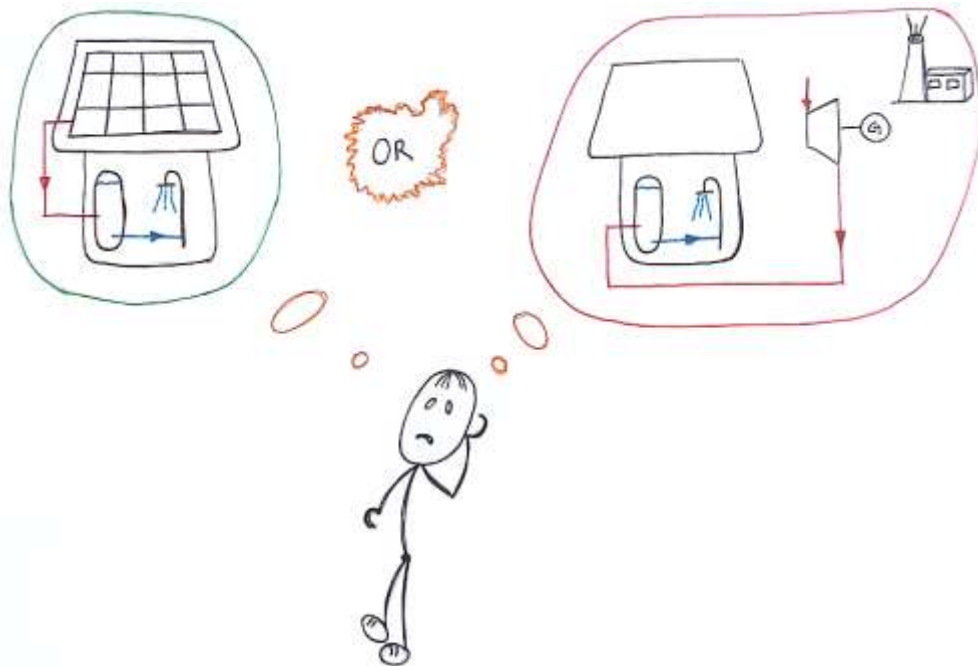


Abschlussbericht der Projektarbeit

Regenerative Wärmeerzeugung mit solarthermischen Kollektormodulen



Akronym:	Reg-Wärme Solarthermie
Themenfeld:	Analyse der Möglichkeit zur Verwendung von Solarthermie auf Gebäuden, um eine dezentrale Wärmeerzeugung für Brauchwasser zu realisieren und somit die zentrale Fernwärmeerzeugung in Kraftwerken zu reduzieren.
Autor:	Alexander Degen Josephsplatz 11 90403 Nürnberg E-Mail: degenal63850@th-nuernberg.de Tel.: 0159 02152314 Matrikelnummer: 2818521
Hochschule:	Technische Hochschule Georg Simon Ohm
Studiengang:	Maschinenbau und Versorgungstechnik Vertiefungsrichtung Energietechnik
Prüfer:	Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp
Korrekturleser:	Nikolai Ertelt
Abgabetermin:	Nürnberg, den 20.12.2018
Unterschrift:	<hr/>

Abstract

Diese Projektarbeit beschäftigt sich mit der Realisierbarkeit der Energiewende durch den Einsatz von solarthermischen Kollektormodulen zur autarken Erzeugung von Wärmeenergie. Hauptaufgabe ist die Simulation und Auswertung einer solarthermischen Anlage und dem damit verbundenem CO₂ Einsparpotential gegenüber einer Wärmeerzeugung aus Kraft- und Heizwerken.

Zuerst werden die Grundlagen zu solarthermischen Kollektoren geklärt und die Wahl eines geeigneten Moduls getroffen. Danach wird eine solare Strahlungsanalyse im Gebiet der Europäischen Metropolregion Nürnberg (EMN) durchgeführt. Anschließend wird ebenfalls für die Stadt Nürnberg eine Strahlungsanalyse erstellt und beide Ergebnisse miteinander verglichen. Dadurch soll festgestellt werden, ob benötigte Berechnungen anhand vorhandener Daten in der Region Nürnberg auch für die gesamte EMN sprechen. Als nächstes sind die vorhandenen Ergebnisse mit denen der im Jahr 2017 ausgekoppelten Wärme eines kommunalen Versorgers gegenüberzustellen. Jetzt wird eine solarthermische Analyse an einem gewählten Beispiel mithilfe einer anerkannten Simulation durchgeführt. Die vorhandenen Ergebnisse werden ausgewertet und in einer Vergleichsrechnung das CO₂ Einsparpotential in Bezug auf die Fläche der eingesetzten Kollektoren aufgezeigt. Dadurch kristallisiert sich ein Ergebnis heraus, welches eine Aussage über die Rentabilität oder nicht Rentabilität in Bezug auf die Energiewende treffen kann.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Formelverzeichnis	IX
1 Projektarbeit Energietechnik	1
1.1 Relevanz Projektarbeit	1
1.2 Motivation	1
1.3 Forschungsfragen.....	2
2 Solarthermie.....	3
2.1 Funktion Solarthermie	3
2.2 Kollektorbauarten	4
2.2.1 Flachkollektor.....	4
2.2.2 Vakuumröhrenkollektor	5
2.3 Abmaße Vakuumröhrenkollektor	6
3 Datengrundlage Solarstrahlung	8
3.1 Datenerhebung.....	8
4 Solarstrahlung EMN und Nürnberg	9
4.1 Mittelwertanalyse Strahlung EMN und Nürnberg.....	9
5 Datengrundlage N-ERGIE.....	12
5.1 Mittelwertanalyse Wärmelast Nürnberg.....	12
5.2 Datenerhebung CO ₂ Ausstoß im Jahr 2017 in Nürnberg	13
6 Regenerative Wärmegewinnung.....	14
6.1 Simulation Polysun	14
6.1.1 Geografische und meteorologische Daten	14
6.1.2 Schemata.....	15

6.1.3	Ergebnisübersicht	16
6.1.3.1	Systemübersicht Jahreswerte	16
6.1.3.2	Übersicht Solarthermie Jahreswerte	17
6.1.3.3	Komponentenübersicht Jahreswerte	17
6.1.4	Aufstellung der Kalkulation mit Polysun	19
6.1.4.1	Solarthermische Energie an das System.....	19
6.1.4.2	Energie der Wärmeerzeuger an das System.....	20
6.1.4.3	Solarer Deckungsanteil: Solarenergie an das System	20
6.1.4.4	Gesamt Stromverbrauch des Systems	21
6.1.4.5	Jahresbilanz Energieflussdiagramm.....	22
7	Flächenerhebung und vorhandene Gebäude.....	23
7.1	Datenerhebung.....	23
7.2	Auswertung der Daten.....	23
7.2.1	Auswertung bebaute Fläche	23
7.2.2	Auswertung gesamte Anzahl Gebäude.....	24
8	CO ₂ Einsparpotential	25
8.1	Vergleichsrechnung.....	25
8.1.1	Zusammenfassung der vorhandenen Daten	25
8.1.2	Rechnung	26
8.1.2.1	Prozentuale Fernwärmeersparnis durch den Einsatz eines Vakuurröhrenkollektors	26
8.1.2.2	Nutzbare Hausdachfläche	26
8.1.2.3	Benötigte Gesamtkollektorfläche.....	27
8.1.2.4	Prozentualer Anteil Kollektorfläche zur Dachfläche.....	27
8.1.2.5	CO ₂ Ersparnis.....	28
9	Fazit und Ausblick.....	29
9.1	Zusammenfassung und Fazit	29
9.2	Ausblick.....	29

10 Literaturverzeichnis..... 30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Aufbau Solarthermieanlage Heizwasser- oder Trinkwassererwärmung [3] ..	4
Abbildung 2.2 Flachkollektor [6]	5
Abbildung 2.3 Vakuumröhrenkollektor mit CPC – Spiegel [7].....	6
Abbildung 2.4 Vakuumröhrenkollektor Vitsol 300 – TM [8]	7
Abbildung 4.1 Mittelwerte Strahlungsleistung EMN	10
Abbildung 4.2 Mittelwerte Strahlungsleistung Nürnberg	10
Abbildung 4.3 Mittelwerte Strahlungsleistung EMN und Nürnberg	11
Abbildung 5.1 Mittelwerte Fernwärmelasten Nürnberg 2017	12

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1 Datenanalyse CO ₂ Ausstoß durch Kraft- und Heizwerke der N-ERGIE im Jahr 2017 [11].....	13
Tabelle 6-1 Geografische und meteorologische Daten Nürnberg Jahre 1996 – 2015 (Meteonorm Datenbank).....	14
Tabelle 7-1 nutzbare Flächen für Solarthermie [14].....	24
Tabelle 7-2 Bestand an Wohngebäuden und durchschnittliche Wohnfläche in Nürnberg Stand 2016 [13]	24
Tabelle 8-1 Daten Polysun Simulation für die Vergleichsrechnung	25
Tabelle 8-2 Daten Landesamt für Statistik für die Vergleichsrechnung [13] [14]	26
Tabelle 8-3 Daten N-ERGIE für die Vergleichsrechnung [10] [11].....	26

Abkürzungsverzeichnis

CPC	Compound Parabolic Concentrator
EMN	Europäische Metropolregion Nürnberg
FWA	Fernwärmeanschluss
FWN	Fernwärmeverbrauch Nürnberg
NASA	National Aeronautics and Space Administration
THN	Technische Hochschule Nürnberg

Formelverzeichnis

$A_{\text{Fläche,durchschnittlich}}$	Durchschnittliche Fläche eines Hauses in Nürnberg
$A_{\text{ges,Hausdach}}$	Gesamte zur Verfügung stehende Hausdachflächen in Nürnberg
AK_{einzel}	Kollektorfläche eines Kunden
AK_{ges}	Gesamte Kollektorfläche aller Kunden
Anz_{Kunden}	Anzahl der mit Fernwärme versorgten Kunden
$E_{\text{CO}_2,\text{jährlich}}$	Jährliches Einsparpotential an CO ₂
$F_{\text{ohne Kollektor}}$	Fernwärmelast aus Kraft- und Heizwerken
$K_{\text{Feldertrag}}$	Feldertrag des Kollektors
$M_{\text{CO}_2,\text{jährlich}}$	Menge an CO ₂ , welche von den Kraft- und Heizwerken in Nürnberg erzeugt wird
$P_{\text{Fernwärme}}$	Prozentualer Anteil Fernwärme aus Vakuumröhrenkollektor
$PA_{\text{Dach,nutzbar}}$	Prozentual nutzbare Fläche eines Hausdaches
$PKD_{\text{prozentual Kollektor,Dach}}$	Prozentualer Anteil Kollektorfläche zur Dachfläche

1 Projektarbeit Energietechnik

Zu Beginn wird die Relevanz der Projektarbeit für die Studierenden erläutert. Danach wird die Motivation des eigenen Projektes beschrieben. Abschließend werden noch die primären Projektfragen geklärt.

1.1 Relevanz Projektarbeit

Die Grundlage der Projektarbeit wird durch die Wahl der Vertiefungsrichtung geschaffen. Die Studierenden des sechsten Fachsemester Maschinenbaus Vertiefungsrichtung Energietechnik müssen ein Energietechnikprojekt absolvieren. Dieses findet an der Technischen Hochschule Nürnberg (THN) statt. Hierbei ist es den Studierenden selbst überlassen zu einem vorgeschlagenen Themengebiet ein passendes Thema zu finden. Die Themenwahl wird durch den betreuenden Professor Doktor Matthias Popp festgelegt. Die Fragestellung an die 19 Studierenden des Wintersemesters 18 / 19 lautet: „Ist es realisierbar den Energieverbrauch der Europäischen Metropolregion Nürnberg (EMN) bis zum Jahr 2030 zu 65 % und bis zum Jahr 2050 zu 80 % auf regenerative Versorgungssysteme umzustellen?“ Dadurch ergibt sich das Ziel in der EMN CO₂ durch intelligente Energiegewinnung zu reduzieren.

1.2 Motivation

Der Wandel des öffentlichen Gedankens von der Energiegewinnung aus fossilen Trägern hin zur Gewinnung aus regenerativen Trägern hat in den letzten Jahren den Ausbau von regenerativen Energieerzeugungsanlagen in Deutschland und in Europa stark vorangetrieben. Aus dem Blickwinkel der Energieerzeugung haben sich dabei standortspezifische Einzelanlagen an Beliebtheit erfreut. So sind Windkraftanlagen, sowie Photovoltaikanlagen in den Fokus gerückt. Diese erzeugen aber nur regenerativen Strom. Die zu ersetzenden Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen erzeugen neben der Elektrizität auch Fernwärme. Dieser beträgt zurzeit mit etwa 50 % einen weit größeren Anteil als die Elektrizität mit ungefähr [20] % [1]. Aus diesem Grund ist es wichtig neben der Energiewende auch die Wende im Fernwärmebereich zu betrachten und zu realisieren. Hier liegen noch nicht ausgeschöpfte Potentiale vor, welchen einen erheblichen Beitrag zur Realisierung der Energieumstellung und zur CO₂ Minderung beitragen können. Aus diesen Gründen wird die Fernwärmeerzeugung mittels Solarthermie in dieser Projektarbeit genauer betrachtet.

1.3 Forschungsfragen

Die vorrangigen Forschungsfragen dieser Projektarbeit sind:

- Erfassung Stand der Technik für die Ermittlung des Wirkungsgrades und die gängige Panel Größe
- Auftreffende Solarstrahlung im Gebiet EMN und in Nürnberg
- Erfassung des Wärmeverbrauches der Stadt Nürnberg für das Jahr 2017
- Erfassung des Wärmeverbrauches eines Haushaltes über das Jahr gesehen
- Berechnung möglicher Wärmegewinnung abhängig von der Jahreszeit
- Ermittlung durchschnittlicher Fläche von Hausdächern
- Feststellung von CO₂ Einsparpotential durch Reduzierung der Fernwärmelast anhand einer Vergleichsrechnung

2 Solarthermie

In diesem Kapitel wird grundlegend die Funktion der Solarthermie erläutert. Zudem sind gängige Wirkungsgrade am Stand von Forschung und Technik zu ermitteln. Außerdem sollen standardmäßige Panelgrößen herausgefunden werden, um die spätere Durchschnittsfläche eines Hausdaches damit auszustatten.

2.1 Funktion Solarthermie

In Systemen der Solarthermie wird der physikalische Vorgang der Strahlungsabsorption angewandt. Geschützt unter einem durchlässigen Glas liegt der Absorber. Dieser ist aus einem speziell beschichteten Metall gefertigt und wandelt die einfallende solare Strahlung in thermische Energie um. Dabei entstehen hohe Temperaturen. Diese liegen je nach Kollektorbauweise zwischen 200 °C bis 300 °C. Im Kollektorkreislauf befindet sich ein eigener Flüssigkeits- oder Luftkreislauf, welcher die Temperatur austrägt. Über Rohrleitungen gelangt das erhitze Medium zu einem Speicher und gibt dort seine thermische Energie ab. Der Speicher speichert die Energie für eine spätere Nutzung. Als Medium werden häufig Glykol- oder Wasserforstschutzmittelmischungen eingesetzt. Über den Speicher können Trinkwassersysteme oder Heizsysteme bedient werden. Eine Solaranlage mit Heizungsunterstützung kann 10 bis 50 % der Raumwärme zur Verfügung stellen. Eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung schafft sogar 30 bis 60 % der Deckungsanteile. Auch gibt es Solaraktiv – Häuser die bis zu 95 % abdecken. [2]

Dabei ist immer zu beachten, nach welchen Kriterien die Anlage ausgelegt wird. So spielen neben der Anlagengröße auch die Personenzahl, sowie der eigentliche Verbrauch eine wichtige Rolle. In der folgenden Abbildung 2.1 ist der Aufbau einer Solarthermieanlage systematisch dargestellt.

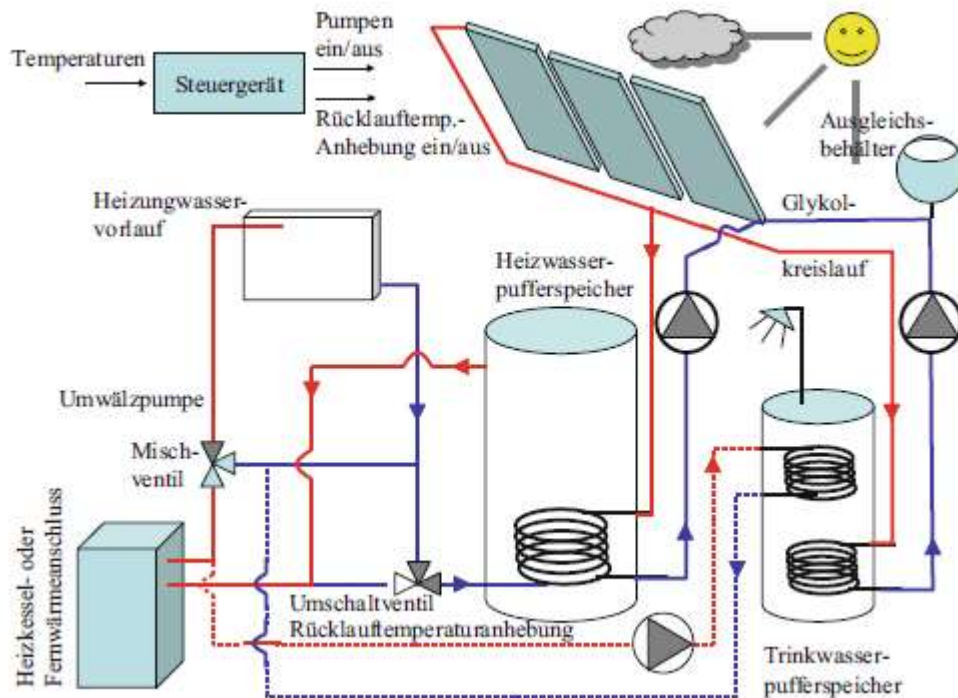


Abbildung 2.1 Aufbau Solarthermieanlage Heizwasser- oder Trinkwassererwärmung [3]

2.2 Kollektorbauarten

2.2.1 Flachkollektor

Flachkollektoren eignen sich idealerweise im Bereich der Wassererwärmung. Aber auch im Bereich der Raumheizungsunterstützung sind diese Kollektoren im Einsatz. Das liegt an der von ihnen bereitgestellten Arbeitstemperatur. Diese liegt zwischen den Temperaturbereichen von 20 °C bis 90 °C. Flachkollektoren weisen ein gutes PreisLeistungsverhältnis auf. Das setzt sich aus der preiswerten Herstellung, sowie einem guten optischen Wirkungsgrad zusammen. Unter typischen Bedingungen erreichen diese Kollektoren einen Wirkungsgrad von etwa 50 bis 60 % [4]. Die nachfolgende Abbildung 2.2 zeigt schematisch einen prinzipiellen Aufbau eines Flachkollektors. Diese dient zur visuellen Unterstützung. Weitere Bauweisen sind vorhanden, werden hier aber nicht näher betrachtet. Dieser Flachkollektor ist mit mäanderbandförmigen Rohrleitungen versehen. Diese werden geschweißt, gepresst oder gelötet, um einen guten Wärmeübergang zwischen Absorber und Trägermedium zu garantieren. Dahinter befinden sich eine Isolierschicht und davor eine lichtdurchlässige Abdeckung. Diese ist im Regelfall aus einem speziellen Glas gefertigt, welches zur Wirkungsgradverbesserung beitragen soll. [5]



Abbildung 2.2 Flachkollektor [6]

2.2.2 Vakuumröhrenkollektor

Vakuumröhrenkollektoren werden eingesetzt, wenn höhere Energieerträge benötigt werden. Diese erreichen sie durch die nahezu vollständige Reduktion von Wärmeverlusten aus Wärmeleitung und Konvektion. Dabei wird bei diesem Röhrenkollektor ein Vakuum zwischen der Absorberfläche und dem Absorberrohr erzeugt. Aufgrund der Minimierung der Verluste erreichen diese Kollektoren bessere Wirkungsgrade. Außerdem ist der Abfall des Wirkungsgrades bei hohen Differenzen zwischen der mittleren Absorberröhrentemperatur und der Umgebungstemperatur nicht so groß, wie bei einem Flachkollektor. [5]

Zur weiteren Wirkungsgradsteigerung werden die Vakuumröhren mit einem Compound Parabolic Concentrator (CPC) ausgestattet. Diese liegen hinter den Absorberrohren und zentrieren die einfallenden Sonnenstrahlen auf das Absorberrohr. Dadurch können auch nicht senkrechte Strahlen zentral auf die Rohre reflektiert werden und somit eine größere Bandbreite des Sonnenstandes effektiver ausgenutzt werden.

Ein weiteres wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist, dass der Absorber unmittelbar an den einzelnen Röhren angebracht ist. Bei einem Flachkollektor hingegen werden die von der Solarflüssigkeit durchströmten Rohre zwischen den flachen Absorbern verlegt. Der Aufbau der Solaranlage ist derselbe wie bei einem Flachkollektor. Die Vakuumröhren erzeugen höhere Temperaturen durch die oben beschriebene Minimierung der Wärmeverluste. Dadurch ergibt sich eine besonders hohe Effektivität im Hochsommer. Aber auch an sonnigen Wintertagen lässt sich dieser Effekt gut nutzen. Unter diesen

Bedingungen kann der Wirkungsgrad dieses Kollektortyps um bis zu 30 % höher liegen, als der der Flachkollektoren. Außerdem können die Röhrenkollektoren das Licht von allen Seiten absorbieren und somit diffuses Streulicht effizienter umsetzen. [4]

Durch den besseren Wirkungsgrad in Verbindung mit den höheren Energieerträgen, können Vakuumröhrenkollektoren kleiner gebaut werden, als Flachkollektoren. Die einzusparende Fläche kann bis zu 30 % betragen. Als Nachteil muss der höhere Preis angesprochen werden. Dieser liegt je nach Anlagengröße um bis zu 35 % höher, wie bei einem System mit Flachkollektoren. Anhand der überwiegenden Vorteile wird in dieser Projektarbeit eine Auslegung einer Solarthermieanlage mit Vakuumröhrenkollektoren durchgeführt.

In der nachfolgenden Abbildung 2.3 ist ein Vakuumröhrenkollektor aufgeführt.



Abbildung 2.3 Vakuumröhrenkollektor mit CPC – Spiegel [7]

2.3 Abmaße Vakuumröhrenkollektor

Für die weitere Betrachtung wird ein Vakuumröhrenkollektor der Firma Viessmann gewählt. Die Wahl fällt auf diese Firma, da an der THN dasselbe Produkt in Verbindung eines energietechnischen Praktikums zum Einsatz kommt. Mit der an der THN verfügbaren Software Polysun lassen sich im späteren Verlauf für das Gebiet von Nürnberg eine Bilanzierung an einem Einfamilienhaus mit einer gewählten Anzahl an Personen aufstellen. Für die nachfolgenden Auslegungen, Bilanzierungen und weiteren Berechnungen wird der Vakuumröhrenkollektor Vitosol 300 – TM SP3C der Firma Viessmann betrachtet. Die wichtigsten technischen Daten werden nachfolgend an zwei Varianten aufgelistet. Diese sind in der Abbildung 2.4 aufgelistet.

Technische Angaben

Technische Daten

Typ SP3C		1,26 m ²	1,51 m ²
Röhrenanzahl		10	12
Bruttofläche (für die Beantragung von Fördermitteln erforderlich)	m ²	1,98	2,36
Absorberfläche	m ²	1,26	1,51
Aperturfläche	m ²	1,33	1,60
Abstand zwischen Kollektoren	mm	—	88,5
Abmessungen			
Breite a	mm	885	1053
Höhe b	mm	2241	2241
Tiefe c	mm	150	150
Folgende Werte beziehen sich auf die Absorberfläche:			
– Optischer Wirkungsgrad	%	79	79
– Wärmeverlustbeiwert k_1	W/(m ² · K)	1,6	1,37
– Wärmeverlustbeiwert k_2	W/(m ² · K ²)	0,007	0,007
Folgende Werte beziehen sich auf die Bruttofläche:			
– Optischer Wirkungsgrad	%	51,7	50,5
– Wärmeverlustbeiwert k_1	W/(m ² · K)	1,03	0,88
– Wärmeverlustbeiwert k_2	W/(m ² · K ²)	0,004	0,004
Wärmekapazität	kJ/(m ² · K)	6,08	5,97
Gewicht	kg	33	39
Inhalt Flüssigkeit (Wärmeträgermedium)	Liter	0,75	0,87
Zul. Betriebsdruck	bar/MPa	6/0,6	6/0,6
Bei Einbau eines 8 bar Sicherheitsventils (Zubehör)	bar/MPa	8/0,8	8/0,8
Max. Stillstandtemperatur	°C	150	150
Dampfproduktionsleistung	W/m ²	0	0
Anschluss	Ø mm	22	22

Technische Daten zur Bestimmung der Energieeffizienzklasse (ErP-Label)

Typ SP3C		1,26 m ²	1,51 m ²
Aperturfläche	m ²	1,33	1,6
Folgende Werte beziehen sich auf die Aperturfläche:			
– Kollektorstufenwirkungsgrad η_{col} bei Temperaturdifferenz von 40K	%	68	69
Optischer Wirkungsgrad	%	74	76
– Wärmeverlustbeiwert k_1	W/(m ² · K)	1,3	1,3
– Wärmeverlustbeiwert k_2	W/(m ² · K ²)	0,007	0,007
Winkelkorrekturfaktor IAM		0,98	0,98

Einbaulage (siehe folgende Abbildung) (A), (B), (C), (D), (E), (F)

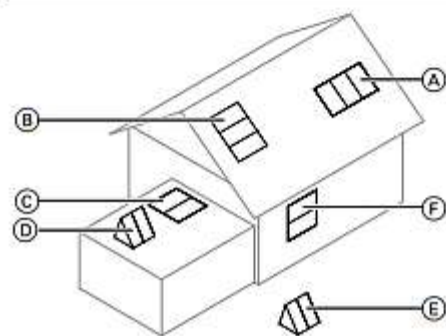


Abbildung 2.4 Vakuumröhrenkollektor Vitsol 300 – TM [8]

3 Datengrundlage Solarstrahlung

Für dieses Projekt werden die Daten der solaren Strahlung im Gebiet der EMN benötigt. Eine umfassende Datenbank stellt die National Aeronautics and Space Administration (NASA) online zur Verfügung. Hier werden die Daten über die Sonneneinstrahlung in dem betroffenen Gebiet für das gesamte Jahr 2017 betrachtet und ausgewertet. [9]

3.1 Datenerhebung

Die notwendigen Daten für das Jahr 2017 werden der MERRA – 2 Datenbank der NASA entnommen. Diese Datenbank stellt die auftreffende solare Strahlung auf das Gebiet der EMN dar. Hier werden neben den direkten- und diffusen Strahlungsanteilen auch die auftreffende Strahlungsleistung an der Erdatmosphäre und die auftreffende Strahlungsleistung am Erdboden aufgelistet. Neben diesen Daten gibt es noch weitere Messungen der Strahlung, welche aber für diese Projektarbeit nicht relevant sind.

Durch die gewonnenen Daten erstellt sich ein solares Profil für die EMN. Das Gebiet der EMN, wird von Professor Doktor Matthias Popp vorgegeben. Es unterteilt sich in die Breitengrade $9,6875^{\circ}\text{E}$ bis $12,8125^{\circ}\text{E}$ und in die Längengrade $48,75^{\circ}\text{N}$ bis $50,75^{\circ}\text{N}$. Dadurch ergeben sich 20 Rastergebiete.

4 Solarstrahlung EMN und Nürnberg

In diesem Kapitel wird die auf dem Gebiet der EMN auftreffende solare Strahlung über einen Zeitbereich eines Jahres ermittelt und ausgewertet. Mit Hilfe dieser Daten wird die mittlere Strahlungsintensität für die jeweiligen Monate erstellt. Dasselbe wird für die Stadt Nürnberg als eines der 20 Rastergebiete durchgeführt. Die erhaltenen Daten werden miteinander verglichen und ergeben eine Aussage darüber, ob anhand der Region Nürnberg eine Analyse durchgeführt werden kann und diese im Umkehrschluss für das gesamte Gebiet der EMN spricht.

4.1 Mittelwertanalyse Strahlung EMN und Nürnberg

Mit Hilfe der vorhandenen Daten, werden die am Erdboden auftreffenden Sonnenstrahlen auf dem Gebiet der EMN ermittelt. Hierfür werden die 20 Rastergebiete zuerst einzeln betrachtet. Die für das Jahr vorhandenen stündlichen Messwerte werden für jedes Gebiet in Tagesmittelwerte umgerechnet. Die Tagesmittelwerte geben darüber Auskunft wie viel Strahlungsleistung über einen 24 Stunden Zyklus in dem entsprechenden Gebiet anfallen. Dadurch können später realistische und aussagekräftige Werte errechnet werden. Die Mittelwerte werden dann zu monatlichen Mittelwerten zusammengefasst. Durch diesen Schritt ist man in der Lage in einem Diagramm die mögliche Umsetzbarkeit der Strahlungsleistung monatlich abzubilden und ein späteres Fazit auf die Jahreszeiten zu reflektieren. Anschließend werden die einzelnen Rastergebiete mit ihren monatlichen Mittelwerten zu einem Rastergebiet der EMN zusammengefügt. Somit ergeben sich 12 Mittelwerte für die einzelnen Monate in der EMN. Zur Veranschaulichung werden nachfolgend in der Abbildung 4.1 und in der Abbildung 4.2 die Diagramme der EMN und für das Gebiet Nürnberg dargestellt. Dadurch wird der Unterschied in der auftreffenden Strahlung für ein flächenmäßig großes Gebiet zu einem flächenmäßig kleineren Gebiet aufgezeigt. In Abbildung 4.3 werden beide Diagrammlinien übereinander dargestellt, um die marginalen Unterschiede besser kenntlich zu machen. Daraus ergibt sich das Ergebnis, dass die auftreffende Solarstrahlung auf das Gebiet der EMN und dem Gebiet von Nürnberg beinahe gleich ist. Zur bestmöglichen Ermittlung der anschließenden Forschungsfragen wird für sämtliche Berechnungen das Gebiet von Nürnberg herangezogen. Die sich ergebenden Ergebnisse für Nürnberg sind aussagekräftig genug, um sie in möglichen weiteren Forschungsarbeiten auf größere Gebiete auszudehnen.

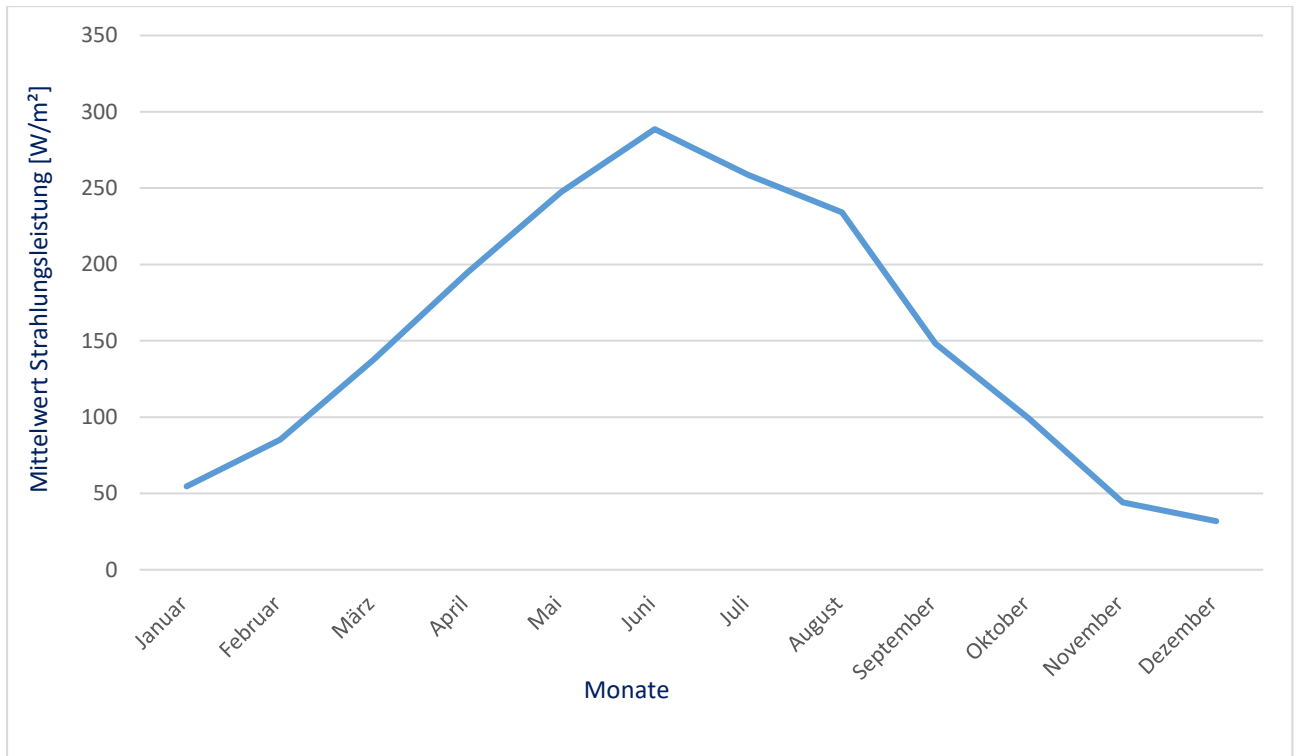


Abbildung 4.1 Mittelwerte Strahlungsleistung EMN

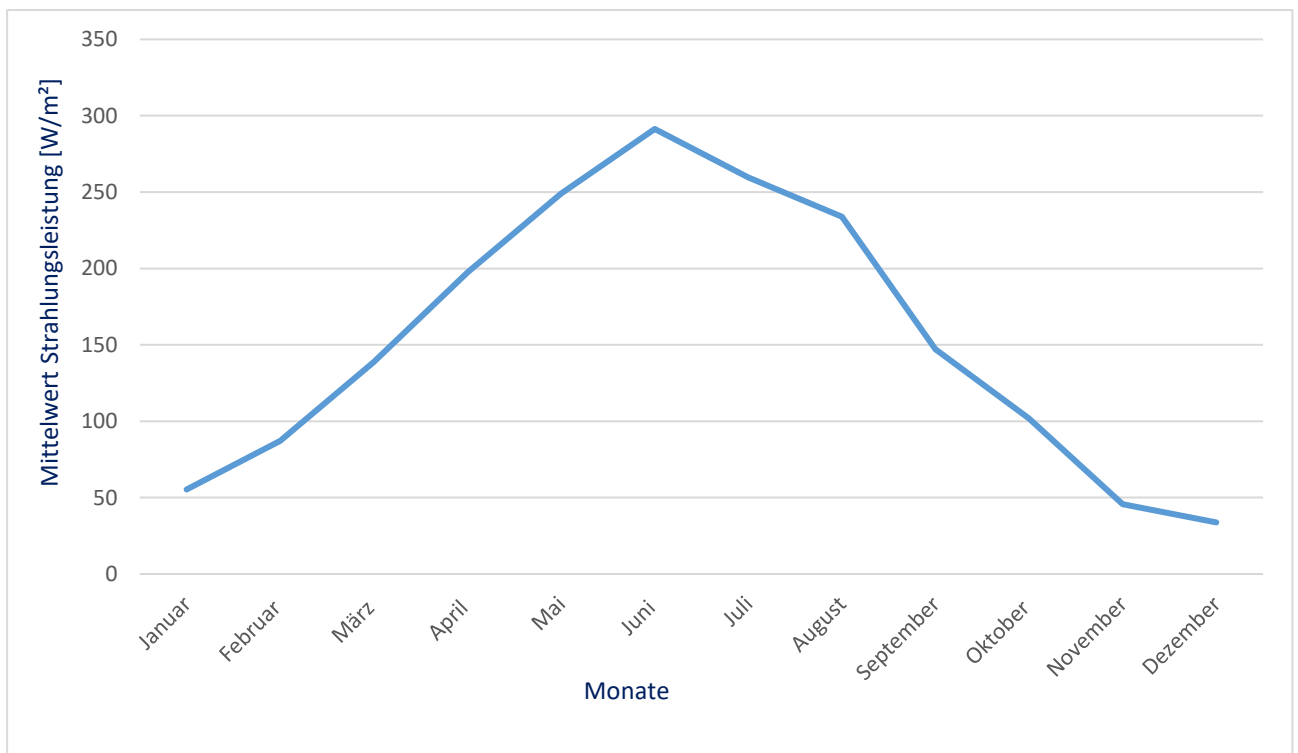


Abbildung 4.2 Mittelwerte Strahlungsleistung Nürnberg

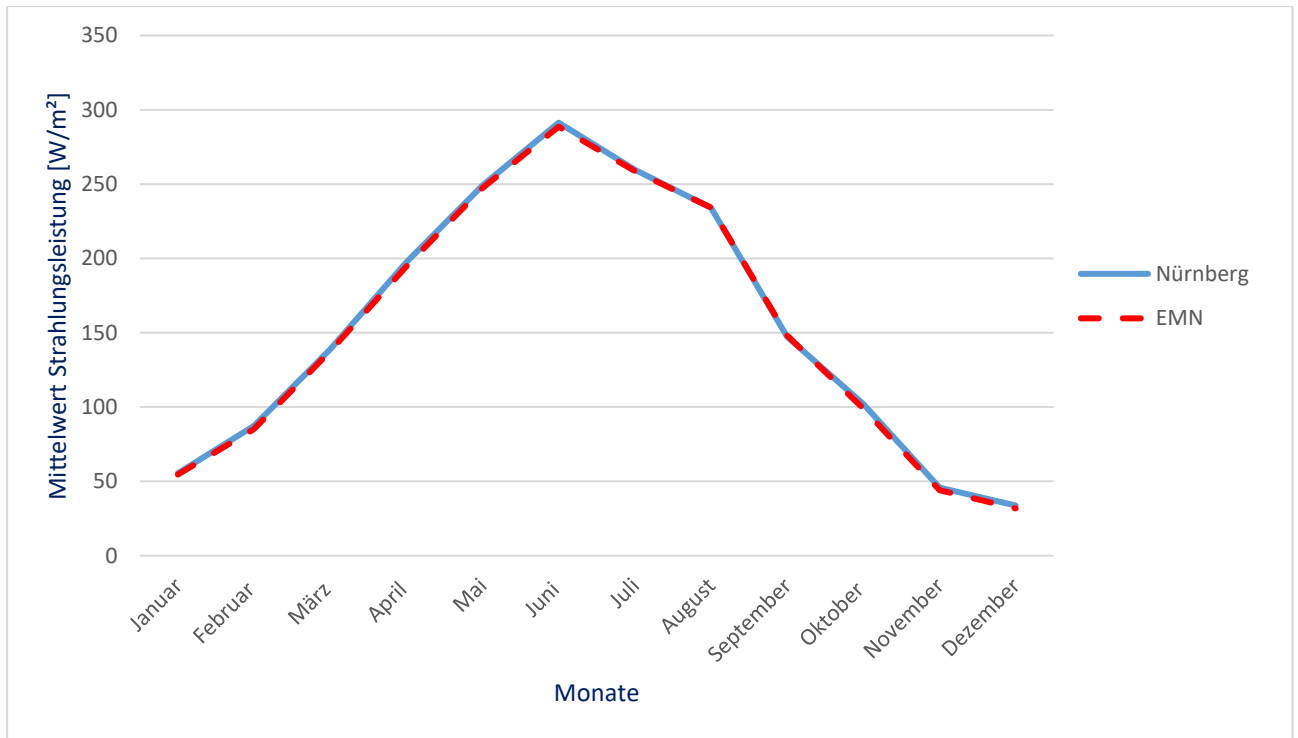


Abbildung 4.3 Mittelwerte Strahlungsleistung EMN und Nürnberg

5 Datengrundlage N-ERGIE

Neben den Daten der Strahlungsleistung werden für die Relevanz dieser Projektarbeit auch die wichtigsten Daten der Wärmelasten aus dem Jahr 2017 benötigt. Hierfür stellt die N-ERGIE, das größte regionale Energieerzeugungsunternehmen, ihre Daten zur Verfügung. Diese werden mithilfe des Microsoft Office Tool Excel ausgewertet. [10]

Ebenso wird eine Datenerhebung für das Jahr 2017 an ausgestoßenem klimaschädlichen CO₂ in der Stadt Nürnberg erstellt. Hierfür werden alle an der Wärmeproduktion beteiligten Kraftwerke der N-ERGIE betrachtet.

5.1 Mittelwertanalyse Wärmelast Nürnberg

Aus den vorhandenen zur Verfügung gestellten Daten der N-ERGIE, werden in Excel Mittelwertanalysen für den Zeitbereich eines Jahres erstellt. Hierbei bezieht sich die Analyse, wie im 4. Kapitel auf das Jahr 2017. Die Daten der N-ERGIE liegen als Tagesmittelwerte vor. Daraus werden Mittelwertanalysen für jeden der 12 Monate erstellt. Diese sind in der nachfolgenden Abbildung 5.1 systematisch dargestellt. Die Auswertung der Daten sind ein wichtiger Schritt, um im späteren Verlauf eine CO₂ Bilanzierung aufzustellen und eine eventuell damit verbundene Reduktion dieses Treibhausgases zu ermitteln.

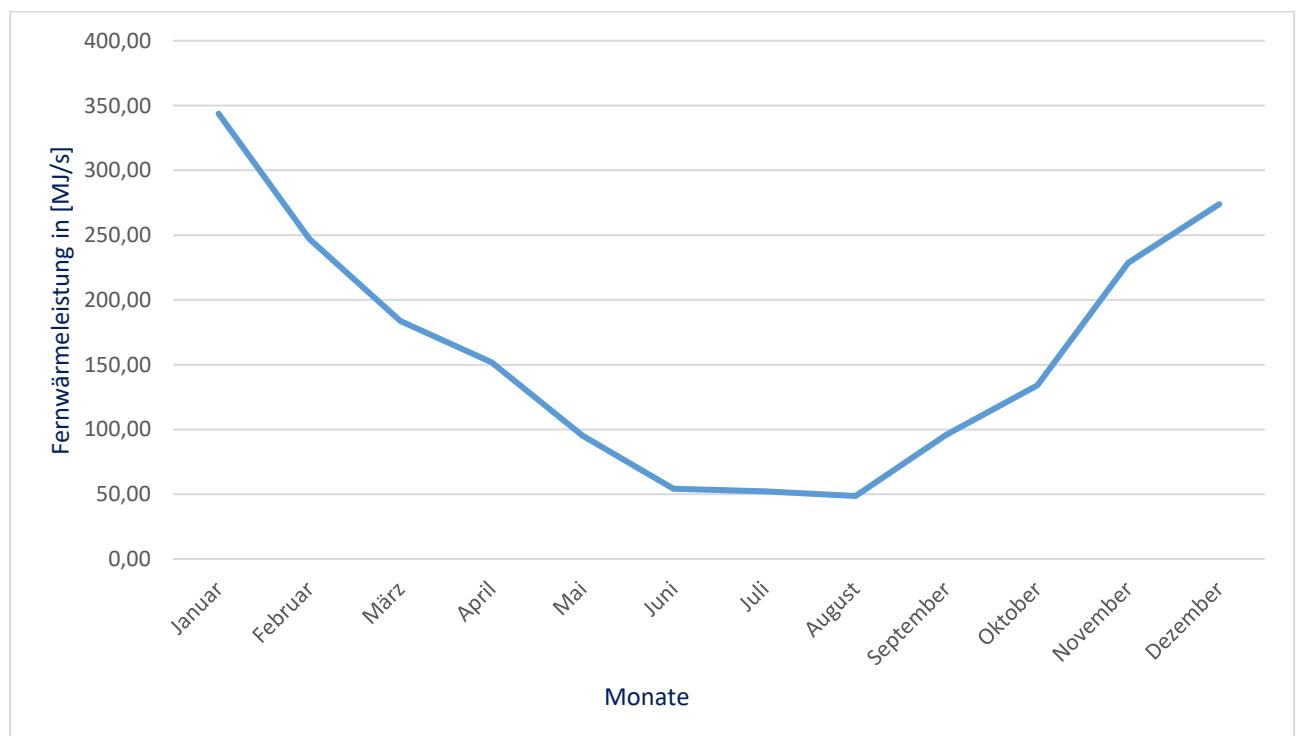


Abbildung 5.1 Mittelwerte Fernwärmelasten Nürnberg 2017

5.2 Datenerhebung CO₂ Ausstoß im Jahr 2017 in Nürnberg

Aus den vorhandenen Daten der Umwelterklärung 2018, welche sich auf das Jahr 2017 bezieht, wird der CO₂ Ausstoß sämtlicher Kraft- und Heizwerke der N-ERGIE aufgelistet. Hierbei werden nur die Kraft- und Heizwerke aufgelistet, welche nicht für die Produktion von Prozesswärme für Kliniken infrage kommen. [11]

Die ausgestoßene CO₂ Menge für das Jahr 2017 durch Kraft- und Heizwerke sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Tabelle 5-1 Datenanalyse CO₂ Ausstoß durch Kraft- und Heizwerke der N-ERGIE im Jahr 2017 [11]

HKW Sandreuth	382400 t
Biomasseheizkraftwerk	63084 t
Heizwerk Muggenhofen	645 t
Heizwerk Langwasser	7152 t
Heizwerk Maxfeld	2729 t
Heizkraftwerk Klingenhof	1360 t
Gesamter CO ₂ Ausstoß für 2017	457370 t

6 Regenerative Wärmegegewinnung

In diesem Kapitel wird die Simulation einer Solaranlage durchgeführt. In dieser wird für die Trink- und Heizwasseraufbereitung eines Einfamilienhaushalts ein Vakuumröhrenkollektor gewählt. Der Zeitraum des Jahres 2017 wird betrachtet. Dabei werden mit der Software Polysun die Simulationen durchgeführt.

6.1 Simulation Polysun

6.1.1 Geografische und meteorologische Daten

Zum Einsatz kommt eine an der THN verfügbare Version namens Polysun. Der Einsatzort dieser Version kann variabel gewählt werden. Dieser bezieht sich auf die Region Nürnberg in Bayern. Die geografischen und meteorologischen Daten von Nürnberg liegen laut dieser Software bei 49,45 ° Nord und 11,08 ° Ost. Die durchschnittliche jährliche Außentemperatur liegt bei 9,6 °C. Die Meereshöhe liegt konstant bei 281 m.

Anhand der verwendeten Datenbank Meteonorm für solare Strahlung, werden die Anteile der Global- und Diffusstrahlung für den Standort ermittelt und gehen in das Berechnungsprogramm mit ein. Es wird die Meteonorm Version 7.2 verwendet. Diese beinhaltet für den ausgewählten Ort die Einstrahlungsdaten aus den Jahren 1996 bis 2015. [12]

Die durchschnittliche Jahressumme der Globalstrahlung liegt bei 1022 kWh/m². Die durchschnittliche Jahressumme der Diffusstrahlung beträgt 579 kWh/m².

In Tabelle 6-1 sind die genannten Daten noch einmal übersichtlich zusammengefasst.

Tabelle 6-1 Geografische und meteorologische Daten Nürnberg Jahre 1996 – 2015 (Meteonorm Datenbank)

Breitengrad	49,45 ° Nord
Längengrad	11,08 ° Ost
Höhe über dem Meer	281 m
Mittlere Außentemperatur	9,6 °C
Jahressumme Globalstrahlung	1022 kWh/m ²
Jahressumme Diffusstrahlung	579 kWh/m ²

6.1.2 Schemata

In Abbildung 6.1 ist die verwendete Vergleichsanlage der Simulation dargestellt. Dabei handelt es sich um ein Einfamilienhaus, welches von zwei Personen bewohnt wird. Die Wohnfläche beträgt 77,5 m². Die Wahl der Wohnfläche, sowie die Anzahl der Personen ergeben sich aus der Datenerfassung des Landesamtes für Statistik [13]. Diese wird in Kapitel 7 aufgeführt. Für die Berechnung wird eine Solarthermieanlage der Firma Viessmann, Marke Vitosol 300 TM SP3C eingesetzt. Um nur das einzusparende Fernwärmepotential betrachten zu können, wird ein Anlagensystem erstellt, welches nur für die Warmwassergewinnung des Trinkwassersystems und Heizsystems zuständig ist. Auf eine Zusatzversorgung mit einem Heizkessel wird bewusst verzichtet. Ein separater Fernwärmeanschluss (FWA) der Energieversorgungsunternehmen ist berücksichtigt, um die Differenz der Nutzenergie, abhängig von den Jahreszeiten, zur Verfügung stellen zu können. Der FWA ist in der Abbildung 6.1 durch ein Schaltsymbol mit zwei farblich unterschiedlichen Pfeilen dargestellt und befindet sich am linken Rand der Darstellung. Außerdem kommt ein Pufferspeicher mit 400 l Fassungsvermögen, zur Speicherung des direkt gewonnen Warmwassers, zum Einsatz. Neben diesem sind zwei Plattenwärmetauscher verbaut. Diese decken die unterschiedlichen Speisesysteme (Fernwärme, Trinkwasser, Heizung) ab. Eine Trinkwassertemperatur von mindestens 65 °C wird eingestellt, um die Bildung von Salmonellen ausschließen zu können. Die Vorlauftemperatur der Heizung wird so gewählt, dass sich durchschnittlich eine Raumtemperatur von 20 °C einstellt. Hierfür wird neben der Wahl von Radiatoren als Heizungsanlagen auch eine Bewertung für Häuser mit schlechter Wärmedämmung eingestellt. Diese Häuser sind in Nürnberg noch stark vertreten und bilden die Realität detailgetreu ab. Außerdem werden die Kollektoren auf dem Dach in einem 50 ° Winkel positioniert. Dieser Wert entspricht, dem bestmöglichen einstellbaren Wert, bezogen auf den Breitengrad von Nürnberg. Polysun schlägt diesen in der Simulation vor, um die optimalste Ausnutzung der Strahlung zu erhalten. Die Ausrichtung der Kollektoren liegt zwischen Osten und Süden. Da keine genauen Angaben einer prozentualen Häufigkeit über die Ausrichtung der Gebäude in Nürnberg vorliegen, wird diese Ausrichtung eigenständig bestimmt. Es handelt sich hierbei um statisch installierte Kollektoren ohne Nachführeinrichtung.

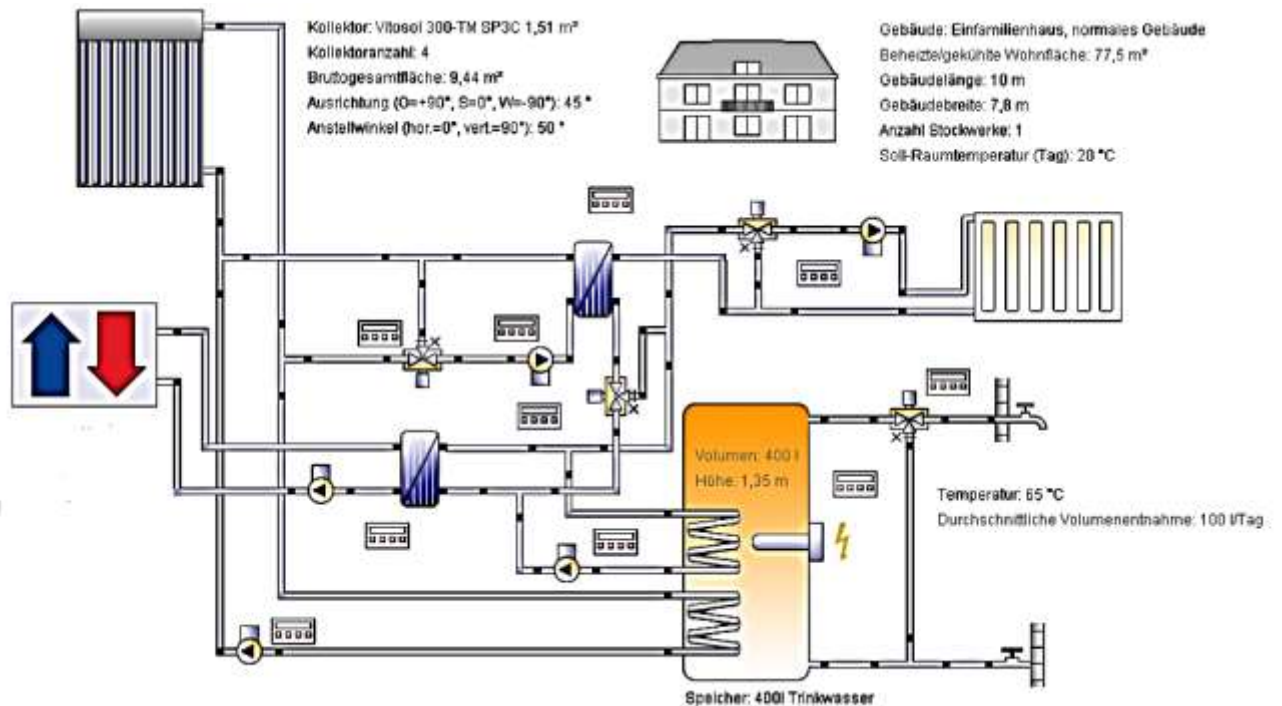


Abbildung 6.1 Schematischer Aufbau Vergleichsanlage

6.1.3 Ergebnisübersicht

Zuerst werden die berechneten Werte des gesamten Systems betrachtet. Danach wird auf die Übersicht der Einzelsysteme eingegangen.

Die in einem professionellen Report auf 8 Seiten vorhandenen Ergebnisse werden für die vorgesehene Projektarbeit auf die wichtigsten Daten reduziert. Der professionelle Report bildet sich aus den in der Simulation verwendeten Daten und wird nach Durchführung der Simulation erstellt.

6.1.3.1 Systemübersicht Jahreswerte

In der Tabelle 6-2 sind die relevantesten Daten der gesamten Anlage aufgelistet. Sie beziehen sich auf das Jahr 2017. Neben dem gesamten Fernwärmeverbrauch von 12846 kWh, welche in Kraftwerken durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern erzeugt werden, ergibt sich die Nutzenergie zu 11613 kWh. Die Differenz zwischen diesen beiden Werten entsteht durch Verluste, wie Wärmeverlust an die Umgebung oder Wärmeverlust an den Innenraum. Zudem wird der gesamt anfallende Stromverbrauch durch Anlagenbauteile, wie Pumpen oder Messinstrumente und Auswerteeinheiten aufgelistet.

Tabelle 6-2 Systemübersicht Jahreswerte

Gesamter Stromverbrauch des Systems	34,5 kWh
Gesamter Fernwärmeverbrauch bei ausschließlicher Versorgung durch einen Energieversorger	12846 kWh
Nutzenergie (nutzbare Energie nach Abzug der Verluste)	11613 kWh
Komfortanforderungen	Energiebedarf ist gedeckt

6.1.3.2 Übersicht Solarthermie Jahreswerte

Nun werden die Werte der Solarthermieanlage für ein Jahr in der Tabelle 6-3 näher betrachtet. Neben der benötigten Kollektorfläche für das gewählte Beispiel, werden auch der gesamte solare Deckungsanteil, sowie der solare Deckungsanteil an Warmwasser aufgelistet. Zur Verdeutlichung der Zusammensetzung des gesamten solaren Deckungsanteils ist unter Kapitel 6.1.4.1 die Abbildung 6.2 eingefügt. Zum Schluss sind die Werte für den gesamten Kollektorfeldertrag, die Bruttofläche und die Aperturfläche des Kollektors aufgelistet.

Tabelle 6-3 Übersicht Solarthermie Jahreswerte

Kollektorfläche	9,44 m ²
Solarer Deckungsanteil gesamt	16,6 %
Solarer Deckungsanteil Warmwasser	100 %
Solarer Deckungsanteil Gebäude	100 %
Gesamter Kollektorfeldertrag	2565 kWh
Kollektorfeldertrag in der Bruttofläche des Kollektors	271,8 kWh/m ²
Kollektorfeldertrag in der Aperturfläche des Kollektors	400,8 kWh/m ²

6.1.3.3 Komponentenübersicht Jahreswerte

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Komponenten mit den dazugehörigen Werten aufgezählt. Sämtliche Daten können hierfür der Tabelle 6-4 entnommen werden. Die Komponentenabmaße und die Erträge ergeben sich aus der durchgeführten Simulation. Die

Ertragsdaten ergeben sich für den Zeitbereich eines Jahres. Die Beschreibung der einzelnen Komponenten entfällt, da diese für sich sprechen und nachvollziehbar sind.

Tabelle 6-4 Komponentenübersicht Jahreswerte

Kollektor	Vitosol 300-TM SP3C 1,51 m²
Kollektoranzahl	4
Bruttogesamtfläche	9,44 m ²
Gesamte Aperturfläche	6,4 m ²
Gesamte Absorberfläche	6,4 m ²
Anstellwinkel (horizontal = 0 °, vertikal = 90 °)	50 °
Ausrichtung (Ost = + 90 °, Süd = 0 °; West = - 90 °)	45 °
Kollektorfeldertrag	2565 kWh
Einstrahlung in Kollektorebene	6884 kWh
Kollektorwirkungsgrad	37,3 %
Gebäude	Einfamilienhaus, normales Gebäude
Beheizte Wohnfläche	77,5 m ²
Soll – Raumtemperatur	20 °C
Heizwärmebedarf	8944 kWh
Solarer Ertrag durch Fenster	10059 kWh
Gesamter Energieverlust	23167 kWh
Heizelemente	Radiator
Anzahl Heizelemente	11
Leistung pro Heizelement bei Normbedingungen	1000 W
Soll – Vorlauftemperatur	65 °C
Soll – Rücklauftemperatur	55 °C
Nettoenergie zu den Heizmodulen	9238 kWh
Warmwasserbedarf	Tagesspitzen
Volumenentnahme / Tagesverbrauch	100 l
Solltemperatur	65 °C
Energiebedarf	2345 kWh

6.1.4 Aufstellung der Kalkulation mit Polysun

In dem folgenden Kapitel werden die berechneten Ergebnisse der Simulation in Balkendiagrammen dargestellt. Hierfür erfolgt eine Unterteilung in die bedeutendsten Einzelbereiche. Dabei werden folgende Einzelbereiche abgebildet:

- Solarthermische Energie nach Umwandlung der Strahlungsenergie an das System
- Fernwärme der Energieerzeuger an das System ohne Betrachtung der Solarthermie
- Solarer Deckungsanteil: Solarenergie an das System
- Gesamt Stromverbrauch des Systems

6.1.4.1 Solarthermische Energie an das System

Das erste Balkendiagramm der Abbildung 6.2 befasst sich mit der umgesetzten Strahlungsenergie in Wärmeenergie und deren Abgabe an das System. Hier wird die vom Kollektor abgegebene solarthermische Energie über die jeweiligen Monatsmittelwerte der Jahre 1996 bis 2015 aufgetragen. Zu erkennen ist, dass in den Sommermonaten ein durchschnittlich hoher Betrag vorliegt. Der April ist hierbei mit 403 kWh am größten. Das liegt an der Ausrichtung der Kollektormodule. In den Wintermonaten zeichnet sich ein geringer Betrag ab. Das spiegelt die jährliche zu erwartende Verteilung der Strahlungsleistung in Deutschland wieder. Die gesamte solarthermische Energie beträgt 2565 kWh für den ausgewählten Zeitbereich.

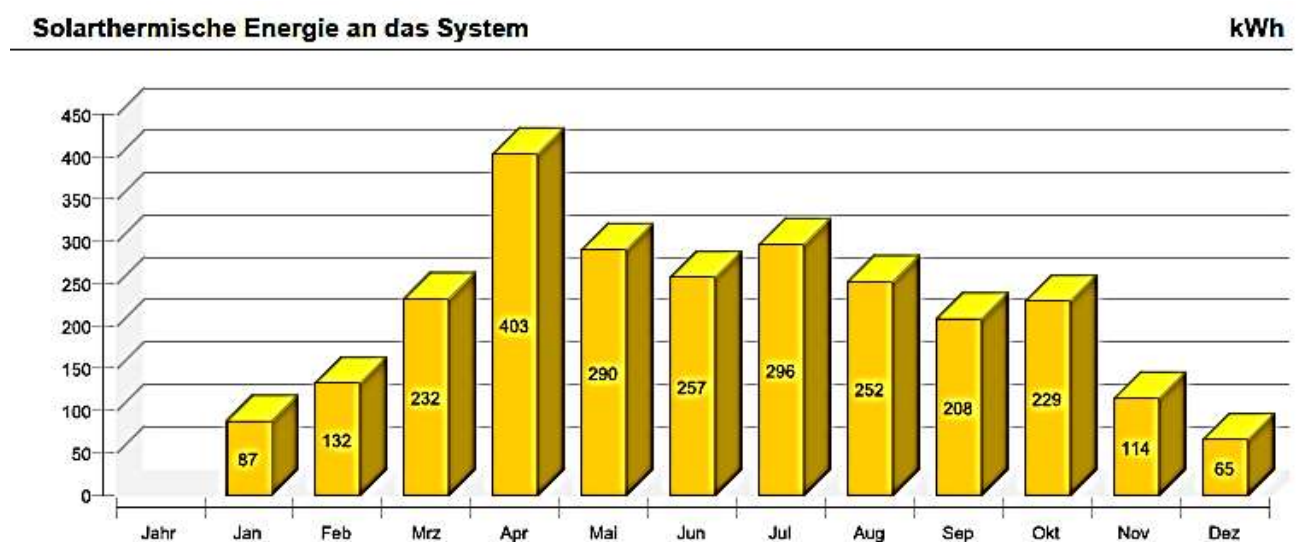


Abbildung 6.2 Solarthermische Energie an das System

6.1.4.2 Energie der Wärmeerzeuger an das System

Die benötigte Fernwärmelast kann der Abbildung 6.3 entnommen werden. Diese Betrachtungsweise ist relevant, da eine vollkommene autarke Erzeugung aus der Solarthermie zu den erstellten Bedingungen ausgeschlossen ist. Hier verhält sich das Diagramm konträr zu der Abbildung 6.2. In den Wintermonaten wird eine deutliche Unterstützung durch Fernwärmeenergie benötigt. In den Sommermonaten kann nahezu darauf verzichtet werden. In der Übergangszeit zwischen Winter und Sommer und umgekehrt liegen die Werte zwischen den beiden Extrema. Der Jahresbedarf liegt in diesem Fall bei 12846 kWh.

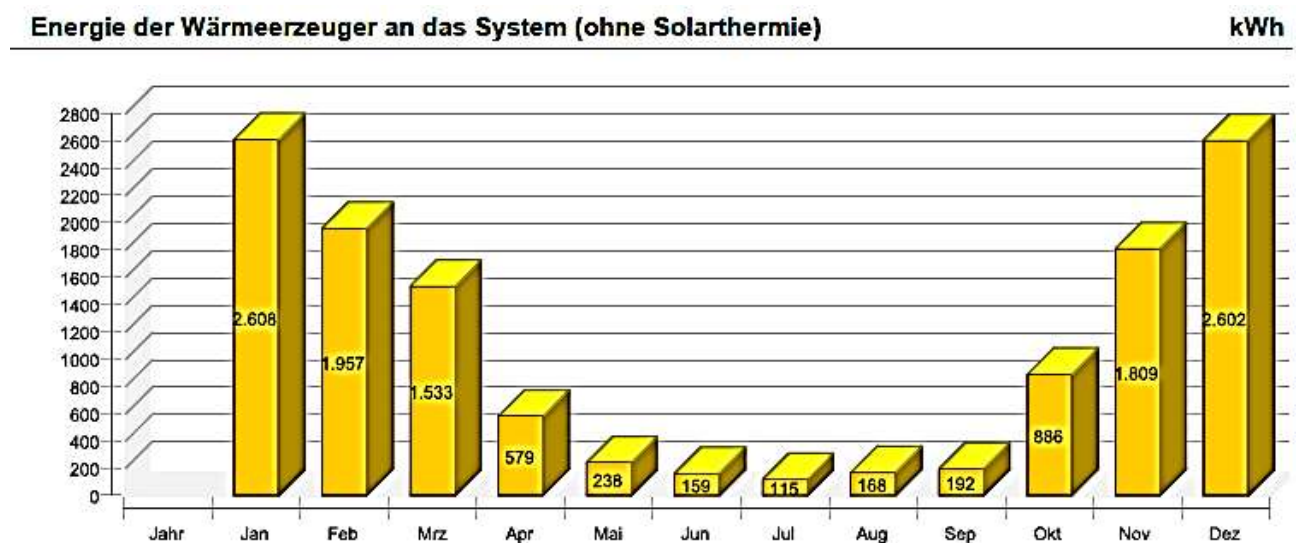


Abbildung 6.3 Energie der Wärmeerzeuger an das System

6.1.4.3 Solarer Deckungsanteil: Solarenergie an das System

Diese Auswertung beschäftigt sich damit, wie viel solare Strahlungsleistung am Kollektor ankommt und wie viel davon am System umgesetzt werden kann. Der Betrachtungszeitraum umfasst wieder den bereits genannten Jahresbereich und den daraus vorhandenen Mittelwerten der Monate. Zur Verdeutlichung der Ergebnisse ist die Abbildung 6.4 näher zu betrachten. Die Auswertung ergibt den höchsten prozentualen Anteil in den Sommermonaten und den niedrigsten Anteil während der Wintermonate. Dieses Ergebnis ist auch zu erwarten, da die Strahlungsleistung über die Sommermonate wesentlich höher ist, als in den Wintermonaten. Der gesamte jährliche prozentuale Deckungsanteil kann aus den Einzeldeckungsanteilen der Monate gebildet werden. Er beträgt 17 %.

Solarer Deckungsanteil: Solarenergie an das System

%

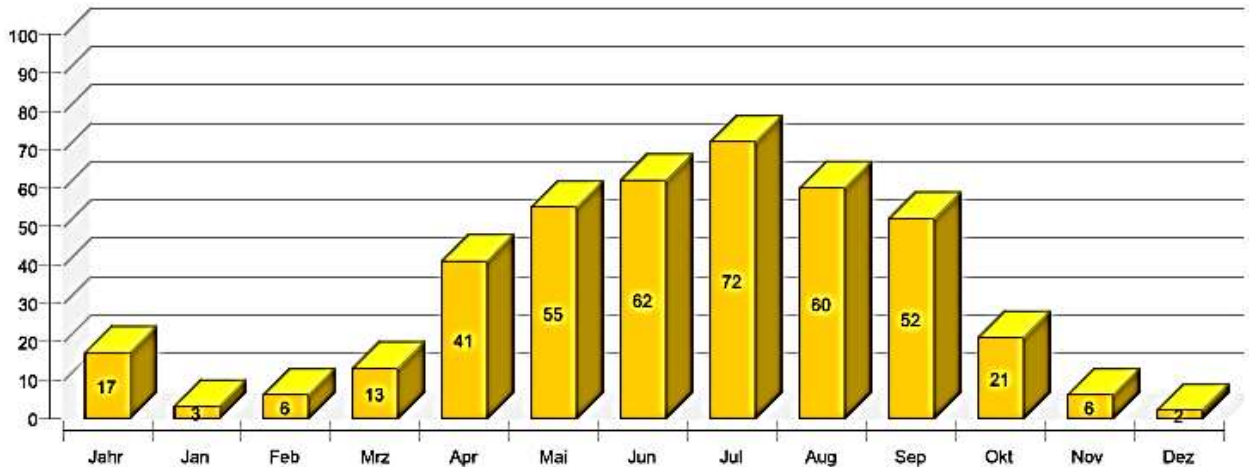


Abbildung 6.4 Solarer Deckungsanteil gesamt

6.1.4.4 Gesamt Stromverbrauch des Systems

Anschließend ist in der Abbildung 6.5 der gesamte Stromverbrauch des Systems für das betrachtete Jahr aufgetragen. Zu dem Stromverbrauch werden alle stromaufnehmenden Bauteile erfasst und ausgewertet. Daraus werden die monatlich anfallenden Strombezüge aufgetragen. Aus den Einzelmonaten kann durch Addition dieser der gesamte Stromverbrauch ermittelt werden. Dieser ist in der Abbildung 6.5 nicht aufgetragen, da er die Skalierung des Diagrammes übersteigen würde. Der Vollständigkeit halber ist festzustellen, dass der gesamte Stromverbrauch der Anlage sich auf 34,5 kWh beläuft.

Gesamter Stromverbrauch

kWh

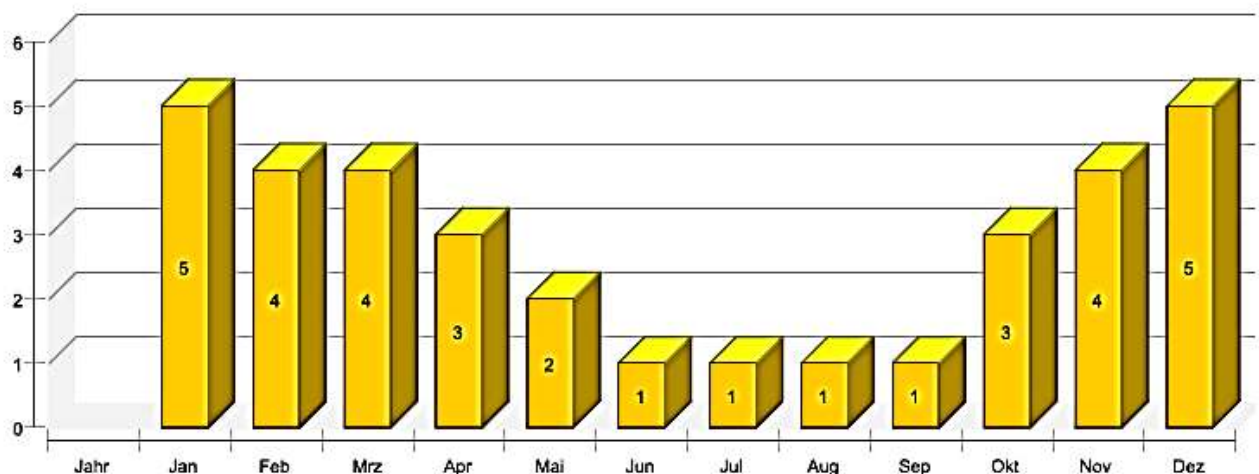


Abbildung 6.5 Gesamt Stromverbrauch des Systems

6.1.4.5 Jahresbilanz Energieflussdiagramm

Abschließend wird die Polysun Simulation mit einem Energieflussdiagramm dargestellt. Dieses bildet die vier Abbildungen 6.2 bis 6.5 in einem Diagramm ab. Außerdem wird hier neben der Darstellung der Daten auch eine Bilanzierung gebildet. Das Energieflussdiagramm dient der Übersichtlichkeit. Hier können direkt die zufließenden und abfließenden Energieströme erkannt werden. Das Energieflussdiagramm ist in der Abbildung 6.6 gezeigt.

Die zufließenden Ströme in das System ergeben sich aus der solarthermischen Energie, der Energie der Wärmequelle und der Energieverbrauch der Pumpen. Die abfließenden Ströme werden aus der Nutzenergie für die Raumheizung, die Nutzenergie des Warmwassers, der Wärmeverlust an die Umgebung und den Wärmeverlust an den Innenraum gebildet. Die Genauigkeit dieses Diagrammtyps beträgt 99,85 %.

Energieflussdiagramm (Jahresbilanz)

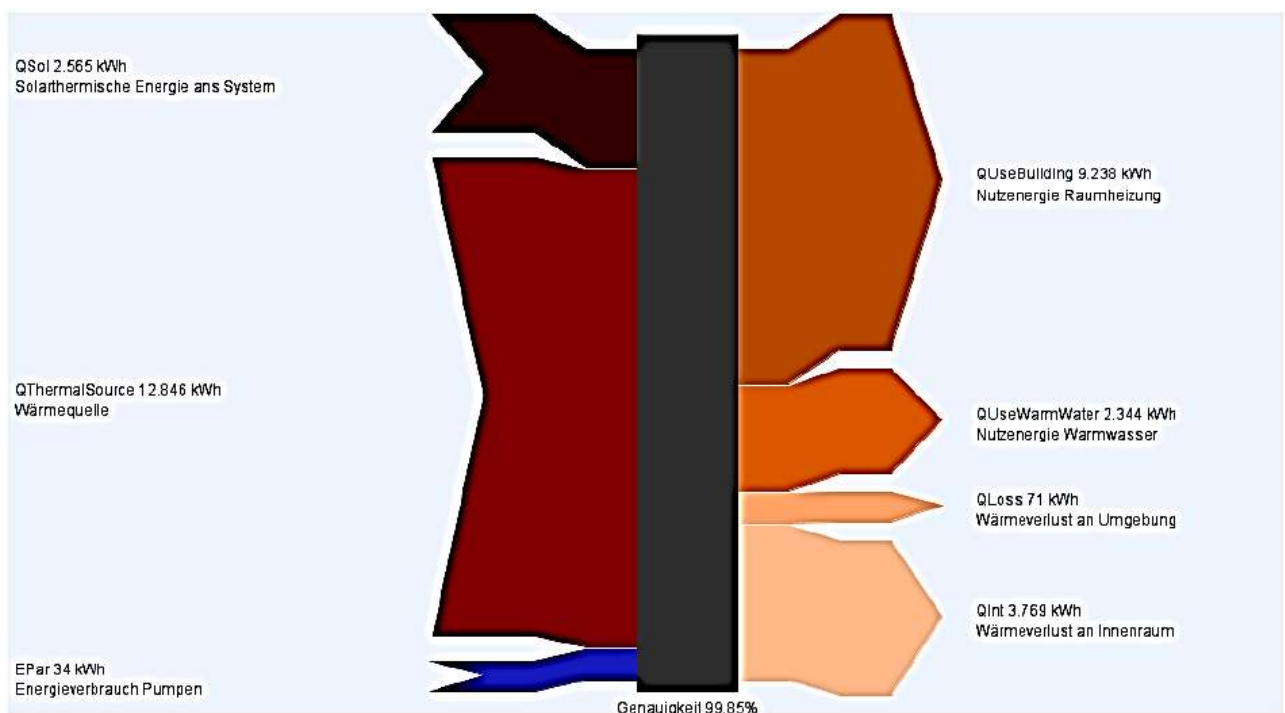


Abbildung 6.6 Energieflussdiagramm Jahresbilanz

7 Flächenerhebung und vorhandene Gebäude

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der bebauten Fläche in der Stadt Nürnberg und der gesamten Anzahl der vorhandenen Gebäude. Bei der bebauten Fläche werden ausschließlich Flächen betrachtet, auf denen Gebäude zur Installation von Solarthermieanlagen in Frage kommen und die von N-ERGIE versorgt werden. Die Reduzierung des Gebietes der EMN auf die Stadt Nürnberg erfolgt durch die dort vorhandenen Fernwärmedaten der N-ERGIE.

7.1 Datenerhebung

Der Datenbezug für die Flächenerhebung der Stadt Nürnberg erfolgt durch das Landesamt für Statistik. Diese stellen mit der von ihnen generierten Genesis – Datenbank ein umfassendes Angebot an Statistiken zur Verfügung. Hier werden die notwendigen Daten als Exceldateien heruntergeladen und ausgewertet. [14]

Die Datenerhebung für vorhandene Gebäude in Nürnberg wird ebenfalls vom Landesamt für Statistik bezogen. Hierfür wird ein Dokument mit statistischen Auswertungen genutzt. Es handelt sich hierbei um das aktuellste Dokument aus dem Jahr 2017. Die erhobenen Daten beziehen sich auf das Jahr 2016. Eine aktuellere Statistik ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorhanden, da dieses erst zu Beginn des Jahres 2019 veröffentlicht wird. [13]

Da keine statistische Auswertung seitens der N-ERGIE darüber vorliegt, wie viele einzelne Personen mit Fernwärme versorgt werden, wird bei dieser Datenerhebung ausschließlich von den zu versorgenden Wohngebäuden ausgegangen.

7.2 Auswertung der Daten

7.2.1 Auswertung bebaute Fläche

In der Tabelle 7-1 sind die wichtigsten bebauten Flächen, mit Bezug auf mögliche Aufstellungsorte, für solarthermische Anlagen aufgelistet. Dabei handelt es sich um Flächen, die von N-ERGIE mit Fernwärme versorgt werden. Es wird nur die Fläche des Wohnbaus betrachtet. Die bebaute Fläche ist in Hektar (ha) angegeben. Für den weiteren Verlauf, sowie zur einfacheren Vorstellung, wird die daraus resultierende Summe dieser Einheit in m² und km² umgerechnet.

Tabelle 7-1 nutzbare Flächen für Solarthermie [14]

Flächennutzung	Einheit
Wohnbauflächen	3471,53 ha
Summe 1	3471,53 ha
Summe 2	34715300 m ²
Summe 3	34,7153 km ²

7.2.2 Auswertung gesamte Anzahl Gebäude

Wie in der Tabelle 7-2 zu erkennen ist, werden nur Wohngebäude betrachtet. Andere Gebäude die sich in der Industrie, im Handel oder anderen Tätigkeiten befinden, können wegen unvollständig vorhandenen Analysen nicht betrachtet werden. In der Tabelle 7-2 werden die Wohngebäude in unterschiedlich viele Wohnungen aufgeteilt und deren prozentualer Anteil bestimmt. Sämtliche Daten beziehen sich auf das Jahr 2016.

Tabelle 7-2 Bestand an Wohngebäuden und durchschnittliche Wohnfläche in Nürnberg Stand 2016 [13]

Bestand an Wohngebäuden	Jahr 2016	
	Anzahl	%
Wohngebäude ¹	70949	100
mit einer Wohnung	41130	58,0
mit zwei Wohnungen	6001	8,5
mit drei oder mehr Wohnungen	23676	33,4
Durchschnittliche Wohnfläche je Wohnung	Anzahl	m²
Wohnung	1	77,5
Gesamte Wohnungen	70949	5498547,5
Personenanzahl für durchschnittliche Wohnfläche	Anzahl der Personen	Durchschnittliche Wohnfläche [m²]
Wohnung	2	77,5

¹ Wohnheime eingeschlossen

8 CO₂ Einsparpotential

Das Kapitel 8 beschäftigt sich mit dem möglichen CO₂ Einsparpotential, aus den bis zu diesem Zeitpunkt erhobenen Analysen und den daraus gewonnenen Daten. Um das Einsparpotential errechnen zu können, werden die erfassten Fernwärmedaten der N-ERGIE, die simulierten Werte der Software Polysun und die aufgestellten Daten über den Flächenbezug, sowie dem Bestand an Wohngebäuden in Nürnberg herangezogen. Aus diesen gesammelten Analysen wird zum Schluss eine Vergleichsrechnung gebildet, die eine Aussage über das mögliche CO₂ Einsparpotential liefert. Damit ein Abschlussergebnis gebildet werden kann, werden im Laufe des Kapitels 8 Annahmen getroffen, die die Realität möglichst genau abbilden sollen.

8.1 Vergleichsrechnung

8.1.1 Zusammenfassung der vorhandenen Daten

Im Kapitel 8.1.1 werden sämtliche vorhandene für die Vergleichsrechnung notwendigen Daten zusammengefasst und aufgeführt. Dies dient dem Zwecke der Übersichtlichkeit und einer erleichterten Nachvollziehbarkeit.

Polysun Simulation:

Tabelle 8-1 Daten Polysun Simulation für die Vergleichsrechnung

Einfamilienhaus	-----
Personenanzahl	2
Wohnfläche	77,5 m ²
Kollektorfeldertrag	2565,4 kWh
Fernwärmeverbrauch gesamt ohne Kollektor	12846 kWh
Kollektorfläche	9,44 m ²

Landesamt für Statistik:

Tabelle 8-2 Daten Landesamt für Statistik für die Vergleichsrechnung [13] [14]

Bebaute Flächen für Wohnungen in Nürnberg	3471,53 ha = 34715300 m ²
Anzahl der Gebäude für bereitgestellte Wohnungen	70949
Durchschnittliche Wohnfläche	77,5 m ²

N-ERGIE:

Tabelle 8-3 Daten N-ERGIE für die Vergleichsrechnung [10] [11]

Wärmelasten im Jahr 2017	1909,52 MW
Kundenanschlüsse	60000
CO ₂ Emissionen im Jahr 2017	457370 t

8.1.2 Rechnung

Im Kapitel 8.1.2 wird die Rechnung zum möglichen CO₂ Einsparpotential durchgeführt. Wegen nicht vorhandenen Statistiken werden für einige Werte sinnvolle Annahmen getroffen. Diese sind gekennzeichnet und werden erläutert. Sämtliche verwendeten Variablen werden im Symbolverzeichnis aufgelistet.

8.1.2.1 Prozentuale Fernwärmeersparnis durch den Einsatz eines Vakuumröhrenkollektors

Das Kapitel 8.1.2.1 beschäftigt sich mit der prozentualen Einsparmöglichkeit an CO₂ durch die Verwendung von Solarthermie. Die durchgeführte Polysun Simulation im Kapitel 6 zeigt eindeutig, dass eine Ersparnis der Fernwärme durch den Einsatz von Vakuumröhrenkollektoren erzielt wird. Für diesen Bereich der Rechnung werden die in Tabelle 8-1 aufgeführten Daten verwendet.

$$P_{\text{Fernwärme}} = \frac{K_{\text{Feldertrag}}}{F_{\text{ohne Kollektor}}} \cdot 100 \% = \frac{2565,4 \text{ kWh}}{12846 \text{ kWh}} \cdot 100 \% = 19,97 \%$$

8.1.2.2 Nutzbare Hausdachfläche

Für das Kapitel 8.1.2.2 wird die erste Annahme getroffen. Es liegen keine Statistiken vor, welche durchschnittliche Fläche oder in welchem durchschnittlichen Winkel sich die Hausdächer in Nürnberg befinden. Es wird daher davon ausgegangen, dass jedes

Hausdach in Nürnberg die Fläche der durchschnittlichen Wohnung abdeckt. Bei Hausdächern sind nicht 100 % der zur Verfügung stehenden Fläche nutzbar. Aus diesem Grund wird hier die Annahme getroffen, dass 70 % der Hausdachfläche für Solarthermieanlagen genutzt werden können. Nach den Angaben der N-ERGIE, werden 60000 Kunden mit Wärme versorgt. Es ist nicht ersichtlich, welche Kunden inbegriffen sind und ob es sich bei dieser Angabe um eine Person, einen Haushalt oder ein Wohngebäude mit mehreren Parteien handelt. Aus diesen Gründen wird die Annahme festgelegt, dass es sich bei den 60000 Kunden, um 60000 Einzelhäuser mit je einer Wohnung einer durchschnittlichen Größe von 77,5 m² handelt. Die verwendeten Daten können auch in den Tabellen 8-1, 8-2 und 8-3 nachvollzogen werden.

$$A_{ges,Hausdach} = A_{Fläche,durchschnittlich} \cdot \frac{PA_{Dach,nutzbar}}{100 \%} \cdot Anz_{Kunden}$$

$$A_{ges,Hausdach} = 77,5 \text{ m}^2 \cdot \frac{70 \%}{100 \%} \cdot 60000 = 3255000 \text{ m}^2$$

8.1.2.3 Benötigte Gesamtkollektorfläche

In dem Kapitel 8.1.2.3 wird die benötigte Gesamtkollektorfläche zur Reduzierung der Fernwärmelast um 19,97 % gegenüber dem Bezug seitens der N-ERGIE für die Stadt Nürnberg betrachtet. Es wird die für die Höhe der Reduzierung die benötigte Kollektorfläche eines Hauses, welche aus der Tabelle 8-1 ersichtlich ist, verwendet. Die Kollektorfläche wird anschließend mit der Anzahl der Kunden aus Tabelle 8-3 multipliziert. Daraus ergibt sich die benötigte Gesamtkollektorfläche für Nürnberg.

$$AK_{ges} = AK_{einzel} \cdot Anz_{Kunden} = 9,44 \text{ m}^2 \cdot 60000 = 566400 \text{ m}^2$$

8.1.2.4 Prozentualer Anteil Kollektorfläche zur Dachfläche

In dem Kapitel 8.1.2.4 stellt sich die Frage des prozentualen Anteils der auf Dächern verbauten Kollektorfläche in Bezug auf die gesamte zur Verfügung stehende Dachfläche. Dabei wird die Gesamtkollektorfläche durch die zur Verfügung stehende Dachfläche dividiert und dann mit 100 % multipliziert. Die gesamte zur Verfügung stehende Dachfläche Nürnbergs ist in Kapitel 8.1.2.2 berechnet.

$$PKD_{prozentual\ Kollektor,Dach} = \frac{AK_{ges}}{A_{ges,Hausdach}} \cdot 100 \% = \frac{566400 \text{ m}^2}{3255000 \text{ m}^2} \cdot 100 \% = 17,4 \%$$

8.1.2.5 CO₂ Ersparnis

Im Kapitel 8.1.2.5 wird nun das mögliche CO₂ Einsparpotential für die Stadt Nürnberg durch den Einsatz von Vakuumröhrenkollektoren berechnet. Die sich aus der Umwelterklärung ergebende gesamte CO₂ Bilanz für das Jahr 2017 wird mit dem prozentualen Anteil der Fernwärmersparnis aus Kapitel 8.1.2.1 verrechnet. Das daraus resultierende Ergebnis ist der Indikator dafür, wie viel CO₂ jährlich in Tonnen (t) durch die Integration von Solarthermie in das Stadtbild Nürnbergs eingespart werden kann. Vorhandene Werte können der Tabelle 8-3 entnommen werden.

$$E_{CO_2, \text{jährlich}} = M_{CO_2, \text{jährlich}} \cdot \frac{P_{\text{Fernwärme}}}{100 \%} = 457370 \text{ t} \cdot \frac{19,97 \%}{100 \%} = 91336,79 \text{ t}$$

9 Fazit und Ausblick

Abschließend werden die wichtigsten Argumente aufgeführt und offene Fragen angesprochen.

9.1 Zusammenfassung und Fazit

Der Einsatz von solarthermischen Kollektormodulen als regenerative örtliche Wärmeerzeugung ist eine alternative zum Fernwärmebezug. Durch die in Deutschland konstanten jährlichen Strahlungsleistungen rentieren sich solarthermische Anlagen. Bereits die nahezu autarke Erzeugung von Wärme in den Sommermonaten kann den Bezug des Wärmeangebotes durch Kraftwerke erheblich senken. In den kälteren Jahreszeiten ist eine Unterstützung oder ein fast vollkommener Bezug der externen Wärme unabdingbar. Dafür sind diese Monate in Deutschland zu kalt, der Sonnenstand zu niedrig und die solare Leistung zu gering, um ohne auszukommen. Dennoch kann bereits eine zur Bebauung nutzbare Dachfläche mit 17,74 % der Fläche an Kollektormodulen einen jährlichen Bezug von 19,97 % der Fernwärme senken. Dadurch lassen sich jährlich mindestens 91336,79 t an CO₂ einsparen. Somit kann die Energiewende durch solarthermische Kollektoren fortschrittlich gestaltet werden und ein wichtiger Beitrag für dieses Vorhaben sein.

9.2 Ausblick

Eine seit Beginn des Jahres 2018 eingeführte finanzielle Förderung für den Bau von solarthermische Anlagen, lässt darauf schließen, dass diese Konzepte sich in den nächsten Jahren wahrscheinlich stark vermehren werden. Sie können dadurch einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten und dem wichtigen Thema der Wärmeversorgung durch fossile Brennstoffe Abhilfe leisten.

Eine weitere Möglichkeit den Ausbau der Solarthermie voranzutreiben, wäre die Beteiligung von kommunalen Versorger in diesem Sektor. Dadurch könnten neben der Schaffung von neuen Arbeitsplätzen auch die Bürger durch die Bereitstellung eben dieser Anlagen seitens der Unternehmen entlastet werden. Ein Vermietungsangebot mit festgelegten Wartungskonzepten durch die kommunalen Versorger wäre eine Option. Hierfür gibt es noch keine vorhandenen Konzepte oder Überlegungen. Es stellt aber eine Option für die Zukunft dar.

10 Literaturverzeichnis

- [1] G. Müller, „Vattenfall,“ 24 12 2014. [Online]. Available: <https://blog.vattenfall.de/fernwaerme-ist-ein-integrationsschluessel-fuer-die-energiewende/>. [Zugriff am 14 11 2018].
- [2] T. Schabbach und P. Leibbrandt, Solarthermie, Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2014.
- [3] H. Watter, Regnerative Energiesysteme 4. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg , 2015.
- [4] C. M. GmbH, „Solaranlage.eu,“ [Online]. Available: <https://www.solaranlage.eu/solarthermie/solarkollektoren/vakuum-roehrenkollektoren>. [Zugriff am 21 11 2018].
- [5] C. Zinganell, „Ökonomische Analyse von unterschiedlichen solarthermischen Systemen für eine Einbindung in das bestehende Fernwärmenetz der Fernwärme Wien,“ Wien, 2013.
- [6] B. T. GmbH, „Solaranlagen Portal,“ [Online]. Available: <https://www.solaranlagen-portal.com/solarthermie/kollektoren/flachkollektor>. [Zugriff am 21 11 2018].
- [7] A. Oebbeke, „baulinks,“ 19 04 2016. [Online]. Available: <https://www.baulinks.de/webplugin/2016/0489.php4>. [Zugriff am 21 11 2018].
- [8] V. Ges.m.b.H., „Viessmann Vitosol 300 - TM,“ 05 2017. [Online]. Available: <https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/solaranlage/roehrenkollektoren/vitosol-300-tm.html>. [Zugriff am 23 11 2018].
- [9] NASA, 12 12 2017. [Online]. Available: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>. [Zugriff am 20 11 2018].
- [10] N-ERGIE, „Fernwärmedaten 2017,“ Nürnberg, 2018.

- [11] N-ERGIE, „Umwelterklärung der N-ERGIE Kraftwerke GmbH für 2018,“ N-ERGIE, Nürnberg, 2018.
- [12] V. Solaris, „Polysun Benutzerhandbuch,“ Vela Solaris AG, Winterthur, 2017.
- [13] B. L. f. Statistik, „Statistik kommunal 2017 Kreisfreie Stadt Nürnberg 09 564,“ Bayerisches Landesamt für Statistik, Fürth, 2018.
- [14] B. L. f. Statistik, „GENESIS - Online Datenbank,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/data?operation=abrufabelleAbrufen&selectionname=33111-001r&levelindex=1&levelid=1543413049686&index=1>. [Zugriff am 28 11 2018].