger ist der Energiebedarf von der Anzahl der Wohneinheiten abhängig. Es wird vereinfacht angenommen, dass die Wohngebäude aus einer Wohneinheit bestehen, da im betrachteten Quartier Einfamilienhäuser aus dem älteren Bestand vorwiegen und Mehrfamilienhäuser erst später gebaut worden sind. Die durchschnittlich beheizte Gebäudewohnfläche wird nach Quellen mit 140 m<sup>2</sup> angenommen. Dementsprechend beträgt die Nutzfläche der Wohngebäude in Deutschland im Schnitt 178,5 m<sup>2</sup>. In Tabelle 2 sind die jährlichen Heizenergiebedarfe der Häuser nach Baujahren aufgelistet und basierend auf den in Abbildung 16 dargestellten Daten zum Endenergieverbrauch mit Näherungen zu den Baujahren ausgerechnet. Der Stromanteil am Endenergieverbrauch liegt bei 18 % (Kapitel 2.4.5). Diese recherchierten Daten zu Alter und Anzahl der Gebäude sowie Energiebedarf der Gebäude in Deutschland werden genutzt, um einen Energiebedarf an thermischer Energie für das Wohnquartier abzuschätzen. Die entsprechenden Zahlen sind Tabelle 2 zu entnehmen [64].

Tabelle 2 Berechnung Energiebedarf für Wohnhäuser in Deutschland nach Baujahren [60]

Baujahr	1949-1979	1979-1986	1987-1991	1991-1996	1996-2000	2001-2004	2005-2009
Endenergiebedarf bezogen auf die Nutzfläche von Wohnhäusern in DT (1 WE) [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	236	175	175	131	131	83	83
durchschnittliche Gebäudenutzfläche [m <sup>2</sup> ]	178,5	178,5	178,5	178,5	178,5	178,5	178,5
Jahresbedarf Endenergie [kWh/a]	42.126	31.238	31.238	23.384	23.384	14.816	14.816
Anzahl der Gebäude	32	27	17	40	9	34	13
Absoluter Endenergiebedarf [kWh/a]	1.348.032	843.426	531.046	935.360	210.456	503.744	192.608
Absoluter thermischer Energiebedarf [kWh/a]	1.105.386	691.609	435.458	766.995	172.574	413.070	157.939
Gesamter thermischer Energiebedarf des Quartiers [kWh/a]	3.743.031						

Der jährliche, absolute Heizenergiebedarf des Quartiers errechnet sich zu 3.743.031 MWh. Diese Zahlen werden im nächsten Kapitel als Grundlage zur Einordnung und Bewertung anhand von Literaturkennwerten genutzt. Das Leitungsnetz wird über die Länge der einzelnen Straßen abgeschätzt und pro potenziellen Anschlussnehmer 15 m Leitungslänge angenommen. Die Längen der Leitungen sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3 Abschätzung der theoretischen einfachen Leitungslänge anhand von Messungen [60]

Straße	Länge [m]
Hagenpfad	310
Siegfrieds	205
Nibellungenring	507
Ubierstr	264
Alemanstr	287
In d. Wasserscheid	510
Am Römerhof	500
Friesenstr	300
Sachsenstr	184
Anschluss pro Gebäude 15m	2.580
<b>Gesamte einfache Leitungslänge</b>	<b>5.647</b>
Bezugsfläche (l*b Quartiers [m <sup>2</sup> ])	150.000

#### 4.3.2.3. Interpretation anhand von Kennwerten

Bei der Interpretation werden unter anderem Vorgaben zum Vorgehen aus den Praxisleitfäden Rheinland-Pfalz und Osnabrück berücksichtigt. Die im vorigen Abschnitt errechneten Werte zu Wärmebedarf und Leitungslängen dienen als Berechnungsgrundlage. Wie in Tabelle 4 zu erkennen, ist der erste Wert die Wärmemenge in kWh pro Jahr und Meter Trasse. In Bestandsnetzen liegt dieser Wert bei 1.000 kWh/m\*a bis 2.000 kWh/m\*a und sollte laut dem Praxisleitfaden Nahwärme Rheinland-Pfalz mindestens bei 500 kWh/m\*a liegen [51]. Hierbei sind die „einfachen“ Leitungslängen gemeint. Bei dem Bau eines Netzes entspricht die Leitungslänge durch gleichzeitiges Verlegen von Vor- und Rücklauf der doppelten Länge der Verlegungswege. Für das vorliegende Wohnquartier unter den gesetzten Annahmen wird ein Wert von 663 kWh/m\*a erreicht. Der zweite Wert ist die Wärmebezugsdichte in kWh/m<sup>2</sup>\*a, die ab einem Wert von 30 bis 70 für ein teilweise geeignetes Untersuchungsgebiet spricht. Der errechnete Wert liegt mit 25 kWh/m<sup>2</sup>\*a unterhalb des „geeigneten“ Bereiches.

Tabelle 4 Einordnung der errechneten Kennwerte anhand von Literaturwerten im Wohnquartier [60]

Vergleich mit Kennwerten		
<b>Gesamter Wärmebedarf [kWh/a]</b>	<b>3.743.031</b>	-
Wärmedichte [kWh/m*a](Gesamter Wärmebedarf/Leitungslänge)	663	1.000–2.500 kWh/m in bestandsnetzen[62]; min. 500 kWh pro Jahr und Meter Trasse[51]
Wärmebezugsdichte [kWh/a*m <sup>2</sup> ] (Gesamter Wärmebedarf/ Bezugsfläche)	25	30-70 teilw. Geeignet; >70 geeignet[62]



### 4.3.3. Gewerbepark Remagen Süd

Im Anschluss wird der Gewerbepark Remagen Süd näher untersucht. Er wurde zu Beginn der Arbeit als ein potenzielles Quartier ausgewählt, um den sich diese Arbeit aufbaut. Es wurden Daten durch eine Umfrage erhoben. Anhand dieser Umfrage und Online-Recherchen sowie händischen Vermessungen von online Karten wird der Gewerbepark im Folgenden analysiert.

#### 4.3.3.1. Umfrage Ist Zustand

Es wurden ca. 24 von 40 Firmen im Gewerbepark befragt. Davon haben zehn geantwortet. Diese zehn heizen ausschließlich mit Gasheizungen. Unter diesen eine Kombination mit Solarthermie und eine mit Abwärme. Sieben heizen im Winter, drei durchgehen das Jahr. Vier haben über eine Erneuerung der Heizung nachgedacht, die Restlichen nicht. Die meisten (7/9) einem Wärmenetz neutral bis positiv gegenüber eingestellt. Allen sind wirtschaftliche Vorteile oder eine finanziell lohnende Investition wichtig. An zweiter Stelle kommt ein ökologischer Vorteil. Ein Anschluss an ein Wärmenetz wäre denkbar, ist aber von gewissen Bedingungen abhängig. Es werden „Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Unabhängigkeit sowie Ökonomie & Ökologie“ genannt.

Es werden hauptsächlich Gas- und Ölheizungen genutzt. Die Bebauungspläne legen dar, dass die Gebäude alle in den letzten 20 Jahren gebaut wurden und dementsprechend mit Brennwertsystemen ausgestattet sind. Das Temperaturniveau wird im Schnitt mit 60°C im Vorlauf angenommen. Abwärmepotentiale sind wenige vorhanden. Es gibt zwei produzierende Industrien, von denen eine ihre Abwärme bereits selbst nutzt. Über die Zweite sind keine näheren Informationen vorhanden. Die restlichen Firmen erzeugen keine nennenswerte Abwärme.

Tabelle 5 Umfrageergebnisse Gewerbepark Remagen Süd [60]

Firma	Fläche m <sup>2</sup>	Dachfläche belegt	Heizung Aktuell	Heizzeiten	Abwärme	Wechsel überlegt	Was ist zum Wechsel nötig	Einstellung gegenüber WN	Anschluss denkbar
1	2344	nein	Gas und Solarthermie	Winter	nein	nein, 12 und 7 Jahre alte	wirtschaftlich ökologisch	-	nein
2	646	nein	Gas	Winter, tagsüber	nein		Wirtschaftlich ökologisch	grundsätzlich offen	grundsätzlich denkbar
3	3580	teilweise	Gas	Winter, tagsüber	Nein	2021 erneuert	wirtschaftlich	neutral	abhängig von Bedingungen
4	5796	nein	Gas	Oktober-April 0	Nein	Geplant 2024	ökologisch; wirtschaftlich	Sehr positiv	vernünftig von Vermieterseite nein
5	7308	komplette Dachfläche	Gas	Sommer & Winter durchgehend	Nein	Nein	ökologisch; mehr wirtschaftlich	nicht abgeneigt	abhängig von Bedingungen
6	688	ja	Gas	tagsüber	Nein	In naher Zukunft	ökologisch; wirtschaftlich	Warum nicht	Kostenfrage
7	513	nein	Gas	Heizperioden 6-19 werktags	Nein	Neue Gas-Brennwert-Anlage	ökologisch; wirtschaftlich	Neutral	Ja, abhängig von Ökologie und Ökonomie,
8	420	teilweise	Gas	durchgehend	Nein	erneuerung überlegt	wirtschaftlich	positiv aus ökologischer Sicht	Nicht ausgeschlossen
9	240	nein	Gas	durchgehend	Nein	erneuerung überlegt	wirtschaftlich	positiv aus ökologischer Sicht	Nicht ausgeschlossen

4.3.3.2. Wärmebedarfsabschätzung

Die Energieverbräuche von Gewerbe und Industrie sind stark von der Nutzung abhängig und können bei unterschiedlichen Gegebenheiten stark variieren. Zur Abschätzung des Wärmebedarfes werden zwei Vorgehen angewandt und verglichen. Zunächst wird im gesamten Gebiet eine Vermessung der Gebäude mittels einer maßstabgetreuen Karte vorgenommen. Die Nutzung wird über Recherche zu den einzelnen Firmen eingeschätzt und anhand von Literaturwerten ein spezifischer Wärmebedarf errechnet. Dieser Schritt ist beispielhaft für sechs Firmen in Tabelle 6 dargestellt. Die Nutzung „a“ steht hier für Bürogebäude (siehe Tabelle 7).

Tabelle 6 Datengrundlage zur Berechnung des spezifischen Wärmebedarfes für den Gewerbepark [60]

Firma anonymisiert	Nutzung	spez. Wärmebedarf pro Jahr [kWh/ m <sup>2</sup> a]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Etagen
1	a	135	4.020	2
2	a	135	989	2
3	a	135	1.000	2
4	a	135	420	2
5	a	135	246	2
6	a	135	1.083	2

Die entsprechenden Zahlen zum spezifischen Wärmebedarf nach Nutzung der Räumlichkeiten sind in Tabelle 7 zu erkennen. Hier sind die spezifischen Wärmebedarfe pro Quadratmeter und Jahr aufgeführt, für unter anderem Bürogebäude, Hotels, Betriebs- und Werkstätten. Für nicht eindeutig zuordenbare Gewerbe im Untersuchungsgebiet wurde eine Mixannahme getroffen, die bei 160 kWh/m<sup>2</sup>\*a liegt. Die entsprechende Nutzung wurde zur Vereinfachung jeweils einem Kennbuchstaben von a bis g zugeordnet. [65]. Es werden im Schnitt 2 Etagen angenommen. Die Gebäude werden hauptsächlich als Betriebs- und Werkstätten sowie Büros und Mischbetrieb eingeordnet. Aus diesen Abschätzungen lässt sich ein absoluter Wärmebedarf des Gewerbeparks errechnen. Dieser beträgt ca. 24.841 MWh/a.

Tabelle 7 Nutzung und entsprechender spezifischer Wärmebedarf von Gewerbe [60, 65]

Nutzung	spezifischer Wärmebedarf kWh/m <sup>2</sup> *a]
Bürogebäude nur beheizt (a)	135
Hotels garni, Gasthäuser (b)	193
Verkaufsstätten (c)	150
Betriebs und Werkstätten (d)	175
Gebäude für Produktion (e)	170
Handel (f)	105
Mix (Annahme) (g)	160

Aufgrund von vielen Annahmen und Abschätzungen wird zur Überprüfung des Ergebnisses der thermische Energiebedarf des Gewerbebereichs auf einen zweiten Weg berechnet. Aus dem integrierten Klimaschutzkonzept der Stadt Remagen entnommene Zahlen liefern einen absoluten Wärmebedarf von 71.393 MWh/a der gesamten Stadt Remagen. Dieser beschreibt den „Gesamten Endenergieverbrauch GHD & Industrie in Remagen ohne Strom [40]“. Im restlichen Stadtgebiet gibt es keine große Ansammlung von Industrie und Gewerbe. Es wird angenommen, dass der Gewerbebereich 25 % des gesamten Energiebedarfs von GHD und Industrie in Remagen ausmacht. Es ergibt sich ein zweiter Wert zum absoluten Wärmebedarf von 17.848 MWh/a (siehe Formel 6). Die Rechnungen zur beheizten Fläche und der genauen Herleitung dieser Zahlen sind dem Anhang zu entnehmen.

*Formel 6 Berechnung thermischer Endenergiebedarf Gewerbebereich aus Multiplikation gesamter Endenergieverbrauch mal Anteil an thermischer Energie im Endenergieverbrauch (18%) mal Anteil GHD am Endenergieverbrauch (22%) mal Anteil Gewerbebereich vom gesamten Sektor (25%) [60]*

$$450.714 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \times 0,72 \times 0,22 \times 0,25 = 17.848 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$$

Nach dem Alter der Gebäude, die anhand der Bebauungspläne von 2008 eingeordnet werden und den Angaben zu Heizsystemen wird davon ausgegangen, dass überwiegend Gas-Brennwertthermen verbaut sind, die laut Literatur bei einer Vor- und Rücklauftemperatur von 60 °C/40 °C betrieben werden [3].

#### 4.3.3.3. Interpretation anhand von Kennwerten

Die berechneten Werte werden in einem Vergleich mit entsprechenden Kennwerten, wie in den Berechnungen zum Wohnquartier, eingeordnet. Die Berechnung der Wärmedichte ist laut dem Leitfadens Osnabrück in Bestandsnetzen mit 1.000 kWh/m bis 2.500 kWh/m angegeben. Im Leitfaden Rheinlandpfalz findet sich die Untergrenze von 500 kWh/m als Mindestwert zur effizienten Wärmenetzplanung. Die Berechnungen zur Leitungslänge und Wärmebezugsdichte sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8 Berechnungen zur Leitungslänge und Bezugsfläche im Gewerbepark [60]

Längen der Straßen	leitungslänge [m]
Anschluss zur Wärmequelle	?
Anschlüsse Straße-Abnehmer	800
Am Römerhof	288
Dornierstraße	480
Zeppelinstraße	790
Dieselstraße	450
Lilienthalstraße	360
Konrad Zussen Ring	710
Robert-Bosch-straße	180
<b>Gesamt</b>	<b>4.058</b>
Bezugsfläche Fläche [m <sup>2</sup> ] lxB Gewerbe- park	435.000

Die beiden zuvor errechneten Werte zum Wärmebedarf werden in Tabelle 9 anhand der Literaturwerte eingeordnet. Die Wärmedichte fällt mit 6.121 kWh/m und 4.398 kWh/m hier in vergleichbare Netze im Bestand. Der zweite Wert trifft ebenfalls eine Aussage zur Machbarkeit eines Wärmenetzes. Die Wärmebezugsdichte zwischen 30 kWh/m<sup>2</sup> und 70 kWh/m<sup>2</sup> weisen ein Gebiet als teilweise geeignet, darunter ungeeignet und über 70 kWh/m<sup>2</sup> wird als geeignet aus. Der über Messungen und Literatur errechnete Wert gibt hier mit 57 kWh/m<sup>2</sup> ein teilweise geeignetes Gebiet an. Der zweite Wert, über den Klimareport Remagen errechnet, fällt mit 41 kWh/m<sup>2</sup> ebenfalls in den teilweise geeigneten Bereich. Eine tiefere Betrachtung eines Wärmenetzes im Gewerbepark scheint somit sinnvoll.

Tabelle 9 Einordnung der errechneten Kennwerte anhand von Literaturwerten im Gewerbepark [60]

Kennwert	Errechnet über Messungen & Einschätzungen	Errechnet aus angaben Klimschutzkonzept Remagen	Einordnung
Gesamter Wärmebedarf [kWh/a]	<b>24.840.828</b>	17.848.274	
Wärmedichte [kWh/m*a] (Gesamter Wärmebedarf/Leitungslänge)	6.121	4.398	1.000–2.500 kWh/m in bestandsnetzen, 500 kWh pro Jahr und Meter Trasse
Wärmebezugsdichte [kWh/a*m <sup>2</sup> ] (Gesamter Wärmebedarf/ Bezugsfläche)	57	41	30-70 teilw. geeignet; >70 geeignet

#### 4.4. Bewertungsmatrix zur Auswahl der Technik

Nachdem die theoretische Machbarkeit eines Wärmenetzes zum Teil bestätigt ist, wird im Folgenden eine mögliche praktische Umsetzung untersucht. Hierfür werden die verschiedenen Möglichkeiten mittels einer aufgestellten Bewertungsmatrix untersucht. Die Matrix wird einmal zur Netztopologie und einmal auf den Einsatz möglicher Techniken zum Netzbetrieb eingesetzt. Auf Anschlüsse an die Endverbraucher wird auch eingegangen. Hier wird eine Tendenz beschrieben, da die entsprechenden Gegebenheiten vor Ort nicht im Detail bekannt sind. Diese Untersuchungen liefern ein Zielszenario, welches im darauffolgenden Kapitel kritisch bewertet wird.

##### 4.4.1. Erstellung der Matrix

Die eigens für diese Arbeit erstellte Matrix bewertet 5 Kriterien, die in Tabelle 10 zu sehen sind. Die beiden Kriterien mit der größten Gewichtung sind die Versorgungssicherheit und Umsetzbarkeit vor Ort (5 von 5 Punkten). Diese beiden Punkte werden als grundlegende Voraussetzung für ein Wärmenetz mit der höchsten Gewichtung belegt. Versorgungssicherheit ist bei Heizungen ein grundlegender und wichtiger Punkt. Im Winter kann bei Ausfall der Heizung die Gesundheit der Bewohner bzw. der Ablauf der Arbeiten in den Büros nicht mehr gewährleistet werden. Leitungen oder Komponenten können einfrieren und beschädigt werden. Aus diesen Gründen ist die Versorgungssicherheit zusammen mit der Umsetzbarkeit als wichtigste Kriterien eingestuft. Die Umsetzbarkeit liefert die Möglichkeit, ein realistisches Ergebnis aus dieser Studie ziehen zu können. Eine realistische Aussage zu treffen ist ein grundlegendes Ziel von wissenschaftlichen Arbeiten und Machbarkeitsstudien. Können die Ergebnisse nicht weiterverwendet werden bzw. realistische Aussagen über die Gegebenheiten vor Ort treffen, hat die Arbeit einen geringen Mehrwert.

Tabelle 10 Kriterien der Bewertungsmatrix [60]

Kriterium (Gewichtung 1-5)	Versorgungssicher (5)	Vor Ort Umsetzbar (5)	Umweltfreundlich (4)	Wirtschaftlich (4)	Effizient (3)
----------------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------	--------------------	---------------

Die zweit meiste Gewichtung haben Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit (4 von 5 Punkten), da sie für die Akzeptanz und Realisierung des Wärmenetzes eine entscheidende Rolle spielen. Diese sind aus der durchgeführten Umfrage innerhalb des Gewerbebereichs entnommen worden. Für die meisten potenziellen Anschlussnehmer ist der Anschluss an ein Wärmenetz denkbar, wenn es wirtschaftlich Sinn macht. Eine unwirtschaftliche Entscheidung ist für die meisten Anschlussnehmer ein KO-Kriterium. Die Umweltfreundlichkeit findet sich in den Umfragen direkt hinter der Wirtschaftlichkeit als Entscheidungskriterium. Die Notwendigkeit und Dringlichkeit der Wärmewände wurde sowohl politisch als auch gesellschaftlich erkannt und rückt zunehmend in den Vordergrund. Nicht umweltfreundliche Lösungen zur Wärmewende werden zunehmend ein KO-Kriterium sein. Für die Bewertung in der Matrix wird die Umweltfreundlichkeit mit der Wirtschaftlichkeit gleichgestellt bewertet. Die Effizienz der benutzten Systeme wird ebenfalls mit geprüft und stellt mit einer Gewichtung von 3 von 5 nur einen mittelmäßigen Entscheidungsfaktor dar. Die Effizienz beein-

flusst die Faktoren Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit teilweise und ist ein durchaus wichtiger Punkt zur Entscheidungsfindung. Ineffiziente Systeme haben gegebenenfalls Konkurrenten, die besser geeignet sein können. Wärmenetze können auch mit ineffizient arbeitenden Komponenten umgesetzt werden, daher ist die Gewichtung mittelmäßig gewählt.

4.4.2. Netzauswahl

Durch Ausfüllen der Entscheidungsmatrix kommt ein klassisches Nahwärmenetz als geeignetste Lösung in Frage. Es fällt auf, dass keines der Netze hohe Punktzahlen in der Umsetzbarkeit vor Ort erreicht (Tabelle 11). Dies legt an den bestehenden Systemen, die nicht ohne weiteres zu ändern sind und zu den einzelnen Akteuren, die gemeinsam an ein Netz angeschlossen werden müssen. Das klassische Netz liegt insgesamt 2 Bewertungspunkte vor dem Anergienetz. Das Anergienetz ist umweltfreundlicher und energieeffizienter, da es mit niedrigen Betriebstemperaturen durch umweltfreundliche Wärmequellen gespeist werden kann (beispielsweise Geothermie, Abwärme etc.). Die Gegebenheiten vor Ort machen es mit den vorherrschenden Betriebstemperaturen weder wirtschaftlich noch leicht umsetzbar. Der Überblick über vorliegende Heizsysteme des Gewerbeparks und die Abschätzung zum Gebäudebestand lassen die Folgerung zu, dass ein Netz mit Betriebstemperaturen von 40 °C-60 °C die einfachste Lösung ist. Der Aufwand und die Kosten für die einzelnen Anschlussnehmer und damit auch die Hemmschwelle, einen Anschluss ans Wärmenetz zu erwägen, wäre bei Systemumstellungen deutlich höher. Langfristig werden Heizsysteme voraussichtlich auf niedrigere Betriebstemperaturen umgerüstet oder erneuert. Angetrieben wird diese Entwicklung durch die aktuellen politischen Entwicklungen und Anreize. Aus diesem Grund ist ein Anergienetz als langfristige und effiziente sowie ökologische Technologie auch relevant. Gleichzeitig kann ein Anergienetz aufgrund der niedrigen Netztemperaturen zur Kühlung genutzt werden. Im Folgenden sollen deshalb beide Netztypen miteinander verglichen werden.

Tabelle 11 Ausgefüllte Bewertungsmatrix zur Netztypauswahl [60]

Kriterium (Gewichtung 1-5)	Versorgungssicher (5)	Vor Ort Umsetzbar (5)	Wirtschaftlich (4)	Umweltfreundlich (4)	Effizient (3)	Gesamtpunktzahl
Fernwärme	5	2	3	2	3	64
Klassische Nahwärme	5	3	4	4	4	84
Anergienetz	5	2	3	5	5	82

Ein Fernwärmenetz wird vor allem aufgrund der Umweltfreundlichkeit, Effizienz und Umsetzbarkeit vor Ort ausgeschlossen. Langfristig werden Heizsysteme voraussichtlich auf niedrigere Betriebstemperaturen umgerüstet oder erneuert. Mit diesem Schritt werden Umweltfreundlichkeit und Effizienz des Netzes verbessert.

#### 4.4.3. Technikauswahl Netz

Die hier untersuchten Techniken sind anhand der aktuellen Gesetzesvorgaben und Entwicklungen orientiert. Sie stellen realistische Lösungen zum langfristigen und zukunftsorientierten Betrieb eines Wärmenetzes dar. Sie wurden aus Recherchen in Kapitel 2.2.5 hergeleitet und werden zunächst im Hinblick auf die Wärmezufuhr des Netzes betrachtet. In Tabelle 12 sind die Beurteilung und Auswertung der Matrix zu entnehmen. Die Entscheidungshintergründe sind im Folgenden detailliert beschrieben. Eine große Herausforderung ist der Spitzenlastausgleich. Die meisten bestehenden Wärmenetze (Kapitel 2.3) werden mit Gas- oder Biomassekesseln betrieben, um Spitzenlasten zu decken. In dem Gewerbegebiet ist kein großes Potential an beispielsweise Holzabfällen zu sehen. Die Landwirtschaft in der Gegend könnte einen Biomassekessel ermöglichen. Auch das Wertstoffcenter in Remagen-Kripp könnte eine Möglichkeit liefern, über die Müllverbrennung Lastspitzen zu decken. Die einzelnen Techniken werden im Hinblick auf die Matrix näher beschrieben.

Tabelle 12 Ausgefüllte Bewertungsmatrix zur Technikauswahl [60]

Kriterium (Gewichtung 1-5)	Versorgungssicher (5)	Vor Ort Umsetzbar (5)	Wirtschaftlich (4)	Umweltfreundlich (4)	Effizient (3)	Gesamtpunktzahl
Wärmepumpen	5	4	4	4	4	89
Oberflächennahe Geothermie; Grundwasserwärme	5	4	4	4	4	89
Biomasse	4	4	4	4	4	84
Wärmespeicher	4	4	4	4	4	84
Potential vor Ort neues Klärwerk	4	3	5	4	4	83
Potential vor Ort Wertstoffcenter & Betonwerke Kripp	4	4	4	4	3	81
Solarthermie	3	4	4	4	3	76
Wertstoffzentrum	4	3	4	3	4	75
Potential vor Ort Rheinwasser	4	3	3	4	3	72

##### 4.4.3.1. Wärmepumpen

In einem klassischen Nahwärmenetz wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben kommen oft große Wärmepumpen zum Einsatz, um die Energiequellen mit teilweise niedrigen Temperaturen zu nutzen. Auf das Netz angepasst und leistungsstark sind, bieten sie die Möglichkeit, ein Netz zukunftsorientiert aufzubauen. Die Betriebstemperaturen, entsprechen den Gegebenheiten vor Ort mit Betriebstemperaturen von ca. 60°C. Somit lässt sich das Netz langfristig umweltfreundlich und effizient betreiben. Bei hohen Betriebstemperaturen sinken Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen. Alternativ können Wärmepumpen auch an den einzelnen Anschlussnehmern installiert werden, um



niedrige Netztemperaturen zu nutzen. Im Hinblick auf die langfristige Planung werden Wärmepumpen mit insgesamt 89 Punkten bewertet und erreichen insgesamt die höchste Punktzahl. Aufgrund ihrer vielseitigen Einsatzmöglichkeiten stellen sie für den Betrieb eines Wärmenetzes eine Schlüsseltechnologie da.

#### 4.4.3.2. Oberflächennahe Geothermie

Oberflächennahe Geothermie ist eine versorgungssichere Technologie, die auf den im Kapitel 2.4.3 beschriebenen Hindernissen vor Ort umsetzbar ist, wobei genaue fachplanerische Untersuchungen zu Grundwasserstand etc. erfolgen müssen. Ein vergleichbares Projekt ist in Kapitel 2.3.2.2 beschrieben. In den Punkten Wirtschaftlichkeit und Effizienz liegen sie im mittleren Feld, da sie in der Regel niedrigere Netztemperaturen besser bedienen können. Umweltfreundlichkeit ist abhängig vom genutzten Strom und wird als relativ hoch eingestuft. Erdwärme bietet die Möglichkeit, eine konstante Wärmeversorgung zu gewährleisten und Grundlasten zu decken. Gleichzeitig kann die Technik auch zum Kühlen genutzt werden. Oberflächennahe Geothermie aus Grundwasserwärme liegt mit 89 Punkten an erster Stelle und scheint ein hohes Potential für ein Wärmenetz im Untersuchungsgebiet darzustellen.

#### 4.4.3.3. Biomasse und Biogas

Biomasse- und Biogasanlagen sind aufgrund ihres Potentials zur Lastspitzendeckung als eine wichtige Technik mit insgesamt 84 Punkten bewertet. Eine Technik zur Spitzenlastdeckung ist essenziell für den Betrieb eines Wärmenetzes. Die Gegebenheiten für Biomasse sind im Klimaschutzkonzept der Stadt mit langfristig verfügbaren Totholzbeständen vor Ort gegeben (siehe Kapitel 3.1.3). Das Potential für Biogas muss gegebenenfalls näher untersucht werden ist im Allgemeinen in Deutschland aufgrund von Konkurrenz in der Flächennutzung eher schwierig. Das Klärwerk kann eine Möglichkeit der Biogasnutzung geben. In den Plänen des Neubaus ist das Gaspotential zum Betreiben des Klärwerks geplant. Aus diesen Gründen wird im weiteren Verlauf mit einer Biomasseanlage zur Lastspitzenabdeckung geplant. Bei einer Umsetzung muss hierzu eine genaue Realisierung geplant werden.

#### 4.4.3.4. Wärmespeicher

Die Matrix liefert für Wärmespeicher ebenfalls eine hohe Gesamtpunktzahl (83). Wärmespeicher können in Zeiten von wenig Wärmebedarf überschüssige Wärme speichern und bei Bedarf wieder nutzbar machen. Sie können gegebenenfalls direkt mit Geothermieanlagen verwirklicht werden und bieten somit eine Möglichkeit der Effizienzsteigerung anderer Komponenten im Netzverbund. Sie werden in der weiteren Betrachtung als mögliche Technik berücksichtigt.

#### 4.4.3.5. Solarthermie

Solarthermie ist eine volatile, wetterabhängige Wärmequelle. Die Versorgungssicherheit kann beispielsweise mit Pufferspeichern verbessert werden und wird somit mittelmäßig eingestuft. Freiflächen sind vor Ort verfügbar, diverse Dachflächen oder auch landwirtschaftlich genutzte Flächen kommen in Frage. Die Umsetzbarkeit wird als gut eingestuft, genauso wie die Umweltfreundlichkeit. Die Effizienz wird als mittelmäßig eingestuft, da sie keine Lastspitzen decken kann und die höchsten Erträge in den Sommermonaten aufweist, während sie zu Zeiten mit hohem Wärmebedarf wenig liefert. In der Gesamtbetrachtung liegt Solarthermie am unteren Ende mit 76 Punkten. Aufgrund der unzuverlässigen Versorgung und den vorhandenen Alternativen wird Solarthermie von weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

#### 4.4.3.6. Örtliche Potentiale

Die örtlichen Potentiale sind alle näher zu untersuchen. Es wurden Abschätzungen getroffen, die auf Grundlage der Recherchen in Kapitel 2.4 und 4.3.3.1 beruhen. Genaue Wärmemengen, Möglichkeiten und Hindernisse sind nicht detailliert recherchiert und individuell erfasst.

### **Rhein**

Der Rhein bietet als großer Fluss in direkter Nähe ein großes Wärmepotential, da er mit seinem hohen Volumenstrom viel thermische Energie liefern kann. Gleichzeitig kann eine Temperaturdifferenz im entnommenen Wasser wieder ausgeglichen werden und der Eingriff in die Natur kann somit sehr geringgehalten werden. Genaue Wasserschutzgesetze oder andere Hindernisse sind im Groben analysiert (Kapitel 2.4.4) und zeigen auf den ersten Blick eine Machbarkeit. Die genaue Temperatur sowie die Menge an nutzbarer Energie sind nicht im Detail erfasst. Im Vergleich zu den anderen Techniken in der Bewertungsmatrix schneidet der Rhein als Wärmequelle schlecht ab und wird daher von weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

### **Abwärme Gewerbepark**

Abwärme ist grundsätzlich eine umweltfreundliche und effiziente Technologie. Im Gewerbepark vor Ort ergaben die Recherchen keine großen Potentiale. Eine Firma nutzt ihre Abwärme bereits und die restlichen Abwärmemengen sind nicht signifikant. Daher wird die Abwärme aus den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen. Bei Realisierung eines Wärmenetzes sollten die Potentiale im Detail geprüft werden, da bei Arbeiten zum Anschließen der Gebäude eine Abwärmenutzung aus Effizienzgründen Sinn machen kann.

### **Klärwerk Neubau**

Mit dem Neubau des Klärwerkes (Kapitel 2.4.7.1) ergibt sich eine effiziente und gegebenenfalls auch wirtschaftliche Möglichkeit, das Wärmenetz mit thermischer Energie zu versorgen. Ein Klär-

werk kann konstante Wärmemengen aus Abwässern zur Verfügung stellen und ist als wichtige Infrastruktur auch versorgungssicher. Durch vorrauschauendes Handeln beim Neubau kann der Anschluss an das Wärmenetz kostengünstig und verhältnismäßig leicht umgesetzt werden. Das Abwärmepotential der alten Kläranlage mit einem Durchfluss von knapp 730 m<sup>3</sup>/h kann im Vergleich mit anderen Projekten mit über 2 MW angenommen werden [29]. Das Potential für ein Wärmenetz wird als sehr hoch eingestuft, da bei dem Neubau einer Anlage Tiefbauarbeiten anfallen, die für die Installation eines Wärmenetzes direkt mitgenutzt werden können. Zudem entspricht die Kombination des Klärwerks mit einem Wärmenetz den Energieeffizienzansprüchen des Bauvorhabens. Das Klärwerk stellt eine realistische und lohnende Möglichkeit dar, ein Wärmenetz mit thermischer Energie zu versorgen.

### **Wertstoffzentrum und Betonwerke Kripp**

Das Wertstoffzentrum sowie die Betonwerke befinden sich in direkter Nähe zum Untersuchungsgebiet und werden deshalb betrachtet. Das Wertstoffzentrum bietet eine Möglichkeit, mittels Müllverbrennung die Spitzenlasten abzufangen. Der Wertstoffkreislauf muss hierfür näher untersucht werden. Eine bereits vorhandene Müllverbrennungsanlage zu nutzen ist sinnvoll. In Umgebung des Untersuchungsgebietes befindet sich keine Müllverbrennungsanlage. Die Betonwerke stellen in der Herstellung ein Abwärmepotential dar. Dies wird allein als nicht lohnend gesehen, kann aber bei der Frage der Erschließung des Baugebietes zur Wärmeversorgung mittels Müllverbrennung ein zusätzlicher Grund zur Umsetzung sein.

#### *4.4.4. Anschluss an die Endverbraucher*

Der Anschluss an die Endverbraucher im Gewerbepark und in der Wohnsiedlung wird im Folgenden kurz beleuchtet. Die Analyse des Gebäudebestandes in Kapitel 4.3.2 lässt den Schluss zu, dass überwiegend Brennwerttechnik oder ältere Heizsysteme verbaut sind. Die Bedarfstemperaturen der Haushalte liegen somit bei 60°C und höher. Im Hinblick auf das neue Wärmegesetz (Kapitel 3.1) wird die Frage der Wärmeversorgung für Privathaushalte zu einem wichtigen Thema, mit dem sich die Besitzer der Häuser auseinandersetzen müssen. Der Anschluss an ein Wärmenetz bietet die Möglichkeit, den neuen Vorgaben zu entsprechen. Bei einer angestrebten Netztemperatur von 45 °C/35 °C müssten Eigenheime, die höhere Temperaturen erfordern, in eine weitere Technik investieren. So könnten beispielsweise Wärmepumpen oder eine Heizungssanierung einen Anschluss möglich machen. Der Bund stellt auch Fördermöglichkeiten zur Verfügung, die individuell betrachtet werden müssen. Grundsätzlich ist eine Förderung von bis zu 70 % möglich. Die Grundförderung beträgt 30 % und bei schnellem Umstieg (bis 2028) kann mit weiteren 20 % gerechnet werden. Je nach Einkommen der Eigentümer ist eine weitere Förderung von 30 % möglich. Ab 2028 müssen alle neuen Heizsysteme mit mindestens 65 % erneuerbaren Energien betrieben werden. Ein Wärmenetz kann diese Anforderungen erfüllen, wenn es mit entsprechend erneuerbaren Energien betrieben wird [46].

#### 4.4.5. Zielszenario

Als Zielszenario werden zwei Wärmenetze gegenübergestellt. Es wird zum einen ein Wärmenetz mit Betriebstemperaturen von circa 60 °C simuliert, da dies den Temperaturniveaus vor Ort entspricht. Das zweite Netz wird mit niedrigen Temperaturen simuliert, da dies zukunftsorientierter ist. Die Nahwärmenetze mit den gleichen Techniken angesetzt. Die thermische Energie wird aus Abwärme des Klärwerkes und oberflächennaher Geothermie mit Wärmespeichern gewonnen. Hierbei wird das mögliche Energiepotential anhand von bestehenden Projekten (Kapitel 2.3) abgeleitet. Das Biomassekraftwerk wird, entsprechend der von der verwendeten Software errechneten Größe, dimensioniert. Die entsprechende Biomasse soll aus Totholzbeständen, sowie Landwirtschaft und Abfallwirtschaft kommen. Wärmepumpen werden eingesetzt, wenn ein Temperaturhub notwendig ist. So werden Sie bei Geothermie und Abwasserwärmegewinnung eingesetzt und an den Endverbrauchern, wenn dies notwendig ist.

### 4.5. Simulation

In diesem Abschnitt werden die zwei gewählten Wärmenetztypen simuliert und miteinander verglichen. Die Simulation beinhaltet eine Wirtschaftlichkeitsanalyse und bietet die Möglichkeit den CO<sub>2</sub> Ausstoß der beiden Netze zu erfassen. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß wird im Anschluss mit dem Ist-Zustand verglichen. Am Ende des Kapitels werden die Ergebnisse interpretiert.

#### 4.5.1. Datengrundlage Simulationssoftware

Für die Simulation wird die Software nPro verwendet (Kapitel 4.2.2). Die Software bietet die Möglichkeit, Gebäude, Netzlängen und Techniken auszuwählen und in unterschiedlichen Kombinationen zu simulieren. Beiden Netzen liegen die recherchierten Zahlen zum Gebäudebestand und Netzlänge zugrunde. Die Vor- und Rücklauftemperaturen wurden nach den in Kapitel 2.1 recherchierten Werten entsprechend den Baujahren festgesetzt. Für Gebäude vor 1990 wurde 75 °C/65 °C angenommen, nach 1990 60 °C/45 °C. Der Gebäudebestand im Gewerbepark wird ebenfalls mit den recherchierten Daten aus Kapitel 4.3.3 in die Software eingepflegt und anonymisiert. Die Vor- und Rücklauftemperaturen sind mit 60°C/45°C angenommen. In Abbildung 17 ist die Eingabemaske der entsprechenden Parameter zu erkennen. Trinkwarmwasserbedarfe sind nicht explizit berücksichtigt. Der Warmwasserbedarf ist in den spezifischen Wärmebedarfen der Gebäude enthalten. Die Kostenparameter sind größtenteils in der Software hinterlegt und werden nur in Einzelfällen verändert (siehe Abbildung 17). Es werden die Arbeitspreise von Strom (0,3 €/kWh) und Wärmeleistung (0,11 €/kWh) eingepflegt, die aus für den Anschlussnehmer wirtschaftlichen Gründen nicht überschritten werden sollen. Diese Preise orientieren sich zum einen an dem aktuellen Strompreis und zum anderen an den vergleichbaren Kosten für Gasheizungssysteme. Der Arbeitspreis zu Kältebedarf und Elektromobilität ist in der Software hinterlegt. Elektromobilität spielt im Simulationsverlauf keine Rolle.

## Erlöse für Bedarfsdeckung

Für die gedeckten Nutzenergiebedarfe (z. B. Raumwärme oder Nutzerstrom) können hier Erlöse definiert werden. Diese fließen in die Gesamtwirtschaftlichkeitsbilanz mit ein.

Arbeitspreis betrachten

Leistungspreis betrachten

Grundpreis betrachten

Arbeitspreis	
Wärmebedarf	0,11 €/kWh
Kältebedarf	0,10 €/kWh
Nutzerstrom	0,3 €/kWh
Elektromobilität	0,20 €/kWh

Abbildung 17 nPro Eingabemaske zu Arbeitspreisen [55, 66]

Es werden bei beiden Netzen die gleichen Wärmequellen als Möglichkeit gegeben, mit denen die Software eine optimierte Konfiguration nach Kosten und Ökologie vorschlägt und einen Betrieb simuliert. Zusätzlich wird im späteren Verlauf ein Biomassebezugspreis von 10 ct/kWh angenommen und eine Einspeisevergütung für Photovoltaikstrom mit 4 ct/kWh, der sich ebenfalls an aktuellen realen Werten zur Einspeisevergütung orientiert. Zudem werden aktuelle Fördersätze von Wärmenetzen mit 40 % für Wärmenetz und Energiezentrale (Kapitel 2.2.4) sowie ein Fördersatz von 50 % für Gebäudeenergiesysteme (Kapitel 4.4.4 und 3.1.1) berücksichtigt

### 4.5.2. Simulation Klassische Nahwärme

Das Netz zur klassischen Nahwärme wird mit einer Betriebstemperatur von 65 °C/55 °C simuliert. Die Gebäude, die eine höhere Vorlauftemperatur benötigen, werden mit Dämmmaßnahmen und Heizkörperaustausch auf eine Bedarfstemperatur von 55 °C verbessert. Ziel ist es, alle Gebäude direkt vom Netz aus zu speisen, ohne zusätzliche Wärmepumpen am Gebäudeanschluss zu installieren. Die Warmwasserbereitstellung erfolgt direkt über die Wärmenetztemperatur (siehe Abbildung 18). Es wird in dieser Simulation keine Kühlung berücksichtigt, da die Netzparameter einen Kühlungsbetrieb nicht effizient erscheinen lassen. Der Nutzerstrom der einzelnen Gebäude wird ebenfalls nicht berücksichtigt, da dieser im simulierten Netz weiterhin über das Stromnetz bezogen wird.

## Energiesystem



Abbildung 18 nPro Eingabemaske Energiesystem der Gebäude [55, 66]

Im Anschluss werden die Parameter für das Wärmenetz ausgewählt. Wie in Abbildung 19 zu sehen wird ein Netz mit konstanten Betriebstemperaturen von 65 °C/55 °C ausgewählt. Die relativen Wärmeverluste von 15 % sind von der Software ausgerechnet und orientieren sich am Verhältnis von Netz zu Bodentemperatur.



Abbildung 19 Auswahl der Netzparameter [55]

Im nächsten Schritt werden die aus der Bewertungsmatrix in Kapitel 4.4.3 resultierenden Techniken zum Netzbetrieb in der Software ausgewählt. In Abbildung 20 ist das Energiesystem schematisch dargestellt. Der Biomasse-Kessel soll der Spitzenlastabdeckung dienen und wird mit einer Betriebsbeschränkung versehen. Er darf nur eingeschaltet werden, wenn die Lufttemperatur unterhalb von 0°C liegt. Die Wärme-Kälte-Quelle 1 simuliert das neue Klärwerk als Niedertemperaturquelle mit einer konstanten thermischen Leistung unter 2.000 kW. Die Photovoltaikfläche ist mit maximal 1.700 kWp veranschlagt, Dies entspricht einer Fläche von 10.000 m<sup>2</sup>. Hierbei ist die Annahme getroffen, dass sich eine entsprechende Fläche im näheren Umkreis des Wärmenetzes

bebauen lässt. Die Stromerzeugung spielt für den Netzbetrieb eine untergeordnete Rolle. Dies wird in Kapitel 4.5.2.1 dargelegt. Für die Kapazität der Geothermie-Sonden ist ein Maximum von 2.000 kW thermischer Energie gesetzt. Für Sonden und Klärwerk liegen die in Kapitel 2.3 recherchierten Daten zu vergleichbaren Projekten zugrunde. Ein Wärmespeicher sowie die tatsächlichen Dimensionierungen der Technologien werden von der Software im nächsten Schritt optimiert.

## Technologieauswahl

Technologie		Kapazität
Photovoltaik	⚙️ 🗑️	$\leq 1.700 \text{ kW}_p / \leq 10.000 \text{ m}^2$
Biomasse-Kessel 1	⚙️ 🗑️	$\leq 3.000 \text{ kW}_{th}$
Wärmequelle 1	⚙️ 🗑️	$\leq 2.000 \text{ kW}_{th}$
Geothermie-Kollektoren 1	⚙️ 🗑️	500 – 2.000 $\text{ kW}_{th}$
Wärmespeicher	⚙️ 🗑️	wird optimiert

Abbildung 20 nPro Technologieauswahl Energiesystem [66]

Auf dieser Grundlage wird eine Mehrzieloptimierung für minimale Kosten und minimalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß, mit einem CO<sub>2</sub>-Preis von 200 €/Tonne durchgeführt. In Abbildung 21 ist die errechnete Dimensionierung und der jährliche Energiebezug an Strom sowie Biomasse zu sehen. Es besteht die Möglichkeit, die Techniken manuell zu justieren. Es ist zu erkennen, dass die Photovoltaik sowie die drei Wärmequellen auf maximale Vorauslegung dimensioniert werden. Der Wärmespeicher liegt mit 10.491 m<sup>3</sup> im Bereich des technisch möglichen (siehe Kapitel 2.2.5.4) Im nächsten Schritt wird der Systembetrieb simuliert. Als Grundlage dienen, neben den eingepflegten Daten zum Wärmebedarf und Temperaturniveaus, Lastkurven für Wohngebäude, Büros, Einzelhandel etc. Auch bereits hinterlegte Kosten für entsprechende Anlagentechniken und Außentemperaturen dienen als Berechnungsgrundlage der Simulationsergebnisse.

## Dimensionierung der Anlagen

Technologie	Optimierungsbereich	Vorauslegung	Volllaststunden/ Ladezyklen	Benutzerdefinierte Auslegung
 Photovoltaik	$\leq 1.700 \text{ kW}_p / \leq 10.000 \text{ m}^2$	<b>1.700 kW<sub>p</sub> / 10.000 m<sup>2</sup></b>	982 h/a	<input type="text" value="1700"/> kW <sub>p</sub>
 Biomasse-Kessel 1	$\leq 3.000 \text{ kW}_{th}$	<b>3.000 kW<sub>th</sub></b>	464 h/a	<input type="text" value="3000"/> kW <sub>th</sub>
 Wärmequelle 1	$\leq 2.000 \text{ kW}_{th}$	<b>2.000 kW<sub>th</sub></b>	2668 h/a	<input type="text" value="2000"/> kW <sub>th</sub>
 Geothermie-Kollektoren 1	500 – 2.000 kW <sub>th</sub>	<b>2.000 kW<sub>th</sub></b>	6193 h/a	<input type="text" value="2000"/> kW <sub>th</sub>
 Wärmespeicher	unbeschränkt	<b>243.625 kWh / 10.491 m<sup>3</sup></b>	19 Zyklen	<input type="text" value="243625"/> kWh

## Energiebezug und -einspeisung

Technologie	Energiebezug	Einspeisung
 Stromnetz	1.435 MWh/a	1.167 MWh/a
 Biomasse-Bezug	1.683 MWh/a	---

 Systembetrieb simulieren

Abbildung 21 nPro Dimensionierung der Anlage (klassische Nahwärme) [66]

#### 4.5.2.1. Simulationsergebnisse Energiebezug (klassische Nahwärme)

Mit den ausgewählten Dimensionierungen und Datengrundlagen wird ein Netzbetrieb von der Software simuliert. Die wichtigsten Ergebnisse werden in diesem Kapitel vorgestellt. Die komplette Detailbetrachtung ist im Anhang zu finden. Die schematische Darstellung der Anlagentechnik und Energieflüsse ist in Abbildung 22 zu sehen.



Betriebssimulation

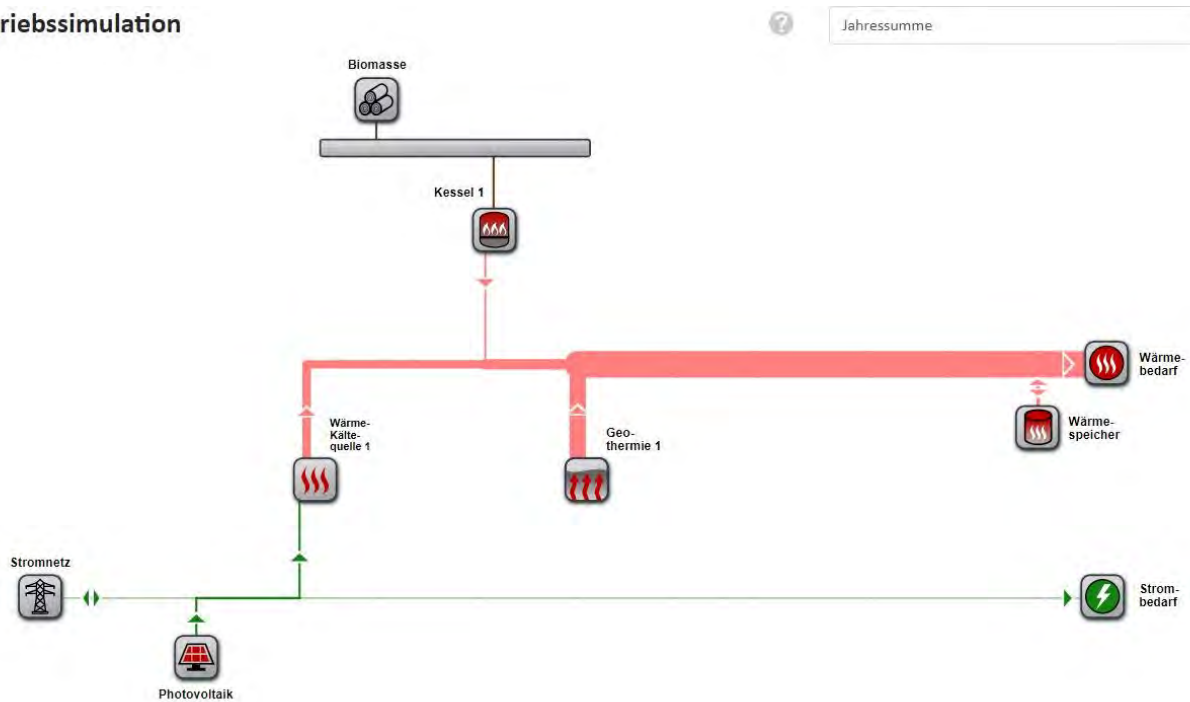


Abbildung 22 Energieflüsse der Betriebssimulation – klassische Nahwärme [66]

Der thermische Energiebezug des Wärmenetzes über das Jahr ist in Abbildung 23 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die konstante Wärmequelle der Geothermieanlage über das ganze Jahr beansprucht wird. In den Monaten von Oktober bis April ist zusätzlich die Erzeugung der Kläranlage (Wärmequelle 1) und der Wärmespeicher nötig. In den Monaten Oktober und Dezember bis März wird der Biomassekessel als Spitzenlastausgleich zugeschaltet. Die benötigte thermische Energie hat ihr Maximum im Dezember und Januar mit über 3000 MWh und ihr Minimum im August mit unter 300 MWh.

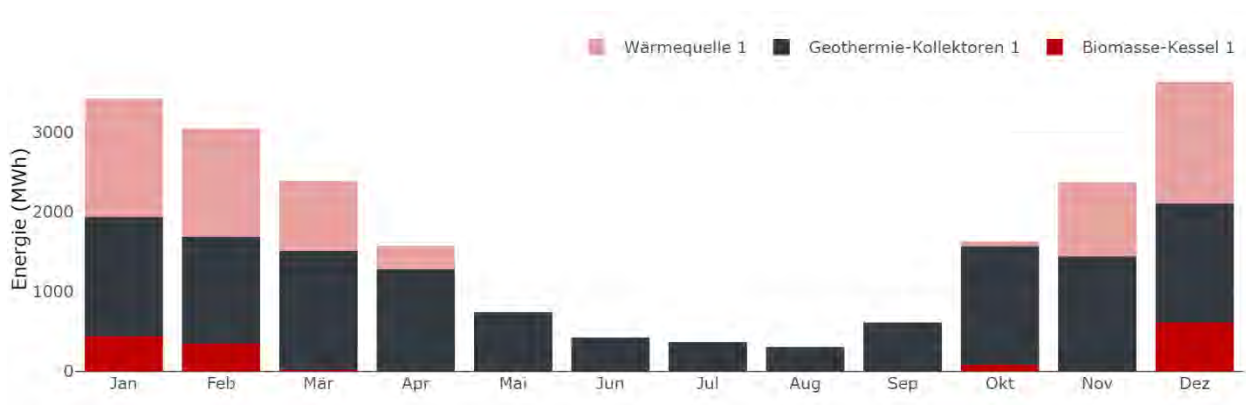


Abbildung 23 Erzeugung/Bezug thermischer Energie nach Monaten und Energiequellen – klassische Nahwärme [66]

Der Strombezug des Netzes ist in Abbildung 25 zu erkennen. In den Monaten April bis September hat die erneuerbare Stromerzeugung einen größeren Anteil an der Deckung des Strombedarfes als der Bezug aus dem Stromnetz. Dieser ist das ganze Jahr über vorhanden und schwankt von annähernd 0 MWh im Juni/Jul bis über 600 MWh im Dezember, Januar und Februar. Die Stromer-

zeugung erfolgt über die simulierten Photovoltaikanlagen. Der Autarkiegrad, bezogen auf den Stromverbrauch, liegt bei 25,7 %. Der Autarkiegrad beschreibt den Anteil des Strombedarfs, der durch die Erzeugungsanlagen gedeckt wird. Die Energieverbrauchsquote gibt den Anteil des erzeugten Stroms an, der direkt für das Wärmenetz genutzt wird und liegt bei 29,6 %. Bei näherer Betrachtung der Stromerzeugung beziehungsweise des Strombedarfes (Abbildung 24) fällt auf, dass die Kurven nicht übereinander liegen. Während im Sommer durch Photovoltaik und hohe Erzeugungsquoten viel Strom erzeugt wird, ist der Bedarf des Netzes niedrig. Im Winter ist der Arbeitsstrom des Wärmenetzes hoch, gleichzeitig ist die Stromerzeugung aufgrund von weniger Sonneneinstrahlung gering.

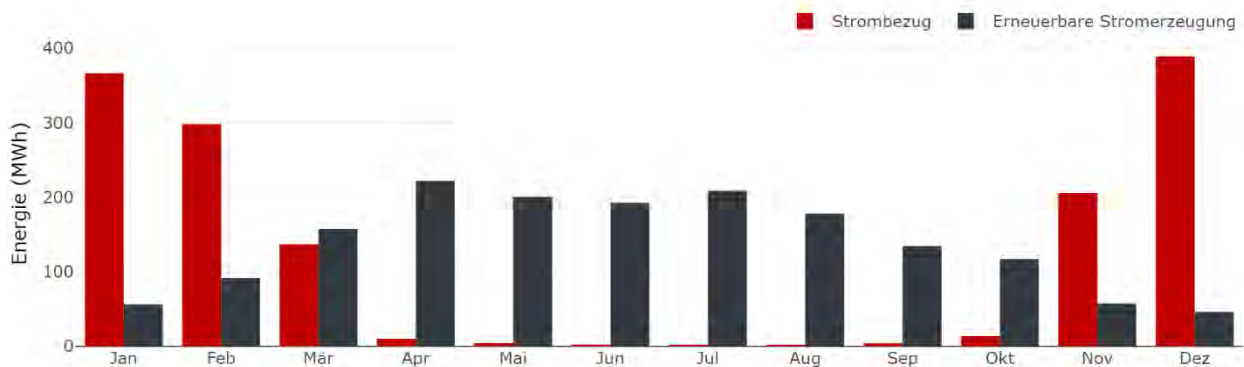


Abbildung 24 Stromerzeugung/ -bezug nach Monaten – klassische Nahwärme [66]

#### 4.5.2.2. Simulationsergebnisse Wirtschaftlichkeit (klassische Nahwärme)

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeitsberechnung dargestellt und beschrieben. Die Software nutzt zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit die Kapitalwertmethode (Kapitel 4.2.2). Die Gesamtbetrachtung der Wirtschaftlichkeit über 20 Jahre ist in Abbildung 25 zu sehen. Es ist zu erkennen, dass der Kapitalwert im ersten Jahr bei knapp minus 30 Millionen Euro liegt und der nach 20 Jahren im negativen Bereich endet.

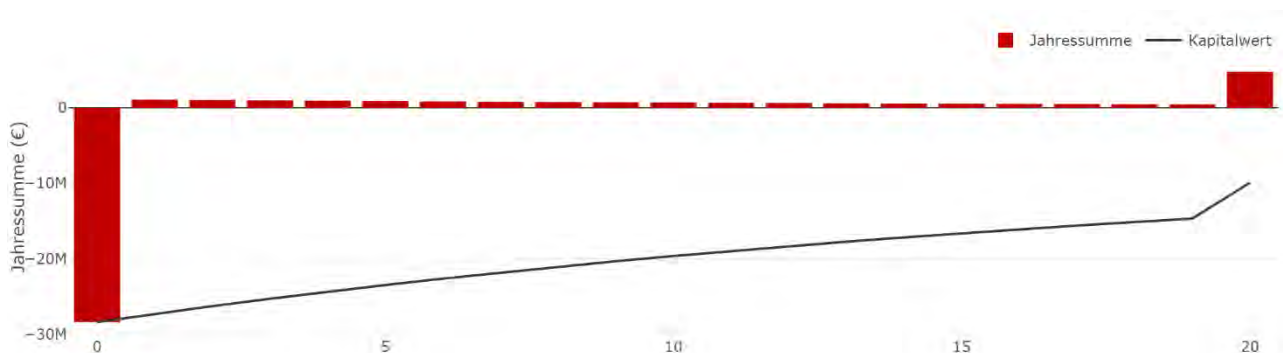


Abbildung 25 Kapitalwert nach 20 Jahren – klassische Nahwärme [66]

Es wurden diverse (Wartungs-)Kosten und Einnahmen sowie Förderungen berücksichtigt. Die Gesamtkosten der Energiezentrale liegen bei über 10 Millionen Euro und die Kosten für die Netzverlegung von 10 km bei 14 Millionen Euro. Wärmenetzanschlüsse der Endverbraucher und (falls notwendig) Sanierungsmaßnahmen sind mit knapp 6 Millionen Euro berücksichtigt. Die Förderungen von über 12 Millionen Euro sowie die Einnahmen durch die Wärmebereitstellung und Ausgaben an Stromkosten sind jährlich berücksichtigt. Dadurch steigt der Kapitalwert im Lauf von 20 Jahren auf minus 9,9 Millionen Euro. Eine genaue Aufschlüsselung der Einnahmen und Ausgaben ist dem Anhang zu entnehmen.

#### 4.5.3. Simulation Anergienetz

Im Folgenden wird ein Anergienetz auf denselben Grundlagen simuliert. Hierfür werden an den einzelnen Hausanschlüssen Wärmepumpen installiert, die auch zur Warmwasserbereitstellung dienen. Durch die niedrige Netztemperatur und die verhältnismäßig höheren Bedarfstemperaturen der einzelnen Anschlussnehmer sind diese anschlussseitigen Maßnahmen nötig (siehe Abbildung 26).

### Energiesystem

☰ Wärme
❄ Kälte
⚡ Strom

#### Wärmeerzeugung



Die **Netz-Wärmepumpe** nutzt das Wärmenetz als Wärmequelle und deckt die Wärmebedarfe, die aufgrund zu geringer Netztemperaturen nicht direkt durch das Wärmenetz gedeckt werden können.

Wärmepumpe ?

**Wärmequelle**

Wärmenetz ?

Außenluft (dezentral) ?

Erdwärme (dezentral) ?

**Leistungszahl (COP)**

Konstanter COP

COP berechnen (Carnot)

Produktdaten

COP (Raumwärme)

4
---

*Betrieb berechnen*

Abbildung 26 Beispiel für Energiesysteme der Anschlussnehmer [66]

Das Anergienetz wird mit Vor- und Rücklauftemperaturen von 30 °C/15 °C simuliert. Eine Kühlung der Gebäude im Gewerbegebiet soll durch passive Kühlung über Geothermie-Sonden realisiert werden.

#### 4.5.3.1. Simulationsergebnisse Energiebezug (Anergienetz)

Mit den ausgewählten Parametern wird ein Netzbetrieb von der Software simuliert. Die wichtigsten Ergebnisse werden in diesem Kapitel vorgestellt. Die komplette Detailbetrachtung ist im Anhang zu finden. Die schematische Darstellung der Anlagentechnik und Energieflüsse ist in Abbildung 27 zu sehen.

Betriebssimulation

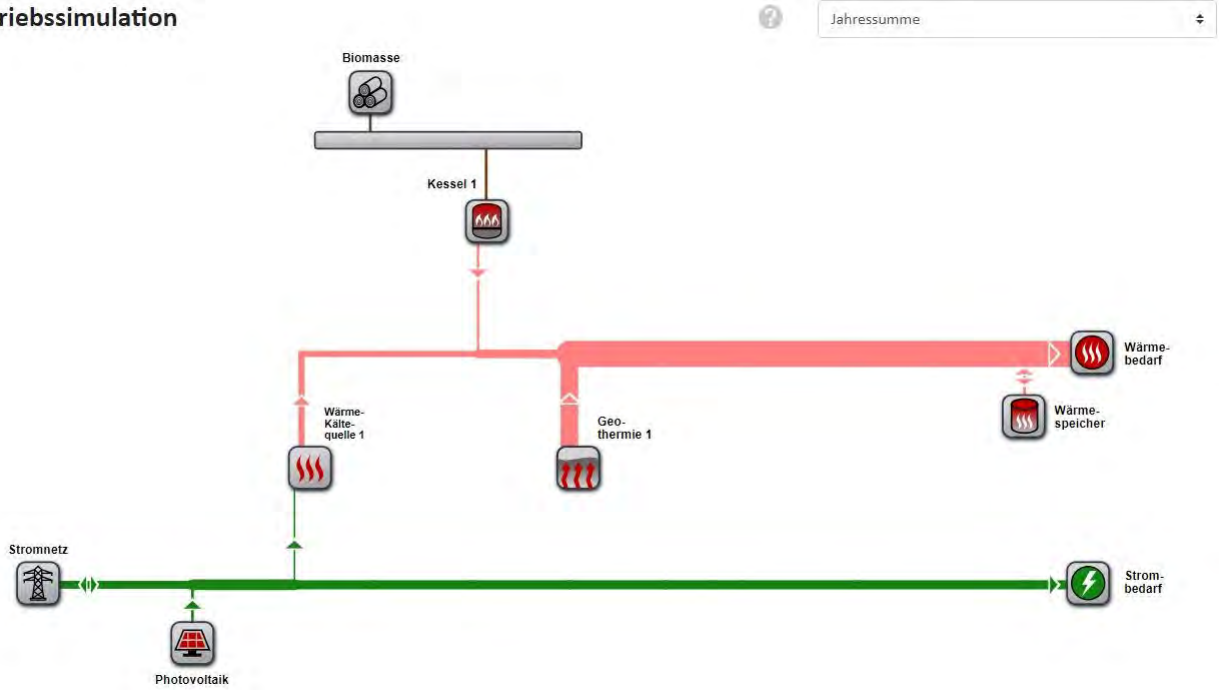


Abbildung 27 Energieflüsse der Betriebssimulation - Anergienetz [66]

Der thermische Energiebezug des Wärmenetzes über das Jahr ist in Abbildung 28 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die konstante Wärmequelle der Geothermieanlagen über das ganze Jahr beansprucht wird. In den Monaten von Oktober bis April ist zusätzlich die Erzeugung der Kläranlage (Wärmequelle 1) und der Wärmespeicher nötig. In den Monaten Oktober und Dezember bis März wird der Biomassekessel als Spitzenlastausgleich zugeschaltet. Die benötigte thermische Energie hat ihr Maximum im Dezember und Januar mit über 3000 MWh und ihr Minimum im August mit unter 300 MWh.

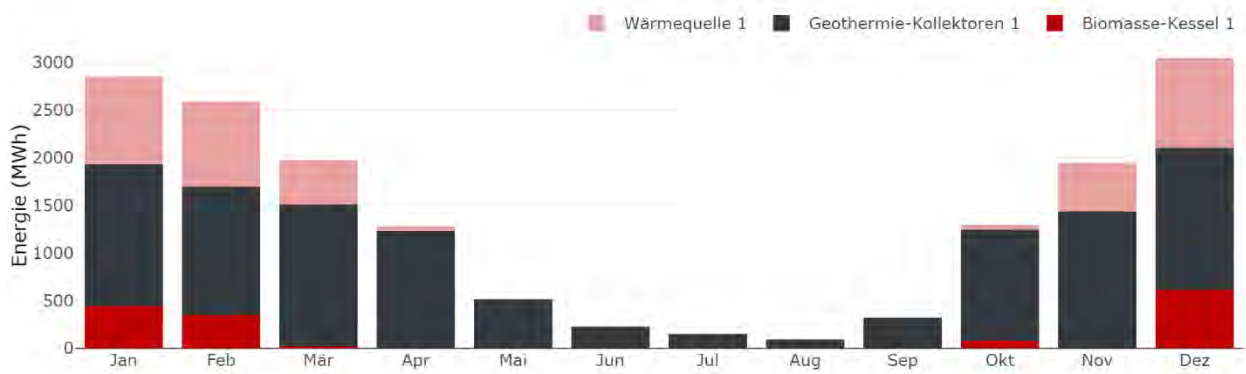


Abbildung 28 Erzeugung/Bezug thermischer Energie nach Monaten und Energiequellen – Anergienetz [66]

Der Strombezug des Netzes ist in Abbildung 25 zu erkennen. In den Monaten April bis September hat die erneuerbare Stromerzeugung einen größeren Anteil an der Deckung des Strombedarfes als der Bezug aus dem Stromnetz. Dieser ist das ganze Jahr über vorhanden und schwankt von annähernd 0 MWh im August bis über 700 MWh im Dezember, Januar und Februar. Die Stromer-

zeugung erfolgt über die simulierten Photovoltaikanlagen. Der Autarkiegrad, bezogen auf den Stromverbrauch, liegt bei 17,1 %. Die Energieverbrauchsquote liegt bei 38,3 %.

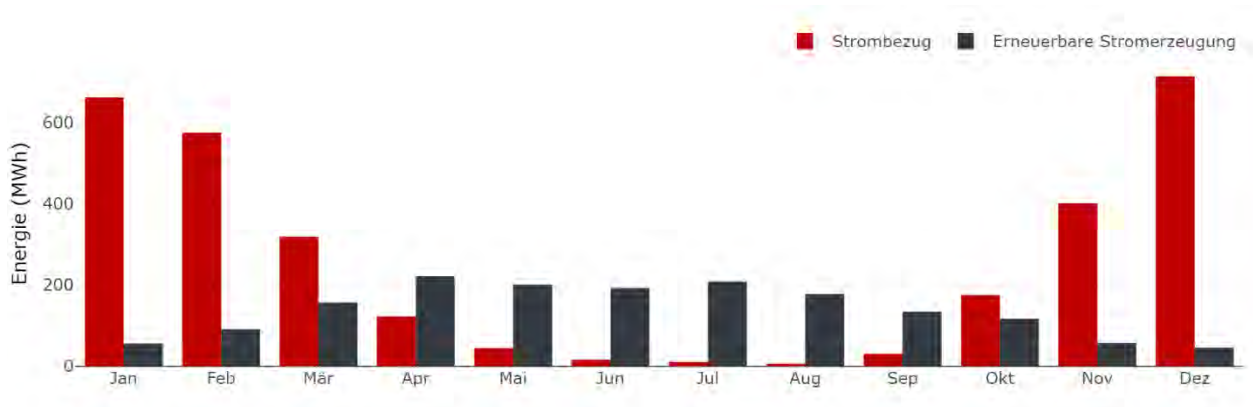


Abbildung 29 Stromerzeugung/ -bezug nach Monaten – Anergienetz [66]

4.5.3.2. Simulationsergebnisse Wirtschaftlichkeit (Anergienetz)

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeitsberechnung dargestellt und beschrieben. Die Software nutzt zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit die Kapitalwertmethode (Kapitel 4.2.2). Die Gesamtbetrachtung der Wirtschaftlichkeit über 20 Jahre ist in Abbildung 30 zu sehen. Es ist zu erkennen, dass der Kapitalwert im ersten Jahr bei minus 70 Millionen Euro liegt und nach 20 Jahren im negativen Bereich bei minus 42 Millionen Euro endet.

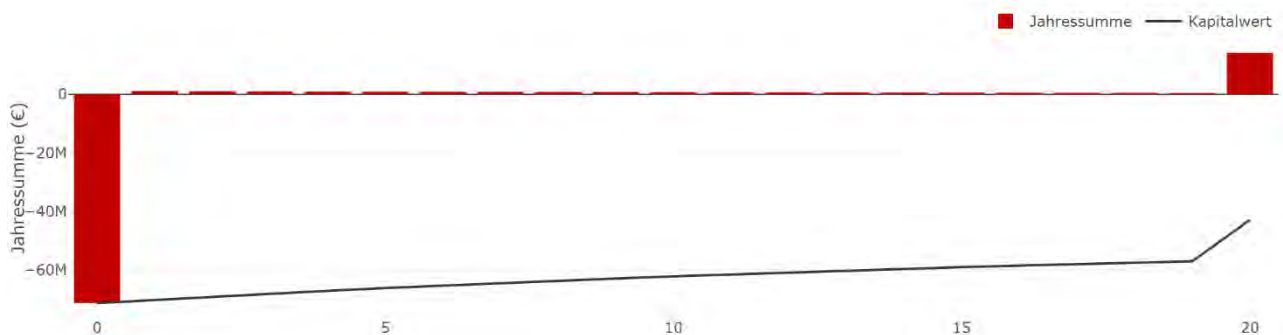


Abbildung 30 Kapitalwert nach 20 Jahren – Anergienetz [66]

Es wurden diverse (Wartungs-)Kosten und Einnahmen sowie Förderungen berücksichtigt. Die Gesamtkosten der Energiezentrale liegen über 7 Millionen Euro und die Kosten für die Netzverlegung von 10 km bei 14 Millionen Euro. Wärmenetzanschlüsse der Endverbraucher und (falls notwendig) Sanierungsmaßnahmen sind mit knapp 59 Millionen Euro berücksichtigt. Die Förderungen von über 38 Millionen Euro sowie die Einnahmen durch die Wärmebereitstellung und Ausgaben an Stromkosten sind jährlich berücksichtigt. Dadurch steigt der Kapitalwert im Lauf von 20 Jahren auf

minus 42 Millionen Euro. Eine genaue Aufschlüsselung der Einnahmen und Ausgaben ist dem Anhang zu entnehmen.

#### 4.5.4. Analyse der Simulationen

In diesem Abschnitt werden die beiden Simulationsergebnisse gegenübergestellt und Unterschiede beschrieben. In Abbildung 31 sind die Energiemengen der beiden Varianten dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Variante der klassischen Nahwärme circa 50 % weniger Strom bezieht als das Anergienetz (rot). Dieser erhöhte Strombedarf kommt durch den Einsatz der Wärmepumpen bei den Anschlussnehmern zustande. Der Biomasseanteil und die Stromerzeugung aus Photovoltaik sind bei beiden Varianten gleich hoch (schwarz und pink). Dies liegt an den Betriebsbeschränkungen in den Voreinstellungen mit 3.000MWh Deckel. Der Wärmebezug (grau) sind die Grundwasserbrunnen. Die Geothermie-Kollektoren (nicht in der Abbildung dargestellt) haben bei der klassischen Nahwärme einen Anteil von 12.522 MWh, bei dem Anergienetz 10.958 MWh. In der Summe unterscheiden sich die Energiebezüge um circa 3.000 MWh auf Seiten des Netzes zur klassischen Nahwärme. Das Anergienetz weist einen höheren Strombedarf gegenüber dem klassischen Nahwärmenetz auf und einen niedrigeren Wärmebedarf.

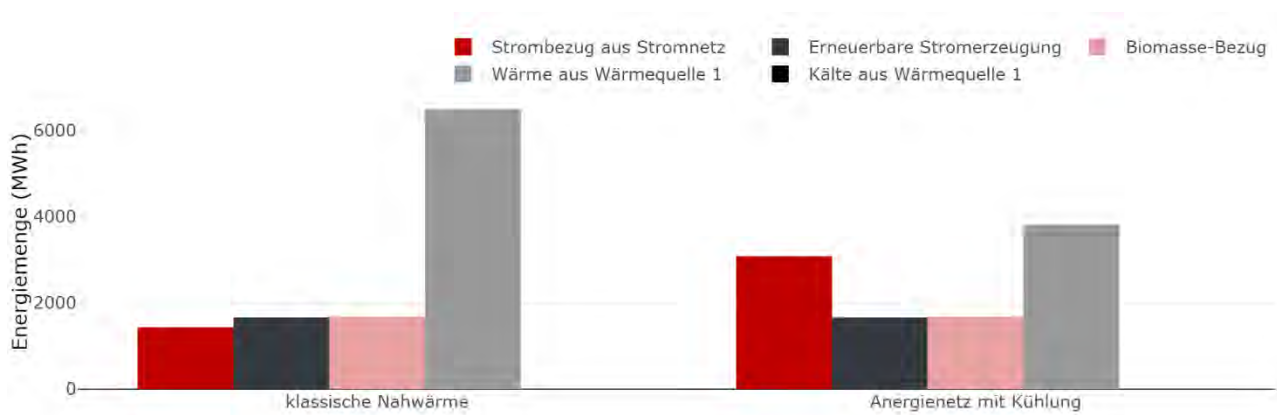


Abbildung 31 Energiemengenbezug der Varianten [66]

In Abbildung 32 ist die Gesamtmenge der bereitgestellten thermischen Energie dargestellt. Beide Varianten stellen die gleiche Menge an Raumwärme zur Verfügung. Das Anergienetz stellt zudem einen Anteil zur Klimatisierung bereit. Hierbei ist zu beachten, dass die unterschiedlichen Wärmebezüge gegenüber der gleichen Menge an bereitgestellter Wärme unter anderem durch erhöhte Netzverluste der klassischen Nahwärme aufgrund von höheren Temperaturen zu Stande kommen.

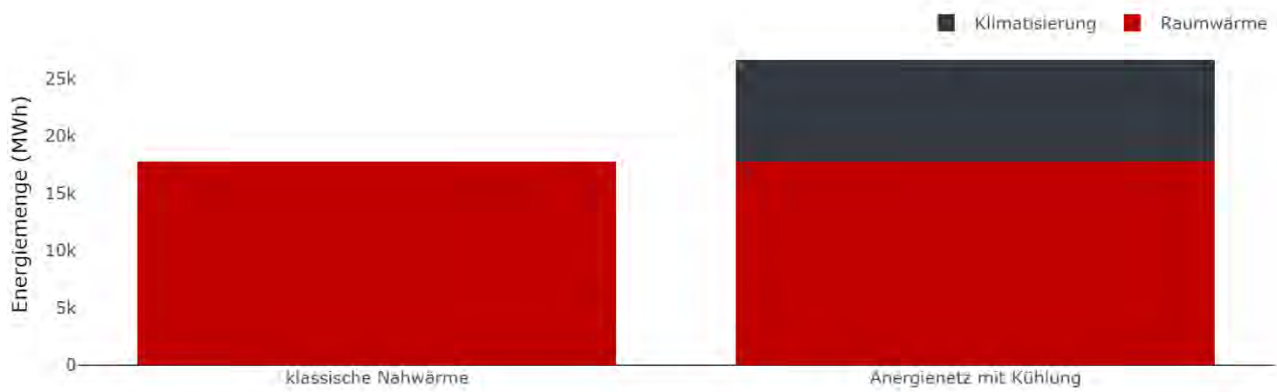


Abbildung 32 Bereitgestellte Energie der Varianten [66]

In Abbildung 33 sind die Investition- und Energiekosten der beiden Netze abgebildet. Der größte Unterschied innerhalb der Investitionskosten liegt bei den Gebäudeenergiesystemen. Diese liegen bei dem Anergienetz 10-mal höher. Die Kosten kommen durch den flächendeckenden Einsatz von Wärmepumpen an der Anschlussseite zustande. Da die Netztemperatur unterhalb der notwendigen Betriebstemperatur der vorhandenen Systeme liegt, ist die Installation von Wärmepumpen notwendig und kostenintensiv. Die Kosten für Sanierungsmaßnahmen der Gebäude mit besonders hoher Netztemperatur sowie die Netzkosten sind annähernd gleich. Die Energiezentrale (Wärmeversorgungssysteme) ist bei der klassischen Nahwärme 3 Millionen Euro teurer. In Summe sind die Investitionskosten eines Anergienetzes mehr als doppelt so hoch, wie bei einem Netz zur klassischen Nahwärme. Die Energiekosten unterscheiden sich im Strombezug. Hier zeigt das Anergienetz doppelt so hohe Kosten beim Strombezug.

**Investition**

	klassische Nahwärme	Anergienetz mit Kühlung
Gebäudeenergiesysteme	5.266.156 €	59.202.714 €
Sanierungsmaßnahmen	678.300 €	678.300 €
Wärmenetz	14.000.000 €	14.070.000 €
Energiezentrale	10.165.514 €	7.080.151 €
<b>Summe</b>	<b>30.109.970 €</b>	<b>81.031.165 €</b>
<b>Summe (Annuität)</b>	<b>2.068.916 €/a</b>	<b>5.402.266 €/a</b>

**Energiekosten**

	klassische Nahwärme	Anergienetz mit Kühlung
Strombezug	430.500 €/a	924.900 €/a
Leistungspreis: Strom	0 €/a	0 €/a
Biomasse	84.150 €/a	84.150 €/a
Wärmequelle 2	0 €/a	0 €/a
<b>Summe</b>	<b>514.650 €/a</b>	<b>1.009.050 €/a</b>

Abbildung 33 Investitions- und Energiekosten der Varianten [66]

Die CO<sub>2</sub>-Kosten der Varianten sind in Abbildung 33 zu sehen. Es liegt beiden Varianten eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung von 200 €/t zugrunde. Das Anergienetz liegt hier doppelt so hoch wie das Netz zur klassischen Nahwärme. Die CO<sub>2</sub>-Bepreisung kommt vor allem durch den bezogenen Netzstrom zustande. Es ist eine spezifische Investition von 0,350 g/kWh Strom in der Software hinterlegt.

#### CO<sub>2</sub>-Kosten

	klassische Nahwärme	Anergienetz mit Kühlung
CO <sub>2</sub> -Kosten	113.904 €/a	229.250 €/a
<b>Summe</b>	<b>113.904 €/a</b>	<b>229.250 €/a</b>

Abbildung 34 CO<sub>2</sub> Kosten der Varianten [66]

In der gegenübergestellten Betrachtung fällt auf, dass ein Anergienetz mehr Kosten und CO<sub>2</sub> Emissionen aufweist als ein klassisches Nahwärmenetz. Die Gegebenheiten vor Ort machen den Einsatz von Wärmepumpen bei Anergienetzen nötig und bringen damit einen hohen Strombedarf.

#### 4.5.5. CO<sub>2</sub>-Bilanz

Die Software liefert Ergebnisse zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß der jeweiligen Systeme. Dieser berechnet sich aus dem Strombezug der Energiezentrale und dem Bezug an Biomasse. Zum Vergleich wird der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Ist-Zustandes überschlagen. Als Grundlage wird der Raumwärmebedarf von 17.777 MWh/Jahr angenommen, der in der Simulation zugrunde liegt. Dieser Wärmebedarf wird mit einem gemittelten CO<sub>2</sub>-Faktor von Öl und Gas verrechnet. Es wird ein CO<sub>2</sub>-Faktor von 0,230 kg/kWh angenommen.

Formel 7 Berechnung CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Ist-Zustandes [60]

$$17.777 \frac{\text{MWh}}{\text{Jahr}} \times 0,230 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} = 4.088 \frac{\text{t}}{\text{Jahr}}$$

Die verschiedenen Werte sind in Tabelle 13 gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass beide Wärmenetzkonfigurationen weniger CO<sub>2</sub> ausstoßen als der Ist-Zustand. Das Netz mit klassischer Nahwärme hat einen Ausstoß von 570 t/Jahr und liegt damit circa halb so hoch wie der Ausstoß des Anergienetzes von 1.146 t/Jahr. Der Ist-Zustand hat einen überschlägigen Ausstoß von 4.089 t/Jahr.

Tabelle 13 Vergleich CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Varianten [60]

Wärmeversorgung	Ist-Zustand	klassische Nahwärme	Anergienetz
CO <sub>2</sub> Ausstoß [t/Jahr]	4.089	570	1.146



#### 4.5.6. *Interpretation der Simulationsergebnisse*

Die Simulationen zeigen, dass beide Wärmenetze in entsprechenden Konfigurationen technisch möglich sind. Eine Wärmeversorgung mit Geothermie, Abwasserwärme und Biomasse als Spitzenlastausgleich ist machbar. Die genauen Dimensionierungen der Anlagen sind variabel und können noch verändert werden. Die Stromerzeugung über Photovoltaik ist in beiden Fällen nicht essenziell, da sich die Stromerzeugungs- und Bedarfsspitzen nicht überlagern. Die Stromerzeugung hat einen Einfluss auf die Kosten. In einer Umsetzung mittels Photovoltaikanlagen ist ein direkter Anschluss an die Netze nicht Stand der Technik. Große Photovoltaikanlagen werden in der Regel an das Stromnetz angeschlossen und speisen den erzeugten Strom direkt in das Netz. Bei kleinen Anlagen auf Privathäusern sind die Anlagen mittels Wechselrichter an das Netz und den Hausstromkreis angeschlossen. In einem Anergienetz können so die Wärmepumpen der Anschlussnehmer über Photovoltaikstrom direkt versorgt werden. Da im Sommer auch eine Kühlung und somit Pumpleistung des Netzes erfordert wird, kann der Strom aus Photovoltaikanlagen direkt genutzt werden. Die Nutzung des Photovoltaikstroms ist somit in einem klassischen Nahwärmenetz nicht ohne weiteres möglich und müsste bei Bedarf genauer untersucht werden. Ein Anergienetz kann den erzeugten Strom durch Privatanlagen direkt einsetzen.

Die Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit zeigen anhand der Berechnung mittels Kapitalwertmethode (Kapitel 4.5.2.2 und 4.5.3.2) für beide Netze ein negatives Ergebnis nach 20 Jahren. Es wurden maximale Fördersätze (Kapitel 3.1) von 50 % für Gebäudeenergiesysteme und 40 % für den Netzbau berücksichtigt. Wobei das Anergienetz ein deutlich schlechteres Ergebnis aufweist als das Netz zur klassischen Nahwärme. Aufgrund von höheren Investitions- und Energiekosten liegt der Kapitalwert nach 20 Jahren bei unter minus 40 Millionen Euro. Beim Netz zur klassischen Nahwärme bei circa minus 10 Millionen Euro. Es wurden beide Netze mit einem kalkulatorischen Zinssatz von 5 % berechnet (siehe Kapitel 4.2.2). Die Ergebnisse stellen beide Netze als unwirtschaftliche Investition dar.

Die Betrachtung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zeigt, dass die Umstellung der Wärmeversorgung auf ein Wärmenetz 72 %-86 % CO<sub>2</sub> einsparen kann. Gas und Öl haben einen unveränderlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Der Faktor Strom CO<sub>2</sub>-Faktor aus dem Netz verändert sich und ist abhängig von der Stromerzeugung in Deutschland.

#### 4.5.7. *Fehlerquellen*

Bei der Dateneingabe und Konfiguration der Simulation sind diverse Punkte unsicher und werden hier als mögliche Fehlerquellen der Ergebnisse berücksichtigt. Es wurde kein separater Warmwasserbedarf berücksichtigt. Dieser Bedarf ist innerhalb der recherchierten Daten zum Wärmebedarf der einzelnen Gebäude berücksichtigt. Somit sind Lastkennlinien zum Warmwasserbedarf nicht in der Betriebssimulation vorhanden. Die Werte zur Kühlung der Gewerbegebäude im Anergienetz sind nicht recherchiert und kommen basieren auf Daten der Software. Zudem sind in der Software keine Kennlinien für Betriebs- und Werkstätten hinterlegt. Die Gebäude des Gewerbeparks wurden hauptsächlich als Bürogebäude definiert. Die realen Lastkennlinien sind nicht vorhanden. Zudem ist die Wärmebedarfsabschätzung (Kapitel 4.3) nicht mit realen Werten hinterlegt, sondern überschlägig errechnet. Im Bereich Gewerbe und Industrie ist der Wärmebedarf individuell von den einzelnen Firmen und deren Tätigkeiten abhängig. Zur realitätsgetreuen Aussage bedarf es genaue Verbrauchskennwerte und Lastkurven.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Software summiert das gesamte Netz. Anschlusskosten der einzelnen Verbraucher und Kosten für Photovoltaikanlagen, sowie die Stromeinspeisung fließen in die Gesamtbetrachtung. Hier ist keine Unterscheidung nach Netzbetreiber und Nutzer möglich. Somit sind die Kosten der einzelnen Akteure nicht differenzierbar. Im Hinblick auf die Gesetzeslage zur Heizungssanierung ist es möglich, dass ein Teil der Investitionen von den Anschlussnehmern kommen kann, da diese ihr Heizungssystem langfristig umrüsten müssen. Diese Entwicklung kann die Wirtschaftlichkeit beeinflussen. Die entsprechenden Förderungen für Anschlussnehmer sind im Bereich der Gebäudeenergiesysteme bereits berücksichtigt. Förderungen für Planungskosten sind nicht berücksichtigt. Des Weiteren ist die Kostenentwicklung für Strom, Gas/Öl und Biomasse nicht abzusehen. In Krisenfällen können sie sich stark und unvorhergesehen verändern. Auch die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung kann variieren. Es wird in der Simulation ein konstanter Preis von 200 €/t angenommen. Die Entwicklung der Stromeinspeisung und Stromkosten haben einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Variierende Gaspreise können den Anschluss an ein Wärmenetz für Endverbraucher wirtschaftlich machen. Der Erlös für bereitgestellte Wärme ist an dem aktuellen Preis für Gas orientiert. Dieser wird nicht überschritten. Bei höheren Versorgungskosten sind die Erlöse des Wärmenetzes höher und beeinflussen die Wirtschaftlichkeit. Für beide Netze werden Netzbaukosten von circa 14 Millionen Euro errechnet. Bei den Netzen kommen unterschiedlich gedämmte Rohre zum Einsatz. Hier können die Materialkosten in der Realität variieren.

In der Software sind keine Daten zu Grundwasserbrunnen hinterlegt. Stellvertretend wird die Simulation mit Geothermiekollektoren durchgeführt. Separat wird ein Wärmespeicher berechnet. Grundwasserbrunnen können als Wärmespeicher dienen und die Investitionskosten beeinflussen. Der geplante Klärwerksneubau kann die Investition verringern, da Arbeitsschritte kombiniert und somit effizienter durchgeführt werden können. Die Kosten für den Neubau des Klärwerks werden auf 185 Millionen Euro geschätzt (Kapitel 2.4.7.1). Die genauen Kosten, um ein Klärwerk zu Wärmegewinnung nutzen zu können sind nicht bekannt.

#### **4.6. Kritische Bewertung und Handlungsempfehlung**

Beide Netze scheinen nicht wirtschaftlich. Der Kapitalwert ist nach 20 Jahren negativ und zeigt somit, dass sich eine Investition (auf 20 Jahre betrachtet) nicht lohnt. Die CO<sub>2</sub>-Bilanz hingegen zeigt eine positive Entwicklung. Im Hinblick auf die aktuelle politische Entwicklung zu Gebäudeenergiegesetz und kommunaler Wärmeplanung können sich die Voraussetzungen für Wärmenetze verbessern. Sie stellen eine Möglichkeit für Hauseigentümer dar, die Vorgaben zum Heizungstausch zu erfüllen. Die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und das Umrüsten von konventionellen auf erneuerbare Energien liefern einen langfristigen Mehrwert, der nicht ohne weiteres in konkrete Summen umgerechnet werden kann. Zur genaueren Aussage bedarf es konkreter Werte zur Wärmebedarfsabschätzung und Kostenuntersuchung der einzelnen Bauvorhaben. Zur besseren Einschätzung braucht es noch weitere Recherchen und Datenerhebungen, die eine konkrete Aussage zulassen. Dies gilt für den Gewerbepark und das Wohnquartier und für die simulierten Techniken.

Die hier beschriebenen Probleme müssen untersucht werden. Aufgrund der höheren Investitionskosten und Strombedarfes wird von der weiteren Betrachtung eines Anergienetzes unter angenommenen Umständen abgeraten. Ein weiterer, nicht erfasster Punkt ist die Bereitschaft der Be-

wohner des Wohnquartiers, sich an ein Wärmenetz anzuschließen. Hier können Befragungen und Aufklärung zielführend sein. Die Firmen im Gewerbepark werden sich nicht ohne besserwirtschaftliche Argumente an das Netz anschließen wollen. Für sie muss sich die Investition vor allem wirtschaftlich lohnen. Die Akzeptanz, Anschlusskosten zu bezahlen für einen gleichbleibenden Preis der Wärmebereitstellung, wird gering ausfallen. Ein Faktor, der sich positiv auf die Akzeptanz auswirken kann, sind die aktuellen Gesetzesänderungen. Hier sollte die Tendenz für Industrie und Gewerbe näher untersucht werden, um Argumente für einen Netzanschluss zu liefern. Zur besseren Einordnung bedarf es einen Vergleich mit anderen Lösungsmöglichkeiten, die Wärmeversorgung der Quartiere auf erneuerbare Energien umzustellen.

## 5. Fazit

Die Untersuchung dieser Arbeit, ob ein Wärmenetz in Remagen unter Einbeziehung des Gewerbe- und Wohnbeparks Remagen Süd machbar ist, lässt keine eindeutige Antwort zu. Anhand des recherchierten Stands der Technik und politischen Kontextes wird deutlich, dass der Wärmesektor vor allem im Bestand umgestellt werden muss, um den Klimawandel und dessen Folgen abzuschwächen. Im Verlauf der Arbeit wurde aufbauend auf diesen Recherchen eine mögliche Lösung zur Erneuerung der Wärmeversorgung über ein Wärmenetz für den Gewerbe- und Wohnpark sowie ein angrenzendes Wohngebiet untersucht.

Die Bestandsanalyse der Quartiere ergab, dass größtenteils fossile Energieträger zum Heizen genutzt werden. Anhand der durchgeführten Wärmebedarfsabschätzungen ergibt sich ein jährlicher Wärmebedarf von 3.743 MWh im Wohnquartier und 17.848 MWh bis 24.840 MWh im Gewerbe- und Wohnpark. Hierbei sind keine realen Verbräuche erfasst worden, sondern Abschätzungen anhand von Literaturverbrauchswerten und Gebäudegrößen und Baujahren durchgeführt worden. Im Bereich von Industrie und Gewerbe können die tatsächlichen Zahlen aufgrund von individuellen Betriebsabläufen stark variieren. Durch die Zuhilfenahme von Literaturkennwerten und Vergleichswerten zur Wärmedichte und Wärmebezugsdichte anderer Wärmenetze scheint das Wohnquartier kaum geeignet und der Gewerbe- und Wohnpark durchaus geeignet, um die Wärmeversorgung auf ein Wärmenetz umzustellen. Aufgrund von ergänzenden Lastkurven zwischen Wohn- und Gewerbequartieren und der hohen Anzahl an fossilen Heizungssystemen wurden anschließend Netze simuliert, welche beide Quartiere umschließen. Unter Zuhilfenahme einer Bewertungsmatrix wurden sowohl Netztypen als auch verwendete Techniken zur Wärmebereitstellung ausgewählt. Hierbei ergab sich eine annähernd gleiche Bewertungszahl für klassische Nahwärme und Anergienetz. Der grundlegende Unterschied der Netzparameter lag in der Betriebstemperatur der Netze. Es wurde ein „klassisches Nahwärmenetz“ simuliert, welches mit Vorlauftemperaturen von 65°C entsprechend der bereits vorhandenen Heizsysteme arbeitet. Das zweite Netz wurde als „Anergienetz“ simuliert. Anergienetze entsprechen dem neuesten Stand der Technik und arbeiten mit deutlich niedrigeren Betriebstemperaturen als klassische Nahwärmenetze. Diese Gegebenheiten machen zudem eine Kühlung möglich, die für die Gebäude des Gewerbe- und Wohnparks mit in die Simulation einbezogen wurde. Es wurde ein Anergienetz mit Vorlauftemperaturen von 35 °C simuliert. Als Wärmequellen wurden unter Zuhilfenahme der Bewertungsmatrix in beiden Fällen Grundwasser, Abwasser des neu entstehenden Klärwerks, Wärmespeicher und Biomasse zur Spitzenlastdeckung sowie Photovoltaik zur Deckung des Strombedarfes gewählt. Eventuelle energetische Sanierungen der Gebäude werden nur im geringen Maß für die ältesten Wohnhäuser in die Simulation einbezogen.

Die Simulationsergebnisse zeigen für beide Wärmenetze eine technisch mögliche Umsetzung. Eine große Rolle nimmt hierbei der Neubau des Klärwerkes ein, der energetisch und technisch ein hohes Potential aufweist. Grundwassernutzung über entsprechende Grundwasserbrunnen scheint an dem Standort ebenfalls eine effiziente Technik zu sein. Die Spitzenlastdeckung ist essenziell für einen Netzbetrieb und wird über die Biomasseverbrennung gedeckt, welche vor Ort eine hohe Machbarkeit aufweist. Die Stromgewinnung durch Photovoltaik spielt eine untergeordnete Rolle, da Erzeugungs- und Verbrauchskennlinien im Jahresüberblick gegenläufig sind.

Die Zusammensetzung der Wärmebereitstellung beider Netze zeigen nur wenige Unterschiede. Die Wirtschaftlichkeitsbewertung mittels Kapitalwertmethode fällt für beide Netze negativ aus. Innerhalb der Berechnungen wird das gesamte Netz kalkuliert. Der Erlös für den Strombezug wurde

mit 10 Cent/kWh an aktuellen Preisen zu Gas und Fernwärme ausgerichtet und aktuelle Förderätze zu Gebäudeenergiesystemen sowie Wärmenetzen wurden berücksichtigt. Es wird keine Unterscheidung für Netzbetreiber und Abnehmer gemacht. Die Ergebnisse unterscheiden sich deutlich voneinander. Der Strombezug des Anergienetzes ist ungefähr doppelt so hoch, wie bei der klassischen Nahwärme, wodurch auch die Betriebskosten höher liegen. Aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen Anergienetz und Anschlussnehmern ist der flächendeckende, anschlussseitige Einsatz von Wärmepumpen notwendig, wohingegen das Netz hohen Betriebstemperaturen direkt für die Wärmebereitstellung genutzt werden kann. Dies beeinflusst auch die Investitionskosten. Ohne Förderungen wird ein klassisches Nahwärmenetz mit circa 30 Millionen Euro Investition berechnet - ein Anergienetz mit circa 81 Millionen Euro. Diese Zahlen spiegeln sich in der Wirtschaftlichkeitsberechnung wider. Beide Netze weisen einen negativen Kapitalwert über 20 Jahre Betrachtungszeitraum auf. Das klassische Netz liegt bei minus 9,9 Millionen Euro, das Anergienetz bei minus 42 Millionen Euro.

Die ökologische Bewertung erfolgt über einen Vergleich der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der beiden Netze mit dem Ist-Zustand. Der jährliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Anergienetzes liegt bei 1.146 Tonnen, der klassischen Nahwärme bei 570 Tonnen. Im Vergleich mit dem Ausstoß des Ist-Zustandes, der bei 4.089 Tonnen jährlich liegt, weisen beide Netze eine deutliche Verbesserung auf.

Die Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit lassen keine eindeutige Antwort der zu Beginn gestellten Frage zu. Aus technischer Sicht lässt sich ein Wärmenetz umsetzen. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß und damit die Umweltfreundlichkeit würden sich mit einem solchen Wärmenetz verbessern. Der hohe bauliche Aufwand sowie die Akzeptanz der einzelnen Akteure und Anschlussnehmer stellen eine große Herausforderung dar. Aufgrund der flächendeckenden Verwendung von Gas- und Ölheizungen ist das Potential der CO<sub>2</sub>-Reduktion gegeben. Die Akzeptanz der Firmen im Gewerbegebiet ist unter der Bedingung der positiven Wirtschaftlichkeit gegeben. Zur genaueren Beurteilung bedarf es weiterer, präziser Untersuchungen vor Ort. Die Simulationsergebnisse lassen den Schluss zu, dass ein Wärmenetz, welches an die Betriebstemperaturen der Bestandsgebäude angepasst ist, näher untersucht werden sollte. Eine verbesserte Datengrundlage zu Investitions- und Baukosten kann Klarheit schaffen, ob der Betrieb eines Wärmenetzes eine Lösung zur Wärmeversorgung darstellt. Durch den aktuellen Plan, ein neues Klärwerk im Untersuchungsgebiet zu errichten, ergibt sich eine Möglichkeit der effizienten Kombination von Baumaßnahmen. Die Bauplanung des Klärwerks läuft aktuell und sollte frühzeitig auf eventuelle Kombinationen untersucht werden.

Eine wirtschaftlich lohnende Investition ist der Schlüssel, um die einzelnen Parteien zu überzeugen. Diese ist nach den vorgefundenen und angenommenen Bedingungen schwer zu erreichen. Ein Wärmenetz bedarf Investitionen von mehreren Millionen Euro und zahlt sich tendenziell monetär nicht aus. Der Klimawandel und die Reaktion der Regierungen erfordern Investitionen, die sich nach den gängigen Wirtschaftlichkeitsrechnungen nicht lohnen. Die Kosten, die ein ungebremseter Klimawandel langfristig hervorrufen würde, sind schwer zu erfassen und für Firmen und Privatpersonen zu abstrakt, um sie als relevantes Entscheidungskriterium einzubeziehen. Die Verantwortung liegt bei Gesellschaft und Politik, diese Szenarien zu berücksichtigen und entsprechende Schritte einzuleiten. Die Untersuchungen dieser Arbeit zeigen, dass ein Wärmenetz im Untersuchungsgebiet ein solcher Schritt sein kann. Es sollten zudem andere Lösungen der Wärmeversorgung durch erneuerbare Energien untersucht werden, um eine Einordnung der Ergebnisse dieser Arbeit leichter zu machen.

## 6. Anhang

### 6.1. Denkmalgeschützte Gebäude

#### Gemarkung

##### Heiligenhäuschen an der B 267

bez. 1622, Dreifaltigkeitsrelief

##### Heiligenhäuschen an der B 267 Richtung Dernau

Vesperbild, 18. Jh.

#### Reifferscheid

##### Kath. Kirche St. Michael Fronhof 7

Westturm, bez. 149?, zweischiffige Bruchsteinhalle, 1893-95, Architekt Lambert von Fisenne, Gelsenkirchen, Seitenschiffe 1971-73; Grabkreuz, 18./19. Jh.

##### An der Forstnück

Kapelle, kleiner Saalbau, 17. Jh.

##### Fronhof

Wegekreuz, barocker Typ, bez. 1927

##### Hauptstraße 54

Fachwerkhaus, Ständerbau, 19. Jh.

##### (zu) Im Winkel 6

Fachwerk-Einhaus, 18. Jh.

##### (zu) Kerngasse 4

Fachwerkhaus, wohl 17./18. Jh., Fachwerkscheune

#### Gemarkung

##### Kapelle südlich von Reifferscheid

kleiner Saalbau, 18. Jh.

#### Remagen

##### Ev. Friedenskirche Marktstraße 21

neugotischer Backsteinsaalbau, bez. 1871

##### Kath. Pfarrkirche St. Peter und Paul Kirchstraße 34

neuromaische Basilika, 1900-04, Architekt Caspar Clemens Pickel, Düsseldorf, unter Einbeziehung der spätromanischen Kirche des 11./13. Jh., Westturm von 1660, mit Architekturteilen der 1. Hälfte des 13. Jh., Pfarrhof mit romanischem Pfarrhofort, um 1200; 15 Kreuze, die meisten 18. Jh., Grabplatten, mittelalterlich und 18. Jh., drei kleine Grabplatten, neugotisches Gusseisenkreuz, 19. Jh., Brunnen, 1718; Gesamtanlage mit Pfarrhaus und Brunnen

##### Kath. Wallfahrtskirche St. Apollinaris Apollinarisberg 4

einschiffiger Bau über griechischem Kreuz mit vier Türmen, im Wesen klassizistisch, in den Details neugotisch, dreischiffige Hallenkrypta neuromanisch, 1839-43, Architekt Ernst-Friedrich Zwirner, Köln; Franziskanerkloster, modern; Franziskusskulptur, zwei Grotten, Gruft, Kreuzigungsgruppe; Gesamtanlage

##### Stadtbefestigung

von der ab 1357 begonnenen Stadtmauer erhalten: 500m lange Mauer an der Nordseite (Rheinpromenade/Deichweg); Mauerrest an der Nordwestecke (Milchgasse 12), 200 m langes Mauerstück mit Zinnenkranz an der Milchgasse; verbauter Mauerrest in Drususplatz 3; Mauerstück hinter Bachstraße 23/25/ Ecke Drususplatz; Mauerrest mit großen Basaltsteinen in der Obergasse; an der Rheinseite Pforte (Rheinpromenade 48), zur Kirche ansteigendes Mauerstück

**Alte Straße 8**

Putzbau, Jugendstil, um 1910

**Alte Straße/ Ecke Schillerstraße Jüdischer Friedhof (Denkmalzone)**

23 Grabsteine sowie eine Grabplatte

**Alter Friedhof**

Friedhofskreuz, Nischentyp, bez. 1834

**Am Anger 9**

Villa; späthistoristischer Putzbau, Turm, 2. Hälfte 19. Jh.; Gesamtanlage mit Garten; Wegekreuz, Nischentyp, bez. 1681, Kreuz bez. 1823

**Am Spich 5**

Villa; späthistoristischer Putzbau, tlw. Fachwerk, um 1900; Gesamtanlage mit Garten

**Am Spich 8**

Villa; neubarocker Tuffquaderbau, Mansardwalmdach, um 1910; Gesamtanlage mit Garten

**Bachstraße 2**

Rathaus; siebenachsiger klassizistischer Putzbau, bez. 1839 (Rest.)

**Bachstraße 13**

zweieinhalbgeschossiger Putzbau, Ende 19. Jh.

**(bei) Bergstraße 1**

Gedenkstein in Pyramidenform, errichtet 1768 anlässlich der Erweiterung der (römischen) Uferstraße durch Karl Theodor, Kurfürst von der Pfalz

**Bismarckstraße 20**

Putzbau, bez. 1895

**Deichweg**

Wegekreuz, Nischentyp

**Deichweg 4**

Apollinariskeller, bez. 1866-79, erneuert 1965

**Deichweg 9**

späthistoristische Villa, Neurenaissance; Gesamtanlage mit Garten

**Drususplatz 3**

Fachwerkhaus, Mansarddach, 18. Jh.; steht auf Rest der Stadtmauer

**Friesenstraße 3 und 5**

Walmdach-Villa, 1909; Gesamtanlage mit Garten und Tor- bzw. Gesindehaus

**Fürstenbergstraße 9**

Kapelle, neugotischer Bruchsteinbau, 19. Jh.; Missionskreuz, bez. 1737

**Fürstenbergstraße 23**

dreieinhalbgeschossiger Backsteinbau, um 1900

**Geschwister-Scholl-Straße 9**

Schule (?), lisenengegliederter Walmdachbau, um 1910

**Im Neuen Weg 40**

Villa Einsiedeln, Putzbau, Landhausstil, um 1914

**Kirchstraße 4**

klassizistischer Putzbau, 1. Hälfte 19. Jh.

**Kirchstraße 5**

eingeschossiger Walmdachbau, tlw. Fachwerk bzw. verschiefert, um 1900/10

**Kirchstraße 7**

Fachwerkhaus, tlw. massiv, 19. Jh.; Wegekreuz, Nischentyp, bez. 1686

**Kirchstraße 9**

ehem. Kapelle der ehem. Abtei Knechtsteden, 2. Hälfte 15. Jh., 1904/05 Umbau zu Heimatmuseum

**Kirchstraße 13**

Fachwerkhaus, tlw. massiv, verputzt, Mansardwalmdach, im Kern spätmittelalterlich, Umbau spätes 18. Jh.

**Kirchstraße 22**

Putzbau, Fachwerkaufstockung, bez. 1664; rückwärtig Fachwerkhaus, Ständerbau

**Kirchstraße 30**

späthistoristische Villa, Neurenaissance; Gesamtanlage mit Garten

**Kirchstraße 32**

ehem. Pfarrhaus, lisenengegliederter Walmdachbau, bez. 1794; Gesamtanlage mit Kirche

**Kölner Straße 1**

späthistoristische Villa, Treppengiebel, Backsteinaufgang, 1904; Gesamtanlage

**Kölner Straße 3**

späthistoristische Villa, Fachwerkgiebel, bez. 1895

**Kölner Straße 5**

späthistoristische Villa, Ende 19. Jh.

**Kölner Straße 9**

Haus Herresberg, stattlicher dreigeschossiger Putzbau

**Maisons-Laffitte-Platz 2**

Bahnhof, villenartiger spätklassizistischer Putzbau, 1858/59, gusseiserne Bahnsteigüberdachungen, 19. Jh.

**Marktplatz**

Marienbrunnen, Brunnenbecken mit Marienskulptur, bez. 1862

**Marktstraße 26**

spätklassizistischer Putzbau, dreigeschossiger turmartiger Eckbau, Pyramidaldach, Mitte 19. Jh.

**Marktstraße 28**

dreigeschossiger Backsteinbau, um 1900

**Marktstraße/ Ecke Frongasse**

Kirche des ehem. Klosters St. Anna, erhalten nur Querhaus und Chor der neugotischen Backsteinkirche, 1904-06, Architekt Caspar Clemens Pickel, Düsseldorf

**Milchgasse 8**

Fachwerkhaus, Mansarddach, 18./19. Jh.

**Milchgasse 9**

Fachwerkhaus, Mansardwalmdach, frühes 18. Jh.

**Postgasse 12**

Fachwerkhaus, verputzt, Mansarddach, um 1800; Gesamtanlage mit Hof

**Rheinpromenade**

Ludendorffbrücke, Pylonen der ehem. Eisenbahnbrücke Remagen-Erpel, 1916-19

**Rheinpromenade 40**

ehem. Hotel "Zum Anker", Putzbau des späten 19. Jh. mit historischer Ausstattung

**Rheinpromenade 43**

italienisierender dreigeschossiger Putzbau, neunachsige Attika, Treppenturm, Mitte 19. Jh.

**Von-Lassaulx-Straße 4**

Mansardwalmdachbau, neugotische Motive, um 1900



**Von-Lassaulx-Straße 10**

neubarocker Mansardwalmdachbau, um 1900

**Gemarkung**

**Alter Jüdischer Friedhof (Denkmalzone)**

21 Grabsteine ab 2. Hälfte 19. Jh.

**Bildstock in der Nähe des Lützelbachhofs**

neugotisch, um 1900

**Grabkreuz südlich von Remagen bei Oberstental**

bez. 1664

**Hagelkreuz südlich von Remagen**

Typ mit Kielbogennische und Sockelbank, bez. 1693

**Jagdhaus Calmuth hinter Schloss Marienfels und Haus Herresberg**

späthistoristisches Landhaus; fünfsichtige Risalitvilla, 1887, Arch. Otto March, Berlin-Charlottenburg, 1899/1900 Umbau und Erweiterung, 1906/07 und 1911 weitere Erweiterungen; zugehörig Nebengebäude und Parkanlage

**Meilenstein an der B 9 gegenüber der Auffahrt nach Unkelbach**

preußischer Ganzmeilenstein; Basaltobelisk mit seitlichen Sitzbänken, preußischer Adler als Gusseisenrelief, 1820

**Schloss Marienfels Kölner Straße (Denkmalzone)**

malerischer neugotischer Putzbau, 1859-63, Arch. Karl Schnitzler, Ausstattung; Nebengebäude; Park, 1862/63 nach Plan von Schnitzler

**Wegekreuz südlich von Remagen**

Nischentyp, bez. 1711

**Remagen - Kripp**

**Kath. Pfarrkirche St. Johannes Nepomuk Quellenstraße 71**

zweischiffige neugotische Backsteinhalle, 1900-03, Architekt Caspar Clemens Pickel, Düsseldorf; Grabkreuze, Ende 18. Jh.; Schwengelpumpe, 19. Jh.

**Quellenstraße**

auf dem Friedhof: Mausoleum, Oktogon mit Tambour, um 1900

**Quellenstraße 34**

Alte Kapelle, barocker Saalbau, 1768-72, profaner Umbau 1910

**Quellenstraße 101A**

Kapelle zur schmerzhaften Muttergottes, kleiner Saalbau, Ende 19. Jh.

**Remagen - Oberwinter**

**Ev. Kirche Hauptstraße 80**

barocker Saalbau, bez. 1721, Dachreiter 1752; Gesamtanlage mit ev. Pfarrhäusern Am Yachthafen 12 und Hauptstraße 82; Eingangsbogen zum ev. Friedhof, urspr. Anfang 16. Jh.

**Kath. Pfarrkirche St. Laurentius Laurentiusstraße 3**

spätgotischer Chor, Anfang 16. Jh.; neugotischer Tuffquaderbau, 1865/66, Architekt Vinzenz Statz, Köln; Grabkreuze, 18. Jh.; Wegekreuz, Nischentyp, bez. 1693; Gesamtanlage mit kath. Pfarrhaus Am Yachthafen 14

**Am Friedrichsberg/ Ecke Am Bergquell**

auf dem Friedhof: spätklassizistische Grabmäler, 1850er Jahre; Grabmal mit Engel; Wegekreuz bez. 1788; Friedhofstor bez. 1808

**Am Hahnsberg 22**

späthistoristische Villa, 1904

**Am Hahnsberg 37**

Putzbau, bayerisch-alpenländischer Stil, 1901

**Am Yachthafen 10**

ehem. Burghaus, dreigeschossiges Fachwerkhaus, tlw. massiv, bez. 1776, im Kern wohl 17. Jh., Fachwerkanbau, Stadtmauertor

**Ankergasse 8**

barocker Mansardwalmdachbau, bez. 1780 und 1781

**Hardtweg**

Wegekreuz, Nischentyp, bez. 1767

**Hauptstraße 26**

Tuffsteinvilla, Buchsbaumgarten; Gesamtanlage

**(an) Hauptstraße 68**

Torbogen, 18. Jh.

**Hauptstraße 73**

Fachwerkhaus, tlw. massiv, bez. 1703

**Hauptstraße 82**

Pfarrhaus, Fachwerkbau, tlw. massiv, Krüppelwalmdach, bez. 1829, wohl älter; rückwärtig Fachwerktrakt; zwei Grabplatten, 18. Jh., Grabstein; Gesamtanlage mit ev. Kirche

**Hauptstraße 87**

ehem. Rathaus, Fachwerkhaus, Ständerbau, bez. 1623, Pützgasse: Torfahrt, 19. Jh.; Hauptstraße: jüngerer Fachwerkhaus, tlw. massiv, gehört zu Nr. 89

**Hauptstraße 89**

Fachwerkhaus, tlw. massiv, bez. 1715

**Hauptstraße 90**

Fachwerkhaus, tlw. massiv, bez. 1788

**Hauptstraße 99**

Rathaus, Putzbau, bez. 1841; Kreuz, Nischentyp, bez. 1701

**Hauptstraße 102**

Fachwerkhaus, 18./19. Jh.

**Hauptstraße 105/107**

Gasthof "Zum Schwanen", reicher Fachwerkbau, bez. 1671

**Hauptstraße 113**

Fachwerkhaus, 17. Jh.

**Hauptstraße 116**

Hotel Stein, Backsteinbau, Mansardwalmdach, Ende 19. Jh.

**Hauptstraße 135**

Putzbau, Neurenaissance, bez. 1861

**Holundergässchen 1**

Fachwerkhaus, verputzt, bez. 1508

**(bei) Kräuselgässchen 3**

schmiedeeiserner Gartenpavillon

**Laurentiusstraße 2**

Fachwerkhaus, tlw. verputzt, Krüppelwalmdach, 18. Jh.

**Mauerstraße 2**

Backsteinvilla, bez. 1896; Gesamtanlage mit Garten

**Pferdeweg 5**

Torbau, dreigeschossiges Fachwerkhaus, tlw. massiv, bez. 1779

**Pützgasse/ Ecke Hauptstraße**

Brunnen, mit schmiedeeiserner Schwengelpumpe, bez. 1780

**Remagen - Oberwinter-Bandorf**

**Im Winkel 5**

Fachwerkhaus, 18./19. Jh.

**Turmweg 32**

Zehnturm, dreigeschossiger Massivbau, bez. 1657

**Remagen - Oberwinter-Rolandseck**

**Am Kasselbach 2**

ein- bzw. zweigeschossiger spätklassizistischer Putzbau, Mitte 19. Jh.

**Am Kasselbach 4**

spätklassizistische Putzvilla; Gesamtanlage mit Garten

**Am Kasselbach 5**

Backsteinvilla, Art der Schweizerhäuser

**Bonner Straße 11**

zweieinhalbgeschossiger Mansardwalmdachbau, Treppentürmchen, spätes 19. Jh.

**Bonner Straße 20**

Putzvilla, um 1900/10

**Bonner Straße 24**

späthistoristische Putzvilla, um 1900

**Hans-Arp-Allee 1**

Bahnhof Rolandseck, Putzbau mit gusseisernen Balkonen, um 1855/56; Bahnhofshäuschen, verschiefert bzw. Schieferbruchstein, 1920er Jahre; Gesamtanlage; Wegekreuz, bez. 1671 und 1930 (erneuert)

**Gemarkung**

**Gothestein im Wald**

Postament, bez. 1905

**Remagen - Oedingen**

**Kath. Pfarrkirche St. Gertrudis Wachtbergstraße 62**

neugotischer Saalbau, 1909/10

**(bei) Im Wotanger 4**

Wegekreuz, Nischentyp, 18. Jh.

**Kapellenstraße 11**

Friedhofskapelle, ehemalige Pfarrkirche St. Gertrud, Saalbau, im Kern 13. Jh.; fünf Grabkreuze, 18. Jh.; Gesamtanlage mit Friedhof

**Wachtbergstraße 50**

Fachwerkhhaus, tlw. massiv, verputzt, Krüppelwalmdach, 1. Hälfte 19. Jh.

**Gemarkung****Wegekreuz südlich des Ortes**

Nischentyp, 19. Jh.; zweites Kreuz, bez. 1510

**Remagen - Rolandswerth****Am Humboldtstein o. Nr.**

neugotischer Putzbau, Mitte 19. Jh.; Gesamtanlage mit Garten

**Brunnenstraße 1**

Wasserwerk Rolandswerth, Backsteinbau, bez. 1900

**Brunnenstraße 16**

katholische Kapelle, Backsteinbau, 1865

**Brunnenstraße/ Ecke Am Schwedenkreuz**

Wegekreuz, Nischentyp, bez. 1624

**Mainzer Straße**

Turm, 19. Jh.

**Mainzer Straße**

Brunnen, Becken bez. 1809

**Mainzer Straße 14**

Villa Rolandseck, spätklassizistische Putzvilla, Neurenaissance, Aussichtsplattform, bez. 1888; Gesamtanlage mit Garten

**Mainzer Straße 16/18**

Rolandshof, frühklassizistischer dreigeschossiger Putzbau, 1. Hälfte 19. Jh.; Gesamtanlage mit Hofbau

**Mainzer Straße 28/30**

ehem. Botschaft der Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken (UdSSR)/Sowjetunion, zweiteiliger Hotelkomplex, Mitte 19. Jh., fünfschiger pilastergegliederter Bauteil Ende 19. Jh.

**Gemarkung****Franziskanerinnenkloster Rolandswerth auf der Insel Nonnenwerth**

barocke (auch Nonnen-) Klosteranlage, 1773-75, Architekt Nikolaus Lauxem, Koblenz; Kirche St. Clemens; Saalbau mit Pilastern instrumentiert, Volutengiebel (17), großer Dachreiter; Klosteranlage mit Kreuzgang, dreigeschossiger Mansardwalmdachbau, rheinseitige Erweiterung 19. Jh.; Wappen; barocker Garten, Schulbau; Gesamtanlage

**Humboldtsturm in der Nähe des Rolandsbogens**

Wohnturm; neugotischer Bruchsteinbau, 1848, Architekt Ernst Friedrich Zwirner, Köln

**Rolandsbogen südlich der Ortslage**

ehemalige Burg Rolandseck, Reste der 1122 erbauten, 1475 zerstörten Burg, 1840 Wiederaufbau der 1839 eingestürzten Ruine 1839, Dombaumeister Ernst Friedrich Zwirner, Köln; Brücke zur Burg Rolandseck bzw. Rolandsbogen, Zwingermauer; Gesamtanlage

## Remagen - Unkelbach

### Kath. Pfarrkirche St. Remigius Schulstraße

neugotische Backsteinbasilika, 1900; Friedhof, barocke Grabsteine

### Am Bach 12

Hofreite; Fachwerkhaus, 18. Jh.

### Am Lindengarten/ Ecke Am Mühlenweg 1

Hofreite; Fachwerkhaus, Ständerbau, 18. Jh. oder älter

### Am Zehnthof 2

Hofreite, 19. Jh., Fachwerkhaus, tlw. massiv, Fachwerkerker 17. Jh.

### Am Zehnthof/ Ecke Am Bach

Wegekreuz, Nischentyp, wohl 18. Jh.

### Oberdorfstraße 2

Fachwerkhaus, Mansarddach, Backsteinscheune; Gesamtanlage

### Oberdorfstraße 12

Streckhof; Fachwerkhaus, Ständerbau, bez. 1739; Fachwerkhaus, tlw. massiv, 18. Jh., Umbau 19. Jh.

### Schulstraße 1

Fachwerkhaus, bez. 1717

### Schulstraße 2

Fachwerkhaus, abgewalmtes Mansarddach, bez. 1754

### Schulstraße 3

Fachwerkhaus, Mansarddach, 18. Jh.

### (bei) Schulstraße 20

Wegekreuz, Nischentyp, wohl 18. Jh.

### Sebastianusstraße

Wegekreuz, Nischentyp, bez. 1776

## Gemarkung

### Forsthaus Unkelbrücker Mühle am östlichen Ortseingang

Hofgruppe; Krüppelwalmdachbau, bez. 1721 oder 1771, Fachwerkremise, tlw. massiv

### Haus Ernich südöstlich von Unkelbach, in der Nähe der B 9

klassizistischer Mansardwalmdachbau, 20. Jh., Gesamtanlage mit Park

### Heilighäuschen Am Unkelstein

darin mittelalterliche Inschrifttafel, bez. 1409

### Wegekreuz südlich von Unkelbach

Nischentyp, bez. 1722

## Rodder

### Kath. Kapelle St. Quirinus Hauptstraße 7

Saalbau, 1903; Türeinfassung bez. 1745 (Vorgängerbau)

6.2. Tabellen und Rechnungen

Wärmelastrechnung Wohnquartier

Arbeitsblätter, nach einzelnen Quartieren, Handbuch

Jahr	1913-1949	1949-1979	1979-1986	1987-1991	1991-1996	1996-2000	2001-2004	2005-2009	2009-Ausde	Gesamt
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Gesamt</b>	12	22	22	17	46	7	34	13	0	172
<b>n. Gesamt</b>	19%	30%	30%	10%	23%	5%	20%	8%	0%	100%

Jahr	1949-1979	1979-1986	1987-1991	1991-1996	1996-2000	2001-2004	2005-2009
...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Gesamt</b>	115.000	141.436	153.046	133.362	161.458	163.344	133.869
<b>Gesamt</b>	115.000	141.436	153.046	133.362	161.458	163.344	133.869

Struktur	Werte
...	...
<b>Gesamt</b>	115.000

Parameter	Wert
...	...
<b>Gesamt</b>	115.000

Parameter	Wert
...	...
<b>Gesamt</b>	115.000

Umfrageergebnisse Gewerbepark Remagen Süd

Firma	Fläche m²	Dachfläche belegt	Heizung Aktuell	Heizzeiten	Abwärme	Wechsel überlet	Was ist zum Wechsel nötig	Einstellung gegenüber WN	Anschluss denkbar
1	2344	nein	Gas und Solarthermie	Winter	nein	nein, 12 und 7 Jahre alte	wirtschaftlich ökologisch	-	nein
2	646	nein	Gas	Winter; tagsüber	nein		Wirtschaftlich ökologisch	grundsätzlich offen	grundsätzlich denkbar
3	3580	teilweise	Gas	Winter; tagsüber	Nein	2021 erneuert	wirtschaftlich	neutral	abhängig von Bedingungen
4	5796	nein	Gas	Oktober-April 0	Nein	Geplant 2024	ökologisch; wirtschaftlich	Sehr positiv	vermutlich von Vermieterseite nein
5	7308	komplette Dachfläche	Gas	Sommer & Winter durchgehend	Nein	Nein	ökologisch; mehr wirtschaftlich	nicht abgeneigt	abhängig von Bedingungen
6	688	ja	Gas	tagsüber	Nein	In naher Zukunft	ökologisch; wirtschaftlich	Warum nicht	Kostenfrage
7	513	nein	Gas	Heizperioden 6-19 werktags	Nein	Neue Gas-Brennwert-Anlage	ökologisch; wirtschaftlich	Neutral	Ja, abhängig von Ökologie und Ökonomie.
8	420	teilweise	Gas	durchgehend	Nein	erneuerung überlegt	wirtschaftlich	positiv aus ökologischer Sicht	Nicht ausgeschlossen
9	240	nein	Gas	durchgehend	Nein	erneuerung überlegt	wirtschaftlich	positiv aus ökologischer Sicht	Nicht ausgeschlossen



Bewertungsmatrix Techniken						
Kriterium (Gewichtung 1-5)	Versorgungssicher (5)	Vor Ort Umsetzbar (5)	Wirtschaftlich (4)	Umweltfreundlich (4)	Effizient (3)	Gesamtpunktzahl
Wärmepumpen	5	4	4	4	4	89
Oberflächennahe Geothermie; Grundwasserwärme	5	4	4	4	4	89
Biomasse	4	4	4	4	4	84
Wärmespeicher	4	4	4	4	4	84
Potential vor Ort neues Klärwerk	4	3	5	4	4	83
Potential vor Ort Wertstoffcenter & Betonwerke Kripp	4	4	4	4	3	81
Solarthermie	3	4	4	4	3	76
Wertstoffzentrum	4	3	4	3	4	75
Potential vor Ort Rheinwasser	4	3	3	4	3	72
65% EE aus Netz (Wärmepumpe, Biomasse, Hybridheizung, Wärmenetz) etc.	4	3	3	2	4	67
Gewichtung 1-5	5	5	4	4	3	91

## CO2 Bilanz

Wärmeerzeugung 17.777.000 kWh  
 CO2 Faktor Gas/Öl 0,230 kg/kWh

Wärmeversorgung	Ist-Zustand	klassische Nahwärme	Anergienetz
CO2 Ausstoß [t/Jahr]	4.089	570	1.146

Bewertungsmatrix Netztypus						
Kriterium (Gewichtung 1-5)	Versorgungssicher (5)	Vor Ort Umsetzbar (5)	Wirtschaftlich (4)	Umweltfreundlich (4)	Effizient (3)	Gesamtpunktzahl
Fernwärme	5	2	3	2	3	64
Klassische Nahwärme	5	3	4	4	4	84
Anergienetz	5	2	3	5	5	82
Gewichtung 1-5	5	5	4	4	3	91



### 6.3. Simulationsergebnisse klassische Nahwärme

Matthias Kohler (TH - Köln)

## Ergebnisse

### Wärmenetz Remagen: klassische Nahwärme

Zusammenfassung und Varianten
Wirtschaftlichkeit
Details

#### Zusammenfassung und Varianten

Variantenvergleich

Zusammenfassung
Energiezentrale
Wirtschaftlichkeit

##### Photovoltaik

klassische Nahwärme	
Installierte Leistung	1.700 kW <sub>p</sub>
Kollektorfläche	10.000 m <sup>2</sup>
Erzeugter Strom	1.663 MWh
Volllaststunden	978 h/Jahr
Abgeregeltes Erzeugungspotential	0 MWh

##### Biomasse-Kessel 1

klassische Nahwärme	
Nennwärmeleistung	3.000 kW <sub>th</sub>
Erzeugte Wärme	1.515 MWh
Brennstoffbedarf	1.683 MWh
Brennstoff	Biomasse
Volllaststunden	505 h/Jahr

##### Wärmequelle 1

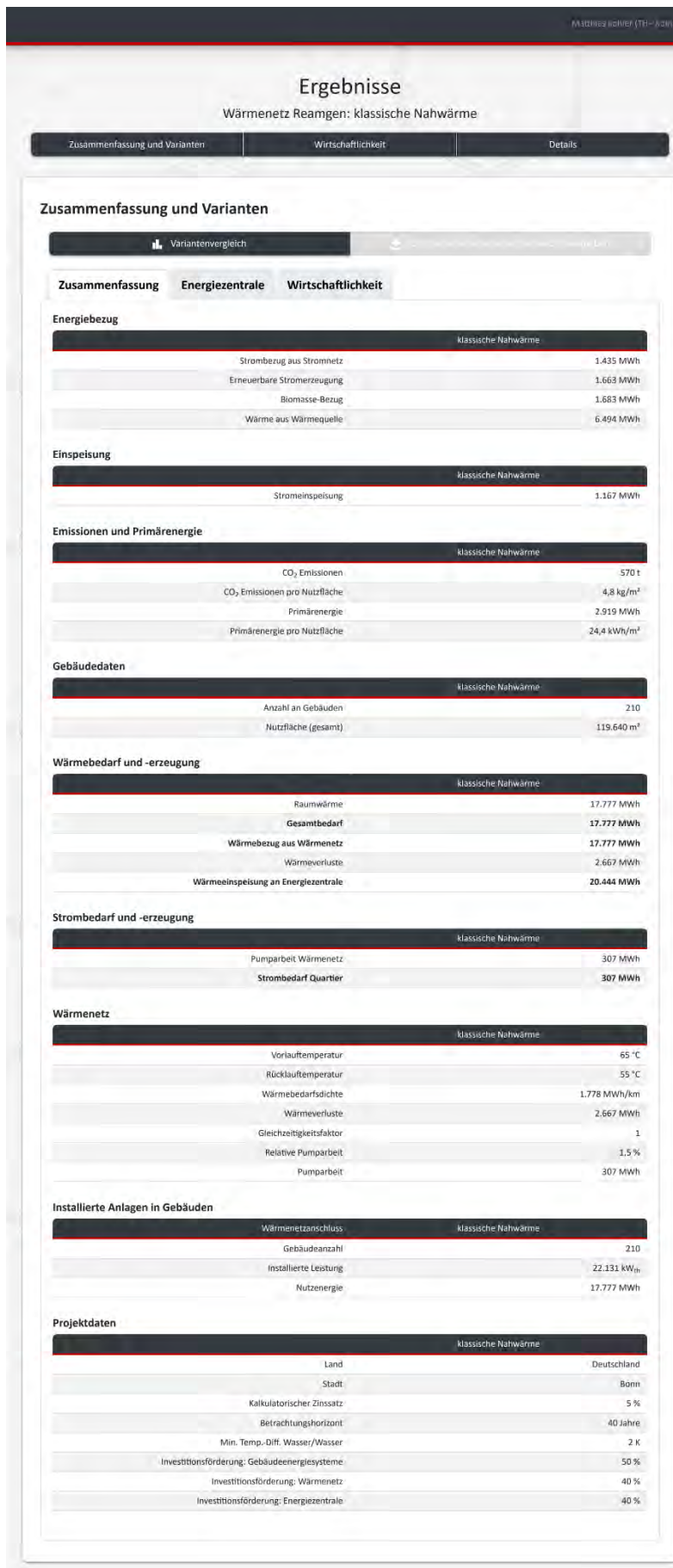
klassische Nahwärme	
Wärmeübertrager-Kapazität	2.000 kW
Erzeugte Wärme	6.494 MWh
Strombedarf	1.624 MWh

##### Geothermie-Kollektoren 1

klassische Nahwärme	
Entzugsleistung	2.000 kW
Erzeugte Wärme	12.522 MWh
Strombedarf	0 MWh

##### Wärmespeicher

klassische Nahwärme	
Speicherkapazität	243.625 kWh
Eingespeicherte Energie	2.801 MWh
Ausgespeicherte Energie	2.713 MWh
Speichervolumen	10.491 m <sup>3</sup>
Vollladezyklen	11



MIDEMAS KUMU (TM - FOM)

## Ergebnisse

Wärmenetz Remagen: klassische Nahwärme

Zusammenfassung und Varianten
Wirtschaftlichkeit
Details

### Zusammenfassung und Varianten

Variantenvergleich

Zusammenfassung
Energiezentrale
Wirtschaftlichkeit

#### Zusammenfassung

Klassische Nahwärme	
Investition (Annuität)	- 1.912.099 €/a
Energiekosten	- 514.650 €/a
Wartungskosten	- 276.655 €/a
CO <sub>2</sub> -Kosten	- 113.904 €/a
Förderung	716.780 €/a
Pauschalkosten (Annuität)	- 614.164 €/a
Erlöse	2.037.157 €/a
<b>Jährliche Zahlung</b>	<b>- 677.535 €/a</b>
Jährliche Zahlung pro Nutzfläche	- 5,7 €/m <sup>2</sup>

#### Investition

Klassische Nahwärme	
Gebäudeenergiesysteme	5.266.156 €
Sanierungsmaßnahmen	678.300 €
Wärmenetz	14.000.000 €
Energiezentrale	10.165.514 €
<b>Summe</b>	<b>30.109.970 €</b>
<b>Summe (Annuität)</b>	<b>1.912.099 €/a</b>

#### Energiekosten

Klassische Nahwärme	
Strombezug	430.500 €/a
Biomasse	84.150 €/a
Wärmequelle 2	0 €/a
<b>Summe</b>	<b>514.650 €/a</b>

#### Wartungskosten

Klassische Nahwärme	
Wartungskosten Wärmenetz	140.000 €/a
Wartungskosten Energiezentrale	136.655 €/a
<b>Summe</b>	<b>276.655 €/a</b>

#### CO<sub>2</sub>-Kosten

Klassische Nahwärme	
CO <sub>2</sub> -Kosten	113.904 €/a
<b>Summe</b>	<b>113.904 €/a</b>

#### Förderung

Klassische Nahwärme	
Gebäudeenergiesysteme	2.633.078 €
Wärmenetz	5.600.000 €
Energiezentrale	4.066.206 €
<b>Summe</b>	<b>12.299.284 €</b>
<b>Summe (Annuität)</b>	<b>716.780 €/a</b>

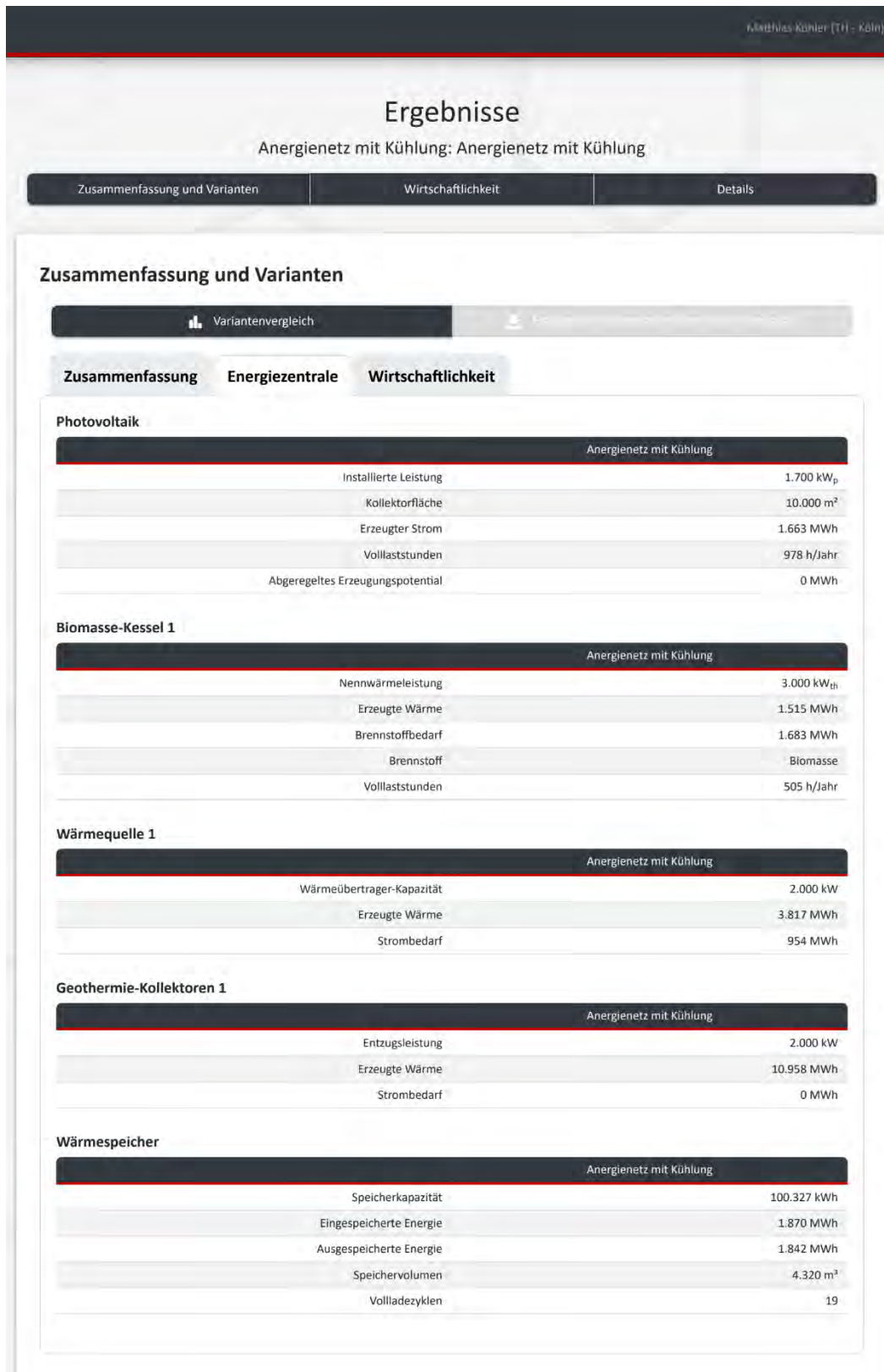
#### Pauschalkosten

Klassische Nahwärme	
Planungskosten	3.010.997 €
Lieferung, Montage und Inbetriebnahme	3.010.997 €
Mess- und Regelungstechnik	4.516.496 €
Unvorhergesehene Kosten	0 €
<b>Summe</b>	<b>10.538.490 €</b>
<b>Summe (Annuität)</b>	<b>614.164 €/a</b>

#### Erlöse

Klassische Nahwärme	
Stromeinspeisung	81.690 €/a
Wärmebedarf	1.955.467 €/a
<b>Summe</b>	<b>2.037.157 €/a</b>

## 6.4. Simulationsergebnisse Anergienetz



# Ergebnisse

## Anergenetz mit Kühlung: Anergenetz mit Kühlung

Zusammenfassung und Varianten

Wirtschaftlichkeit

Details

### Zusammenfassung und Varianten

Variantenvergleich

Zusammenfassung

Energiezentrale

Wirtschaftlichkeit

#### Energiebezug

Anergenetz mit Kühlung	
Strombezug aus Stromnetz	3.083 MWh
Erneuerbare Stromerzeugung	1.663 MWh
Biomasse-Bezug	1.683 MWh
Wärme aus Wärmequelle	3.817 MWh

#### Einspeisung

Anergenetz mit Kühlung	
Stromeinspeisung	1.029 MWh

#### Emissionen und Primärenergie

Anergenetz mit Kühlung	
CO <sub>2</sub> Emissionen	1.146 t
CO <sub>2</sub> Emissionen pro Nutzfläche	9,6 kg/m <sup>2</sup>
Primärenergie	5.885 MWh
Primärenergie pro Nutzfläche	49,2 kWh/m <sup>2</sup>

#### Gebäudedaten

Anergenetz mit Kühlung	
Anzahl an Gebäuden	210
Nutzfläche (gesamt)	119.640 m <sup>2</sup>

#### Wärmebedarf und -erzeugung

Anergenetz mit Kühlung	
Raumwärme	17.777 MWh
<b>Gesamtbedarf</b>	<b>17.777 MWh</b>
Stromeinsatz für Netz-Wärmepumpen	2.437 MWh
<b>Wärmebezug aus Wärmenetz</b>	<b>15.340 MWh</b>
Wärmeverluste	923 MWh
<b>Wärmeinspeisung an Energiezentrale</b>	<b>16.263 MWh</b>

## Strombedarf und -erzeugung

Anergienetz mit Kühlung	
Klimatisierung	8.894 MWh
<b>Gesamtbedarf</b>	<b>8.894 MWh</b>
Kälteerzeugung durch Geothermiesonden	8.894 MWh

## Strombedarf und -erzeugung

Anergienetz mit Kühlung	
Betriebsstrom aller Gebäude	2.437 MWh
<b>Strombezug aller Gebäude</b>	<b>2.437 MWh</b>
Pumparbeit Wärmenetz	325 MWh
<b>Strombedarf Quartier</b>	<b>2.762 MWh</b>

## Betriebsstrom

Anergienetz mit Kühlung	
Netz-Wärmepumpen	2.437 MWh
<b>Betriebsstrom aller Gebäude</b>	<b>2.437 MWh</b>

## Wärmenetz

Anergienetz mit Kühlung	
Netzlänge	10.050 m
Vorlauftemperatur	30 °C
Rücklauftemperatur	15 °C
Wärmebedarfsdichte	1.769 MWh/km
Wärmeverluste	923 MWh
Gleichzeitigkeitsfaktor	1
Relative Pumparbeit	2 %
Pumparbeit	325 MWh

## Installierte Anlagen in Gebäuden

Wärmenetzanschluss		Anergienetz mit Kühlung	
Gebäudeanzahl	210		
Installierte Leistung	19.241 kW <sub>th</sub>		
Nutzenergie	15.340 MWh		

Wärmepumpe		Anergienetz mit Kühlung	
Gebäudeanzahl	210		
Installierte Leistung	11.560 kW <sub>th</sub>		
Nutzenergie	9.748 MWh		
Strombedarf	2.437 MWh		
Jahresarbeitszahl	4		

Geothermiesonden		Anergienetz mit Kühlung	
Gebäudeanzahl	38		
Installierte Leistung	20.800 kW <sub>th</sub>		
Nutzenergie	8.894 MWh		

## Projektdaten

Anergienetz mit Kühlung	
Land	Deutschland
Stadt	Bonn
Kalkulatorischer Zinssatz	5 %
Betrachtungshorizont	20 Jahre
Min. Temp.-Diff. Wasser/Wasser	2 K
Investitionsförderung: Gebäudeenergiesysteme	50 %
Investitionsförderung: Wärmenetz	40 %
Investitionsförderung: Energiezentrale	40 %

Müller & Partner (TH - Köln)

## Ergebnisse

Anergienetz mit Kühlung: Anergienetz mit Kühlung

Zusammenfassung und Varianten
Wirtschaftlichkeit
Details

### Zusammenfassung und Varianten

Variantenvergleich

Zusammenfassung
Energiezentrale
Wirtschaftlichkeit

#### Zusammenfassung

Anergienetz mit Kühlung	
Investition (Annuität)	- 5.402.266 €/a
Energiekosten	- 1.009.050 €/a
Wartungskosten	- 498.704 €/a
CO <sub>2</sub> -Kosten	- 229.250 €/a
Förderung	3.054.147 €/a
Pauschalkosten (Annuität)	- 2.275.753 €/a
Erlöse	2.916.877 €/a
<b>Jährliche Zahlung</b>	<b>- 3.443.999 €/a</b>
Jährliche Zahlung pro Nutzfläche	- 28,8 €/m <sup>2</sup>

#### Investition

Anergienetz mit Kühlung	
Gebäudeenergiesysteme	59.202.714 €
Sanierungsmaßnahmen	678.300 €
Wärmenetz	14.070.000 €
Energiezentrale	7.080.151 €
<b>Summe</b>	<b>81.031.165 €</b>
<b>Summe (Annuität)</b>	<b>5.402.266 €/a</b>

#### Energiekosten

Anergienetz mit Kühlung	
Strombezug	924.900 €/a
Biomasse	84.150 €/a
Wärmequelle 2	0 €/a
<b>Summe</b>	<b>1.009.050 €/a</b>

#### Wartungskosten

Anergienetz mit Kühlung	
Wartungskosten Gebäudeenergiesysteme	252.202 €/a
Wartungskosten Wärmenetz	140.700 €/a
Wartungskosten Energiezentrale	105.802 €/a
<b>Summe</b>	<b>498.704 €/a</b>

#### CO<sub>2</sub>-Kosten

Anergienetz mit Kühlung	
CO <sub>2</sub> -Kosten	229.250 €/a
<b>Summe</b>	<b>229.250 €/a</b>

#### Förderung

Anergienetz mit Kühlung	
Gebäudeenergiesysteme	29.601.357 €
Wärmenetz	5.628.000 €
Energiezentrale	2.832.060 €
<b>Summe</b>	<b>38.061.417 €</b>
<b>Summe (Annuität)</b>	<b>3.054.147 €/a</b>

#### Pauschalkosten

Anergienetz mit Kühlung	
Planungskosten	8.103.116 €
Lieferung, Montage und Inbetriebnahme	8.103.116 €
Mess- und Regelungstechnik	12.154.675 €
Unvorhergesehene Kosten	0 €
<b>Summe</b>	<b>28.360.908 €</b>
<b>Summe (Annuität)</b>	<b>2.275.753 €/a</b>

#### Erlöse

Anergienetz mit Kühlung	
Stromeinspeisung	72.030 €/a
Wärmebedarf	1.955.467 €/a
Kältebedarf	889.380 €/a
<b>Summe</b>	<b>2.916.877 €/a</b>

## 7. Literaturangaben

- [1] Deutsche Energie-Agentur: DENA-GEBÄUDEREPORT 2023. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand., 2022.  
[https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/dena\\_Gebaeudereport\\_2023.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/dena_Gebaeudereport_2023.pdf), abgerufen am: 30.10.2023
- [2] EMAX Magazin: Heizungen. Öl-Brennwertkessel: Funktionen & Kosten, 2021.  
<https://www.emax-haustechnik.de/magazin/oel-brennwertkessel-funktion-und-kosten/#:~:text=Die%20Geschichte%20der%20Ölheizung%20mit,Öl%20nach%20DIN%204708%20genormt>, abgerufen am: 30.10.2023
- [3] Vaillant Deutschland GmbH & Co. KG: Vorlauftemperatur: Fußbodenheizung & Heizanlage richtig einstellen. <https://www.vaillant.de/heizung/heizung-verstehen/tipps-rund-um-ihre-heizung/vorlauf-rucklauf-temperatur/>, abgerufen am: 30.10.2023
- [4] Bundesverband Wärmepumpe e.V.: Wie funktioniert die Wärmepumpe?  
<https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>, abgerufen am: 23.10.2023
- [5] Bosch Thermotechnik GmbH: Die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen und der COP.  
<https://www.bosch-homecomfort.com/de/de/wohngebaeude/wissen/heizungsratgeber/waermepumpe/cop-waermepumpe/>, abgerufen am: 30.10.2023
- [6] Bundesverband Wärmepumpe e.V.: Großwärmepumpen.  
<https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/grosswaermepumpen/>, abgerufen am: 30.10.2023
- [7] GEWI GmbH: Biomasse. <https://gewi.energy/erneuerbare-energien/biomasse/>, abgerufen am: 02.11.2023
- [8] Bosch Thermotechnik GmbH: Wärmepumpe mit Photovoltaikanlage Kombinieren.  
<https://www.bosch-homecomfort.com/de/de/wohngebaeude/wissen/heizungsratgeber/waermepumpe/waermepumpe-mit-photovoltaik/>, abgerufen am: 08.11.2023
- [9] Bundesverband Wärmepumpe e.V.: Wärmenetze, Siedlung und Quartiere,  
<https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/waermenetze-siedlung-und-quartiere/>, abgerufen am: 30.10.2023
- [10] Die Agentur für Erneuerbare Energien e.V.: Die Wärmeversorgung der Zukunft in ländlichen Regionen, 2016. <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken?page=12>, abgerufen am: 30.10.2023
- [11] DR. Rüdiger Paschotta: Fernwärme, 2010. <https://www.energie-lexikon.info/fernwaerme.html>, abgerufen am: 23.10.2023
- [12] Bundesverband Wärmepumpe e.V.: Grafiken. Funktionsweise einer Wärmepumpe.  
<https://www.waermepumpe.de/presse/mediengalerie/grafiken/>, abgerufen am: 30.10.2023



- [13] DR. Rüdiger Paschotta: Nahwärme, 2012. <https://www.energie-lexikon.info/nahwaerme.html>, abgerufen am: 30.10.2023
- [14] Matthias Sulzer, D. H.: Grundlagen-/Thesen Kalte Fernwärme (Anergienetze), Luzern 2014. [https://www.researchgate.net/publication/262418798\\_Grundlagen-Thesen\\_Kalte\\_Fernwaerme\\_Anergienetze](https://www.researchgate.net/publication/262418798_Grundlagen-Thesen_Kalte_Fernwaerme_Anergienetze), abgerufen am: 30.10.2023
- [15] DR. Rüdiger Paschotta: Anergienetz, 2016. <https://www.energie-lexikon.info/anergienetz.html>, abgerufen am: 30.10.2023
- [16] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW). [https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente\\_Waermenetze/effiziente\\_waermenetze\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html), abgerufen am: 20.11.2023
- [17] Jefferson W. Tester, Bill Livesay, Brian J. Anderson: The Future of Geothermal Energy. Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century. Wissenschaftliche Bewertung, Massachusetts USA 2006. [https://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/future\\_geo\\_energy.pdf](https://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/future_geo_energy.pdf), abgerufen am: 30.20.2023
- [18] Kesselheld: Geförderte Wärme, die im Boden schlummert. <https://www.kesselheld.de/heizen-mit-erdwaerme/>, abgerufen am: 26.11.2023
- [19] Dirk Bohne: Technischer Ausbau von Gebäuden. Nachhaltige Gebäudetechnik, 2014. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-21437-1>, abgerufen am: 30.10.2023
- [20] ARD alpha: Wärme nutzen statt verschwenden. <https://www.ardalpha.de/wissen/umwelt/nachhaltigkeit/abwaerme-erneuerbare-energien-100.html>, abgerufen am: 08.11.2023
- [21] Michael Sterner u. Ingo Stadler: Energiespeicher. Bedarf, Technologien, Integration, 2014. <https://www.springerprofessional.de/energiespeicher-bedarf-technologien-integration/13316476>, abgerufen am: 26.11.2023
- [22] Dr. Armin Kraft, Dr. Marius Maximi: Wärmespeicher für Nah- und Fernwärmenetze. [https://enerko.de/wp-content/uploads/2021/03/210318-Waermespeicher-Kraft\\_IRES\\_final.pdf](https://enerko.de/wp-content/uploads/2021/03/210318-Waermespeicher-Kraft_IRES_final.pdf), abgerufen am: 20.11.2023
- [23] Verbraucherzentrale: Solarthermie: Solarenergie für Heizung und Warmwasser nutzen. <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/solarthermie-solarenergie-fuer-heizung-und-warmwasser-nutzen-5568>, abgerufen am: 02.11.2023
- [24] Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizient m.b.H.: Gemeinde Heek. Machbarkeitsstudie Nahwärmenetz Gewerbegebiet Bült. <https://taskforce.wiefm.eu/ergebnisse/machbarkeitsstudien/heek-gewerbegebiet/>, abgerufen am: 30.10.2023
- [25] Stadt Ludwigsburg: Kommunale Wärmeplanung. <https://www.ludwigsburg.de/start/leben+in+ludwigsburg/waermeplanung.html>, abgerufen am: 02.11.2023
- [26] Inges Gerdes: Hochtemperaturwärmepumpe und Wärmenetz. Wärmeenergie aus dem Flusswasser, 2012. <https://www.kka->

- online.info/artikel/kka\_Waermeenergie\_aus\_dem\_Flusswasser-1418893.html, abgerufen am: 30.10.2023
- [27] Dr. Erich Mands, Dr. Burkhard Scanner, Dipl.-Geol. Marc Sauer u. Dipl.-Geol. Edgar Grundmann: Grundwassergekoppelte Wärmepumpenanlage am Bonner Boden, 2010.  
[http://ubeg.de/Lit/bbr\\_Geo2010\\_74-80\\_Mands-Sanner.pdf](http://ubeg.de/Lit/bbr_Geo2010_74-80_Mands-Sanner.pdf), abgerufen am: 10.11.2023
- [28] Klaus W. König: Nahwärmenetz für Gewerbegebiet. ein Beitrag zur Energiewende, 2021.  
<https://www.ingenieurbau-online.de/news/newsdetail/nahwaermenetz-fuer-gewerbegebiet-ein-beitrag-zur-energiewende>, abgerufen am: 30.10.2023
- [29] Bundesverband Wärmepumpe e.V: Heizen und Kühlen mit Abwasser, 2009.  
[https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user\\_upload/waermepumpe/07\\_Publikationen/bwp-Heizen\\_und\\_Kuehlen\\_mit\\_Abwasser.pdf](https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/07_Publikationen/bwp-Heizen_und_Kuehlen_mit_Abwasser.pdf), abgerufen am: 08.11.2023
- [30] Stadt Remagen: Statistische Daten. [https://www.remagen.de/Rathaus-Buergerservice/Statistik\\_-\\_Wahlen/Statistische-Daten/?&d=1](https://www.remagen.de/Rathaus-Buergerservice/Statistik_-_Wahlen/Statistische-Daten/?&d=1), abgerufen am: 30.10.2023
- [31] Stadt Remagen: Standort, Information & Kontakt. [https://www.remagen.de/Wirtschaft-Stadtmarketing/Standort\\_-Information\\_-\\_Kontakt/](https://www.remagen.de/Wirtschaft-Stadtmarketing/Standort_-Information_-_Kontakt/), abgerufen am: 30.10.2023
- [32] Tom Hofer: Karte: Rheinisches Schiefergebirge. <https://www.deineberge.de/Gebirge/173/Rheinisches-Schiefergebirge#close>, abgerufen am: 30.10.2023
- [33] Klima.org: Klima in Remagen. <https://klima.org/deutschland/klima-remagen/>, abgerufen am: 30.10.2023
- [34] Rheinland Pfalz - Landesamt für Geologie und Bergbau: Kartenviewer. [https://mapclient.lgb-rlp.de/?app=lgb&view\\_id=10](https://mapclient.lgb-rlp.de/?app=lgb&view_id=10), abgerufen am: 30.10.2023
- [35] Wasserportal Rheinland-Pfalz: Wasserschutzzonen. <https://wasserportal.rlp-umwelt.de/servlet/is/2025/>, abgerufen am: 02.11.2023
- [36] Bundesamt für Naturschutz: Landschaftsschutzgebiete.  
<https://www.bfn.de/landschaftsschutzgebiete>, abgerufen am: 02.11.2023
- [37] LANIS: Geobasisinformationen der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland Pfalz.  
[https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste\\_naturschutz/index.php](https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste_naturschutz/index.php), abgerufen am: 30.10.2023
- [38] Stadt Remagen: Bebauungspläne. [https://www.remagen.de/Rathaus-Buergerservice/Bauen\\_-\\_Umwelt\\_-\\_Klimaschutz/Bauleitplanung/Bebauungsplaene/#BPlanRemagen](https://www.remagen.de/Rathaus-Buergerservice/Bauen_-_Umwelt_-_Klimaschutz/Bauleitplanung/Bebauungsplaene/#BPlanRemagen), abgerufen am: 30.10.2023
- [39] Stadt Remagen: Bebauungsplan NR. 10.27/07 "Gewerbegebiet 2", 2005.  
[https://www.remagen.de/images/001\\_2019\\_Rathaus\\_Buergerservice/Bauen\\_Umwelt/Bauleitplanung/Bebauungsplaene/Ortsbezirk\\_Remagen/10\\_27/10270700-Rechtsplan\\_Bebauungsplan.pdf](https://www.remagen.de/images/001_2019_Rathaus_Buergerservice/Bauen_Umwelt/Bauleitplanung/Bebauungsplaene/Ortsbezirk_Remagen/10_27/10270700-Rechtsplan_Bebauungsplan.pdf), abgerufen am: 30.20.2023
- [40] Stadt Remagen: Integriertes Klimaschutzkonzept der Stadt Remagen, Remagen 2021.  
[https://www.remagen.de/images/001\\_2019\\_Rathaus\\_Buergerservice/Bauen\\_Umwelt/Umwelt/Klimaschutzmanagement/Klimaschutzkonzept\\_Remagen\\_-\\_Originalversion\\_compressed.pdf](https://www.remagen.de/images/001_2019_Rathaus_Buergerservice/Bauen_Umwelt/Umwelt/Klimaschutzmanagement/Klimaschutzkonzept_Remagen_-_Originalversion_compressed.pdf), abgerufen am: 30.10.2023
- [41] Google: Satellitenkarte Remagen. <https://www.google.de/maps>, abgerufen am: 02.11.2023

- [42] Abwasserzweckverband untere Ahr: Einwohnerversammlung und Informationsveranstaltung, 2023. <https://www.aktiplan.de/sinziger-klaanlage-wird-nach-remagen-verlegt/>, abgerufen am: 08.11.2023
- [43] Stadt Remagen: Standort neuer Kläranlage, 2023. <https://www.aktiplan.de/sinziger-klaanlage-wird-nach-remagen-verlegt/>, abgerufen am: 08.11.2023
- [44] Europäische Kommission: COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE, THE COMMITTEE OF THE REGIONS AND THE EUROPEAN INVESTMENT BANK. A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, Brüssel 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>, abgerufen am: 30.10.2023
- [45] Robert Reichel u. Jan Walter: Kurzgutachten Kommunale Wärmeplanung, 2022. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte\\_12-2022\\_kurzgutachten\\_kommunale\\_waermeplanung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_12-2022_kurzgutachten_kommunale_waermeplanung.pdf), abgerufen am: 30.10.2023
- [46] Die Bundesregierung: Gesetz für Erneuerbares Heizen. Für mehr klimafreundliche Heizungen, 2023. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/neues-gebaeudeenergiegesetz-2184942>, abgerufen am: 30.20.2023
- [47] Umweltbundesamt u. BMWI: Energieeffizienz in Zahlen. Entwicklungen und Trends in Deutschland 2021, 2021. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-entwicklungen-und-trends-in-deutschland-2021.pdf>, abgerufen am: 30.10.2023
- [48] Energieagentur Rheinland Pfalz: Faktenpapier. Kommunale Wärmeplanung. [https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user\\_upload/kommunen/Faktenpapier\\_Kommunale\\_Waermeplanung-2.pdf](https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user_upload/kommunen/Faktenpapier_Kommunale_Waermeplanung-2.pdf), abgerufen am: 30.10.2023
- [49] Christian Brosig: Bitte um Feedback zur Bachelorarbeit. Email. Köln 2023, abgerufen am: 09.11.2023
- [50] Konzeptzentrum Kommunale Wärmeplanung: Literatur und Leitfäden. <https://www.kww-halle.de/wissen/themen-der-kommunalen-waermeplanung/literatur-und-leitfaeden>, abgerufen am: 09.11.2023
- [51] Energieagentur Rheinland Pfalz: Praxisleitfaden nahwärme, 10/16. [https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user\\_upload/Praxisleitfaeden/NWaerme\\_Gesamt.pdf](https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user_upload/Praxisleitfaeden/NWaerme_Gesamt.pdf), abgerufen am: 09.11.2023
- [52] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Kommunale Wärmeplanung. Praxisleitfaden, 12/21. [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/mum/intern/Dateien/Dokumente/2\\_Presse\\_und\\_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/mum/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf), abgerufen am: 09.11.2023
- [53] Eigene Darstellung: Abgeleitetes vorgehen Bachelorarbeit, abgerufen am: 09.11.2023
- [54] Hotmaps: Hotmaps. The open source mapping and planning tool for heating and cooling. <https://www.hotmaps-project.eu>, abgerufen am: 02.11.2023

- [55] nPro: Planungstool für Gebäude und Quartiere. Über nPro.  
<https://www.npro.energy/main/de/about-npro>, abgerufen am: 02.11.2023
- [56] BWL-lexikon: Kapitalwertmethode. <https://www.bwl-lexikon.de/wiki/kapitalwertmethode/>, abgerufen am: 08.11.2023
- [57] Zensus: Wie funktioniert der Zensus. Der moderne Zensus.  
[https://www.zensus2022.de/DE/Wie-funktioniert-der-Zensus/\\_inhalt.html#\\_76a8la8h6](https://www.zensus2022.de/DE/Wie-funktioniert-der-Zensus/_inhalt.html#_76a8la8h6), abgerufen am: 08.11.2023
- [58] QGIS: Funktionalitäten.  
[https://docs.qgis.org/3.28/de/docs/user\\_manual/preamble/features.html](https://docs.qgis.org/3.28/de/docs/user_manual/preamble/features.html), abgerufen am: 08.11.2023
- [59] Miro: Was ist Miro. <https://help.miro.com/hc/de/articles/360017730533-Was-ist-Miro->, abgerufen am: 09.11.2023
- [60] Matthias Kohler: Excel. Berechnungen
- [61] DENA: Gebäudereport 2016. [https://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/8162\\_dena-Gebaeudereport.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/8162_dena-Gebaeudereport.pdf), abgerufen am: 02.11.2023
- [62] Juliane Kaspers, Charlotta Maiworm, Felix Hoppe: Abschlußbericht. Rahmenbedingungen für Nahwärmenetze, 2019. <https://docplayer.org/166413075-Rahmenbedingungen-fuer-nahwaermenetze-abschlussbericht-100-klimaschutz.html>, abgerufen am: 20.11.2023
- [63] Hotmaps: web tool. <https://www.hotmaps-project.eu>, abgerufen am: 02.11.2023
- [64] Fertighaus Wet: Wohnfläche. Wie groß darf das Haus sein?  
<https://www.fertighauswelt.de/magazin/baulexikon/flaeche>, abgerufen am: 02.11.2023
- [65] online-Energieausweis: Statistiken zum Verbrauchsausweis Gewerbe. <https://online-energieausweis.org/verbrauchsausweis/statistiken-zum-verbrauchsausweis-gewerbe.php>, abgerufen am: 17.11.2023
- [66] nPro: Simulationsergebnisse. <https://acad.npro.energy>, abgerufen am: 26.11.2023