



Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin

Fachbereich 1

Ingenieurwissenschaften - Energie und Information

Regenerative Energien (B)

## Projekt: Planung einer solarthermischen Anlage

*Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Friedrich Sick*

Name	Matrikelnummer
Niels Feuerherdt	577669

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Angebot und Bedarf</b>	<b>1</b>
2.1	a . . . . .	1
2.2	b . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Komponentenauswahl</b>	<b>3</b>
3.1	c . . . . .	3
3.2	d . . . . .	4
3.3	e . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Hydraulik</b>	<b>4</b>
4.1	f . . . . .	4
4.2	g . . . . .	5
4.3	h . . . . .	5
4.4	i . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Schwankungsbreite</b>	<b>7</b>
5.1	j . . . . .	7
5.2	k . . . . .	7

## Abbildungsverzeichnis

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | Änderung der jährlichen solaren Bestrahlung in Berlin in Abhängigkeit von Ausrichtung und Neigung im Vergleich zur Horizontalen [1, S.92] . . . . . | 2 |
|---|---|---|

## Tabellenverzeichnis

- |   |  |     |
|---|--|-----|
| 1 | Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . . | iii |
|---|--|-----|

## Abkürzungsverzeichnis

## Projekt REST-Solarthermie, Zusammenfassung

## Feuerherdt, Niels

Angebot	Wert	Einheit
Globalstrahlung horizontal Berlin Mittel	1132,47	kWh/m <sup>2</sup> a
Ausrichtungsfaktor	1,05	-
Strahlung in Kollektorebene Mittel	1189,09	kWh/m <sup>2</sup> a
Strahlung in Kollektorebene Min.	1103,24	kWh/m <sup>2</sup> a
Strahlung in Kollektorebene Max.	1305,70	kWh/m <sup>2</sup> a

Bedarf	Wert	Einheit
Heizwärmebedarf Mittel	8000	kWh/a
Heizwärmebedarf Min.	7712,22	kWh/a
Heizwärmebedarf Max.	8287,78	kWh/a
WW-Wärmebedarf Mittel	2711,03	kWh/a
WW-Wärmebedarf Min.	1355,51	kWh/a
WW-Wärmebedarf Max.	4066,54	kWh/a
Zirkulationsverluste	2920,00	kWh/a
Gesamtwärmebedarf Mittel	13631,03	kWh/a
Gesamtwärmebedarf Min.	11987,73	kWh/a
Gesamtwärmebedarf Max.	15274,32	kWh/a

Kollektor, Speicher	Mittel	Extrema A	Extrema B
	Bezeichnung, Anz., Fläche, Volumen		
gewählter Kollektortyp	Viessmann Vitosol 200-FM	Viessmann Vitosol 200-FM	Viessmann Vitosol 200-FM
Anzahl Kollektoren	8	6	9
Kollektorfläche	18,48	13,86	20,79
gewählter Speichertyp	Viessmann Vitocell 360-M	Viessmann Vitocell 340-M	Viessmann Vitocell 360-M
Speichervolumen	950	750	950

Verrohrung	Wert	Einheit	Wert	Wert
Durchmesser DNxx	DIN20	-	DIN20	DIN25
Strömungsgeschwindigkeit	0,65	m/s	0,49	0,47

Druckverluste	Wert	Einheit	Wert	Wert
Druckverlust Kollektorfeld Parallelverschaltung	18000	Pa	13000	21000
Druckverlust Rohrleitung	11757,43	Pa	4884,72	5006,18
Druckverlust sonstiger Einbauten	5290,84	Pa	2198,12	2252,78
Gesamtdruckverlust des Kollektorkreises	35048,28	Pa	20082,84	28258,97

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse

## 1 Einleitung

Die Auslegung einer Solarthermieanlage bedarf einiger Vertiefungen und Berechnungen.

Ziel dieser Betrachtungen ist es alle Komponenten korrekt zu dimensionieren. Hierbei werden von Strahlungsbedingungen bis Anlageneigenschaften viele Faktoren mit eingebunden. Wie eine solche Auslegung annähernd funktionieren kann, zeigt diese Ausarbeitung.

## 2 Angebot und Bedarf

### 2.1 a

Anhand eines Datensatzes von monatlichen Einstrahlungsdaten für den Zeitraum von 2011-2020, welcher der Datenbank PVGIS entnommen worden ist [2], konnten Jahressummen für den Standort Berlin ermittelt werden.

Der Mittelwert der Jahressummen wurde im Folgenden als jährliche horizontale Globalstrahlungssumme verwendet. Für diesen Wert wurden die Differenzen zu der kleinsten und größten Jahressumme errechnet. Die größere Differenz wird als worst-case angenommen und als Toleranz  $\Delta E$  festgelegt. Diese erste Berechnung ergibt eine durchschnittliche jährliche Einstrahlungssumme auf der Horizontalen von  $E = 1132,465 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} \pm 111,055 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$ . Anhand der vorgegebenen Süd-Ost-Ausrichtung und dem Neigungswinkel von  $45^\circ$  kann aus dem untenstehenden Diagramm der Umrechnungs- bzw. Ausrichtungsfaktor abgelesen werden.

Dieser beträgt in diesem Fall 1,05, somit ergibt sich auf der geneigten Kollektorebene eine jährliche Einstrahlungssumme von  $E_{gen} = 1189,088 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} \pm 116,608 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$ .

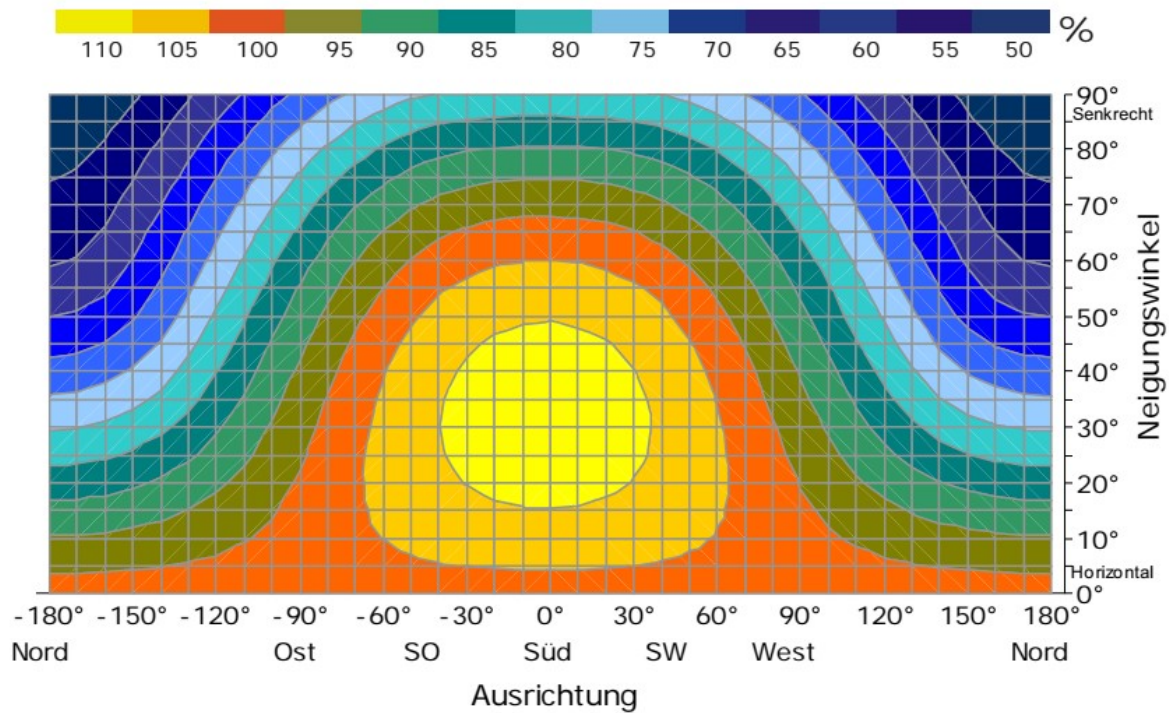


Abbildung 1: Änderung der jährlichen solaren Bestrahlung in Berlin in Abhängigkeit von Ausrichtung und Neigung im Vergleich zur Horizontalen [1, S.92]

## 2.2 b

Zur korrekten Dimensionierung der Anlage ist die Betrachtung des Gesamtwärmebedarfs von zentraler Rolle. Auf den Gesamtwärmebedarf haben vor allem die Dämm- und Speichereigenschaften des Gebäudes, sowie das Nutzungsprofil der Bewohner.

Für das betrachtete Gebäude werden  $160\text{m}^2$  Wohnfläche bei einem spezifischen jährlichen Heizwärmebedarf von  $50\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\cdot\text{a}}$  angegeben. Die Multiplikation dieser beiden Werte ergibt für den mittleren Heizwärmebedarf  $Q_H = 8000\frac{\text{kWh}}{\text{a}}$ .

Um eine begründete Abschätzung der Schwankungsbreite für diesen Wert zu erhalten, wurden Daten über den Gesamtverbrauch im Bereich “Space Heating” in Deutschland von 2012 bis 2021 verwendet.[3]

Mit Hilfe der Berechnung der relativen mittleren Abweichung der Werte konnte eine Toleranzgrenze von  $\Delta Q_H = \pm 287,78\frac{\text{kWh}}{\text{a}}$  ermittelt werden.

Anschließend wurde der Warmwasserwärmebedarf  $Q_{WW}$  für mittleren, niedrigen und hohen Verbrauch [4, S.119] berechnet. Mittels Gleichung 1 ergab sich für den betrachteten 4-Personen-Haushalt ein mittlerer Warmwas-

serwärmmebedarf inklusive Abweichung von  $Q_{WW,mit} = 2711,025 \frac{kWh}{a} \pm 1355,513 \frac{kWh}{a}$ .

$$Q_{WW} = c_p \cdot m \cdot \text{Bewohnerzahl} \cdot \rho \cdot \Delta T \quad (1)$$

spez. Wärmekapazität  $c_p = 3,68 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

Dichte  $\rho = 1038 \frac{kg}{m^3}$

Temperaturdifferenz  $\Delta T = 35K$

Des Weiteren ist der Wärmebedarf der Zirkulation zu berechnen, da auch dieser sich auf den Gesamtbedarf auswirkt. Hierfür wird die folgende Formel verwendet [4, S.73]:

$$Q_{ZV} = 0,2 \frac{kWh}{d \cdot m} \cdot \frac{t_Z}{24} \cdot L_Z \quad (2)$$

tägliche Betriebszeit  $t_Z = 24h$

Leitungslänge  $L_Z = 40m$

Aus Gleichung 2 geht ein Zirkulationsbedarf von  $Q_{ZV} = 2920 \frac{kWh}{a}$  hervor. Die Summe der Bedarfe ergibt den Gesamtwärmebedarf inklusive aufsummierter Toleranz. Dieser beläuft sich auf  $Q_{Ges} = 13631,025 \pm 1643,292 \frac{kWh}{a}$ .

### 3 Komponentenauswahl

#### 3.1 c

Es werden ein solarer Deckungsgrad  $f_{sol}$  von 30% und ein Systemnutzungsgrad von 20% für die Anlage angenommen[4, S.122].

Daraus ergibt sich gemäß Gleichung 3 eine benötigte Kollektorfläche von  $A_{Koll} = 17,195m^2$ .

$$A_{Koll} = \frac{f_{sol} \cdot Q_{Ges}}{\eta_{sys} \cdot E_{gen}} \quad (3)$$

### 3.2 d

Aus dem gegebenen Angebot des Herstellers Viessmann wurde der “Viessmann Vitosol 200-FM“-Flachkollektor gewählt.

Dieser hat eine Absorberfläche von  $2,31m^2$  und es werden somit 8 Kollektoren benötigt, was eine tatsächliche Kollektorfläche von  $18,48m^2$  bedeutet.

### 3.3 e

Für die Dimensionierung des Speichers wird als Faustregel angenommen, dass ca. 50 l Speichervolumen je  $m^2$  Kollektorfläche benötigt werden [4, S.122], anhand dieser Annahme ergibt sich ein benötigtes Speichervolumen von 924 Litern.

Passend zum gewählten Kollektor und dem Anforderungsprofil wurde der “Viessmann Vitocell 360-M“-Speicher mit einem Volumen von 950 Litern gewählt.

## 4 Hydraulik

### 4.1 f

Aus dem auf die Kollektorfläche bezogenen Durchfluss im Kollektorkreis von  $40 \frac{l}{m^2 \cdot h}$  und der zuvor berechneten Kollektorfläche ergibt sich ein Volumenstrom  $\dot{V} = 793,2 \frac{l}{h}$ . Gemeinsam mit der anglegten Strömungsgeschwindigkeit  $v_R = 0,7 \frac{m}{s}$  ergibt sich mit Gleichung 4 [4, S.42] ein minimaler Rohrrinnen-Durchmesser  $d_{R,min}$  von rund 19,33 mm.

$$d_{R,min} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot v_R}} = 19,33mm \quad (4)$$

Der Durchmesser mit dem im Weiteren gearbeitet wird, ist der nächstgrößere DIN-genormte Durchmesser, in diesem Fall DIN20 mit einem Rohrrinnen-Durchmesser von 20 mm.



## 4.2 g

Kombiniert kann man nun die Werte für die Kollektorfläche und den Durchfluss mit den Herstellerangaben zum Druckverlust über einen Kollektor [5, S.129] kann der Druckverlust des Kollektorfeldes in unterschiedlichen Verschaltungen berechnet werden. Für eine vollkommene Parallelschaltung der 8 Kollektoren ergibt sich demnach ein Druckverlust von 14500 Pa. Verglichen mit einer Parallelschaltung von 2 Reihenschaltungen á 4 Kollektoren, welche dann einen Druckverlust von 58000 Pa vorweisen würde, ist die Parallelschaltung aller 8 Kollektoren, weshalb im Weiteren von diesem Fall ausgegangen wird.

## 4.3 h

Der Druckverlust über die Rohrleitung des Kollektorfeldes berechnet sich nach Gleichung 6 hierbei wurde die vorbestimmte Rohrleitung genutzt, bei dieser handelt es sich um eine neue Kupferleitung bei der die einfache Leitungslänge 12 m beträgt.

Zuvor muss die Reynoldszahl berechnet werden, aus der sich die benötigte Rohrreibungszahl  $\lambda$  ergibt. Hierbei ist zu beachten, dass je nach Reynoldszahl die Formel für die Rohrreibungszahl  $\lambda$  unterschiedlich ist. Das kommt zu stande, da für laminare und turbolente Strömungen unterschiedliche Berechnungen nötig sind. In diesem Fall handelt es sich um eine turbolente Strömung.

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} = 0,0442 \quad (5)$$

$$\Delta p_r = \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot \rho \cdot v_R^2 \cdot \frac{L_R}{d_R} = 11757,43 Pa \quad (6)$$

$$\text{Reynoldszahl } Re = \frac{v_R \cdot d_R}{\nu} = 2614,39$$

$$\text{kinematische Viskosität } \nu = 5 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$\text{Länge des Rohres } L_R = 24m$$

Das Ergebnis dieser Berechnung ist ein Druckverlust in der Rohrleitung

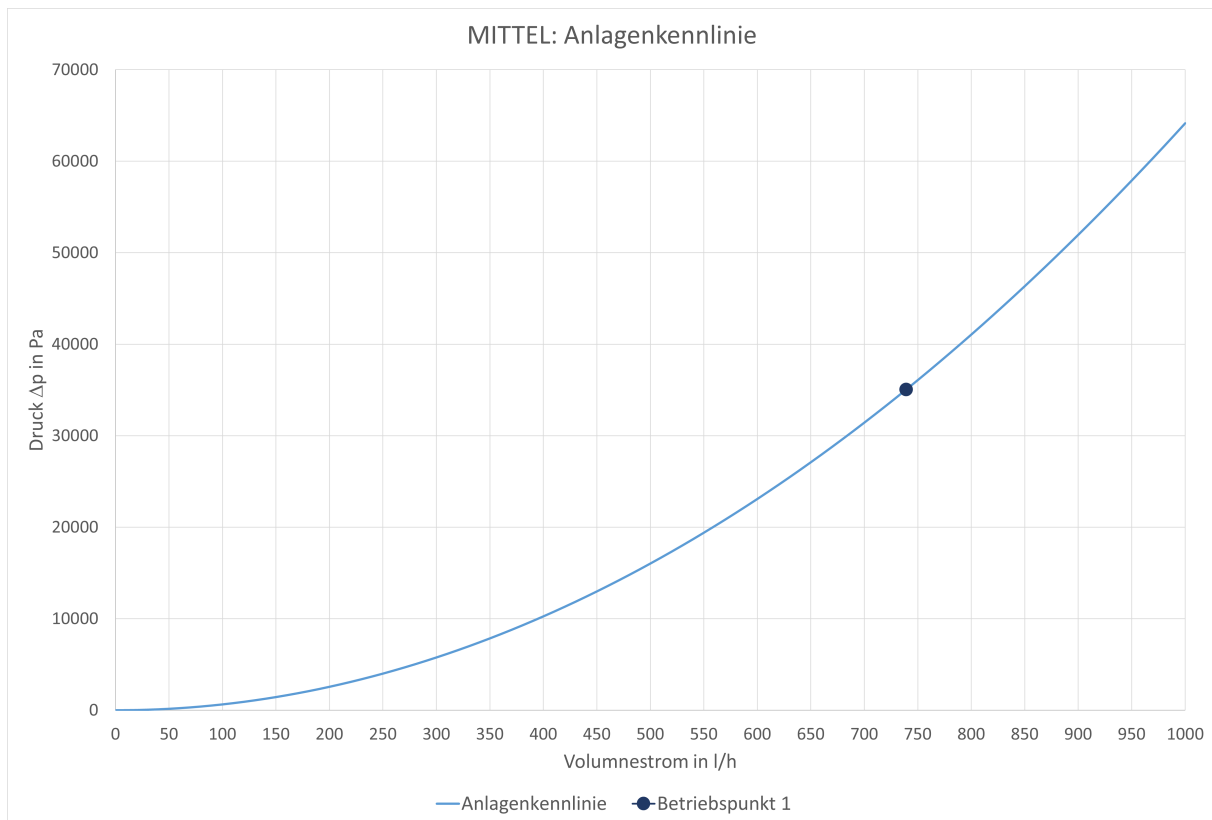
von  $\Delta p_r = 11757,43 Pa$ . Anschließend wird die Berücksichtigung der Druckverluste durch die Einzelwiderstände und im Wärmeübertrager vereinfacht und es wird angenommen, dass diese in etwa 45% des Verlustes in der Rohrleitung betragen. Es ergibt sich ein Verlust von  $\Delta p_{EW,WÜ} = 5290,84 Pa$ .

#### 4.4 i

Um die Anlagenkennlinie des Systems erstellen zu können, muss abschließend noch der Gesamtdruckverlust  $\Delta p_0$  aus der Summe der ermittelten Druckverluste berechnet werden. Mit diesem wird entsprechend Gleichung 7 die Kennlinie berechnet und visualisiert. In Abbildung ?? ist die Kennlinie inklusive dem Betriebspunkt abgebildet.

$$\Delta p(\dot{V}) = \Delta p_0 \cdot \frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Gesamtdruckverlust } p_0 &= p_r + p_{EW,WÜ} = 35048,28 Pa \\ \text{Volumenstrom im Kollektorkreis } \dot{V}_0 &= 739,2 \frac{l}{h} \end{aligned}$$



## 5 Schwankungsbreite

### 5.1 j

Wiederholen Sie die gesamte Auslegung für die beiden Extremfälle gemäß Aufgaben a) und b) A)  $E_{max} = E + \Delta E$  und  $Q_{min} = Q - \Delta Q$  sowie B)  $E_{min} = E - \Delta E$  und  $Q_{max} = Q + \Delta Q$  und dokumentieren Sie die wesentlichen anlagentechnischen Unterschiede Geben Sie eine begründete Empfehlung für eine der Systemkonfigurationen ab

### 5.2 k

(hierfür gibt es Bonuspunkte) Recherchieren Sie und wählen Sie eine geeignete Pumpe für den Kollektorkreis aus, die Ihrer gewählten Systemkonfiguration gerecht wird

## Literatur

- [1] Volker Quaschnig. *Regenerative Energiesysteme*. HANSER Verlag, 2019.
- [2] Joint Research Centre Energy Efficiency European Commission and Renewables Unit. Jrc photovoltaic geographical information system. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/).
- [3] eurostat. Disaggregated final energy consumption in households - quantities. [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser//product/view/NRG\\_D\\_HHQ](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser//product/view/NRG_D_HHQ), May 2023.
- [4] Friedrich Sick. Modul rest: Biomasse und thermische systeme. [https://moodle.htw-berlin.de/pluginfile.php/1709252/mod\\_resource/content/2/REST\\_Thermische%20Systeme\\_Sick\\_SoSe23.pdf](https://moodle.htw-berlin.de/pluginfile.php/1709252/mod_resource/content/2/REST_Thermische%20Systeme_Sick_SoSe23.pdf).
- [5] Viessmann GmbH Werke. Planungsanleitung. [https://moodle.htw-berlin.de/pluginfile.php/1709261/mod\\_resource/content/2/VIESSMANN-Unterlagen.pdf](https://moodle.htw-berlin.de/pluginfile.php/1709261/mod_resource/content/2/VIESSMANN-Unterlagen.pdf), May 2017.