



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

1	Einleitung	1
2	Angebot und Bedarf	1
2.1	a	1
2.2	b	2
3	Komponentenauswahl	4
3.1	c	4
3.2	d	4
3.3	e	4
4	Hydraulik	5
4.1	f	5
4.2	g	5
4.3	h	6
4.4	i	7
5	Schwankungsbreite	8
5.1	j	8
6	Pumpenauswahl	10
6.1	k	10

Abbildungsverzeichnis

1	Änderung der jährlichen solaren Bestrahlung in Berlin in Abhängigkeit von Ausrichtung und Neigung im Vergleich zur Horizontalen [1, S.92]	2
2	Durchflusswiderstand Vitosol-FM/-F, Typ SV und SH[2, S.129]	6
3	Anlagenkennlinie des gemittelten Systems	8
4	Vergleich der Kennlinien und Betriebspunkte aller Auslegungen	9

Abkürzungsverzeichnis

Formelzeichen	Bedeutung
E_H	mittlere jährliche Strahlung auf der Horizontalen
ΔE	Toleranz zur Strahlung
E_{gen}	mittlere Strahlung in Kollektorebene
$E_{gen,max}$	maximale erwartbare jährliche Bestrahlung in Kollektorebene
Q_H	mittlerer Heizwärmebedarf
ΔQ_H	Toleranz zum Heizwärmebedarf
Q_{Ges}	mittlerer jährlicher Gesamtwärmebedarf
$Q_{Ges,min}$	minimaler jährlicher Gesamtwärmebedarf
\dot{m}	Massenstrom je Person bei mittlerem Verbrauch
c_p	Wärmekapazität Tycofor
ΔT	Temperaturdifferenz
ρ	Dichte Tycofor
Q_{WW}	mittlerer Warmwasserwärmebedarf
L_Z	Leitungslänge
t_Z	Betriebsstunden je Tag
Q_{ZV}	Zirkulationsverluste
f_{sol}	Solarer Deckungsgrad
η_{sys}	Systemnutzungsgrad
A_{Koll}	minimal benötigte Kollektorfläche
v_R	angelegte Strömungsgeschwindigkeit
\dot{V}	Volumenstrom
$d_{R,min}$	berechneter Rohrrinnen-Durchmesser
L_R	charakteristische Rohrleitungslänge
ν	kinematische Viskosität Tyfocor
Re	Reynoldszahl
λ	Rohrreibungszahl
Δp_r	Druckverlust in der Rohrleitung
$\Delta p_{EW,WÜ}$	Druckverlust in Einbauten, hier: Einzelwiderstände und Wärmeübertrager
Δp_0	Gesamtdruckverlust des Kollektorkreises
\dot{V}_0	Volumenstrom im Kollektorkreis

Projekt REST-Solarthermie, Zusammenfassung

Feuerherdt, Niels

Angebot	Wert	Einheit
Globalstrahlung horizontal Berlin Mittel	1132,47	kWh/m ² a
Ausrichtungsfaktor	1,05	-
Strahlung in Kollektorebene Mittel	1189,09	kWh/m ² a
Strahlung in Kollektorebene Min.	1103,24	kWh/m ² a
Strahlung in Kollektorebene Max.	1305,70	kWh/m ² 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 0: 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 [3], 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 ΔE festgelegt. Diese erste Berechnung ergibt eine durchschnittliche jährliche Einstrahlungssumme auf der Horizontalen von $E_H = 1132,465 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} \pm 111,055 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$.

Anhand der vorgegebenen Süd-Ost-Ausrichtung und dem Neigungswinkel von 45° kann aus dem folgenden Diagramm der Umrechnungs- bzw. Ausrichtungsfaktor abgelesen werden.

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

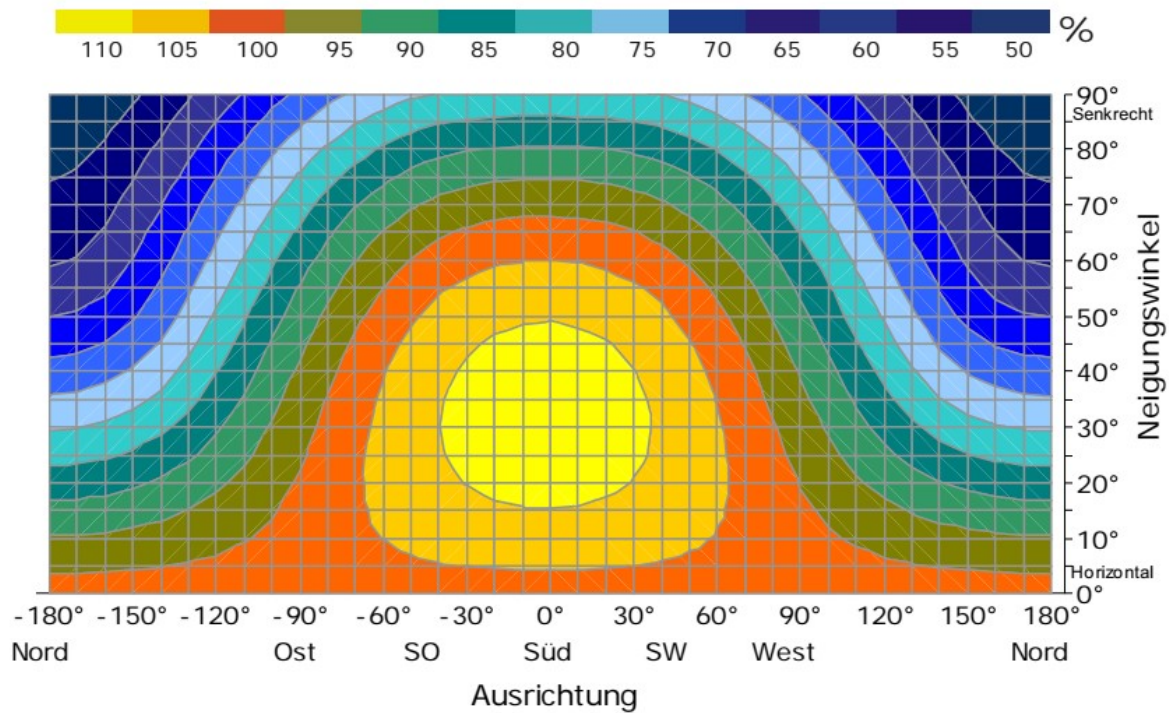


Abbildung 1: Änderung der jährlichen solaren Bestrahlung in Berlin in Abhängigkeit von Ausrichtung und Neigung im Vergleich zur Horizontalen [1, S.92]

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 Einfluss.

Für das betrachtete Gebäude werden 160m^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.[4]

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 [5, S.119] berechnet. Mittels Gleichung 1 ergab sich für den betrachteten 4-Personen-Haushalt ein mittlerer Warmwasserwärmebedarf von $Q_{WW,mit} = 2711,025 \frac{kWh}{a} \pm 1355,513 \frac{kWh}{a}$.

$$Q_{WW} = c_p \cdot \dot{m} \cdot \text{Bewohnerzahl} \cdot 365d \cdot \rho \cdot \Delta T \quad (1)$$

täglicher Massenstrom je Person bei mittlerem Verbrauch $\dot{m} = 50 \frac{l}{Person \cdot d}$

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 [5, 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 η_{sys} von 20% für die Anlage angenommen [5, 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 [5, 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 [5, S.42] ein minimaler Rohrrinnendurchmesser $d_{R,min}$ von rund 19,33 mm.

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

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

4.2 g

Kombiniert man nun die Werte für die Kollektorfläche und den Durchfluss im Kollektorkreis, kann man mittels des in Abbildung 2 vom Hersteller gegebenen Diagrammes den Druckverlust über einen Kollektor und damit auch den Druckverlust des Kollektorfeldes in unterschiedlichen Verschaltungen berechnen. Für eine vollkommene Parallelschaltung der 8 Kollektoren ergibt sich demnach ein Druckverlust von 14500 Pa. Verglichen mit einer Parallelschaltung von zwei Reihenschaltungen á 4 Kollektoren, welche dann einen Druckverlust von 58000 Pa vorweisen würde, ist die Parallelschaltung aller 8 Kollektoren deutlich verlustärmer, weshalb im Weiteren von diesem Fall ausgegangen wird.

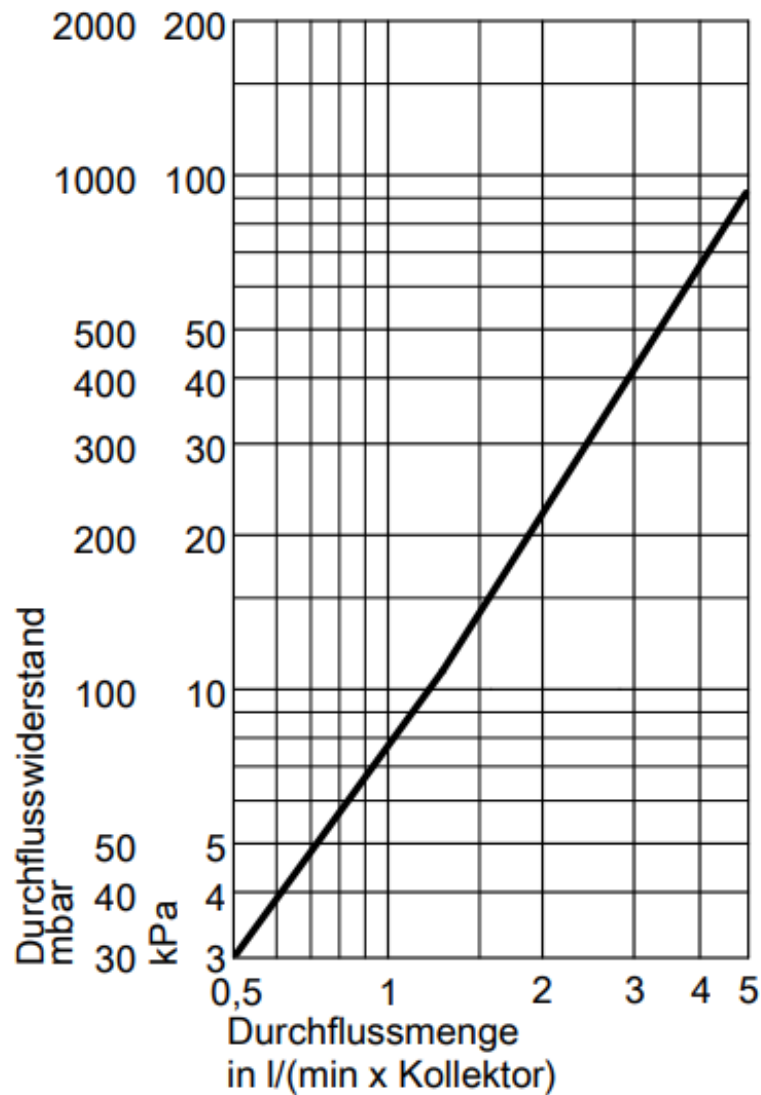


Abbildung 2: Durchflusswiderstand Vitosol-FM/-F, Typ SV und SH[2, S.129]

4.3 h

Der Druckverlust über die Rohrleitung des Kollektorfeldes berechnet sich nach Gleichung 6. Hierbei wurde die vorbestimmte Rohrleitung genutzt, welche eine neue Kupferleitung ist, bei der die einfache Leitungslänge 12 m beträgt.

Zuvor muss die Reynoldszahl berechnet werden, aus der sich die benötigte Rohrreibungszahl λ ergibt. Hierbei ist zu beachten, dass je nach Reynoldszahl die Formel für die Rohrreibungszahl λ 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 Δp_0 aus der Summe der ermittelten Druckverluste berechnet werden. Mit diesem wird entsprechend Gleichung 7 die Kennlinie berechnet und visualisiert. In Abbildung 3 ist die Kennlinie inklusive dem Betriebspunkt abgebildet.

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

$$\text{Gesamtdruckverlust } \Delta p_0 = p_r + p_{EW,WÜ} = 35048,28 Pa$$

$$\text{Volumenstrom im Kollektorkreis } \dot{V}_0 = 739,2 \frac{l}{h}$$

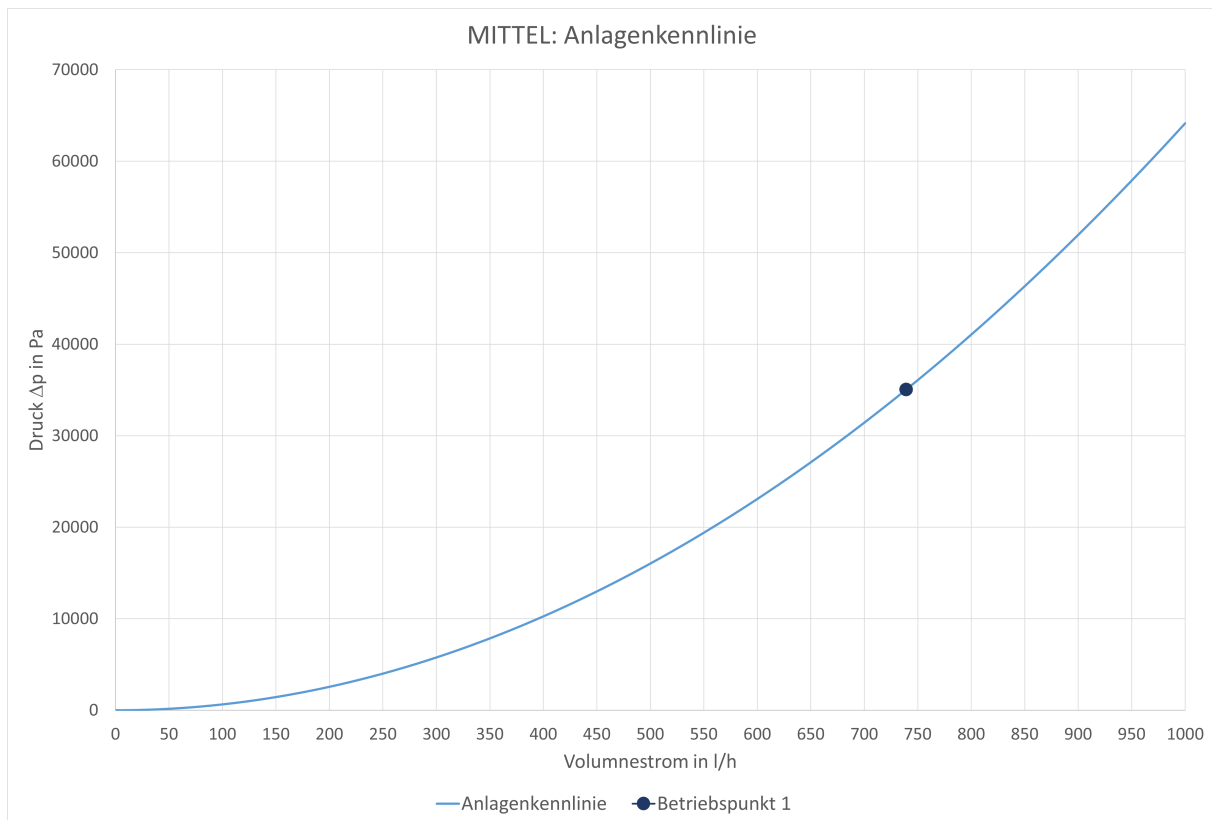


Abbildung 3: Anlagenkennlinie des gemittelten Systems

5 Schwankungsbreite

5.1 j

Um die Auslegung des Systems zu vollenden, ist es notwendig neben der gemittelten Variante auch die Extrema zu dimensionieren, um abschließend feststellen zu können, ob Anpassungen am gemittelten System notwendig sind, um eine sichere Versorgung gewährleisten zu können.

Das erste Extrema ist die Dimensionierung der Anlage bei maximaler Bestrahlung $E_{gen,max}$ und minimalem jährlichen Gesamtwärmebedarf $Q_{Ges,min}$. Beim zweiten Extrema werden die jeweils entgegengesetzten Werte genutzt. Das erste Extrema benötigt 2 Kollektoren weniger, da bei höherem Ertrag je Kollektor weniger Wärme benötigt wird. Es handelt sich also um die in diesem Rahmen bestmöglichen Umstände. Daraus folgt ebenfalls, dass das Speichervolumen um 231 Liter sinkt und der kleinere Viessmann Vitocell 340-M Speicher verwendet werden kann. Die Rohrleitung für beide Systeme wären DIN20-Rohre. Das führt dazu, dass der Volumenstrom im

Vergleich sinkt, die Strömung laminar wird und eine Verringerung des Gesamtdruckverlustes um rund 15000 Pa erwartbar ist.

Das zweite Extrema stellt insgesamt betrachtet den erwartbaren Worst Case dar. Es würde 1 Kollektor mehr benötigt werden als beim gemittelten System. Beim Speicher würde weiterhin der Viessmann Vitocell 360-M mit 950 Liter Fassungsvermögen genutzt werden, obwohl der errechnete Speicherraum um 115,5 Liter auf 1039,5 Liter steigen würde. Hier gäbe es keine Änderung, da wir bei diesem Modell bereits den größten Speicher des gewählten Herstellers nutzen. Die Rohrleitungen des Systems müssten auf DIN25 vergrößert werden, so hätte das System trotz gestiegenem Volumenstrom eine Minderung des Gesamtdruckverlustes von rund 6800 Pa vorzuweisen.

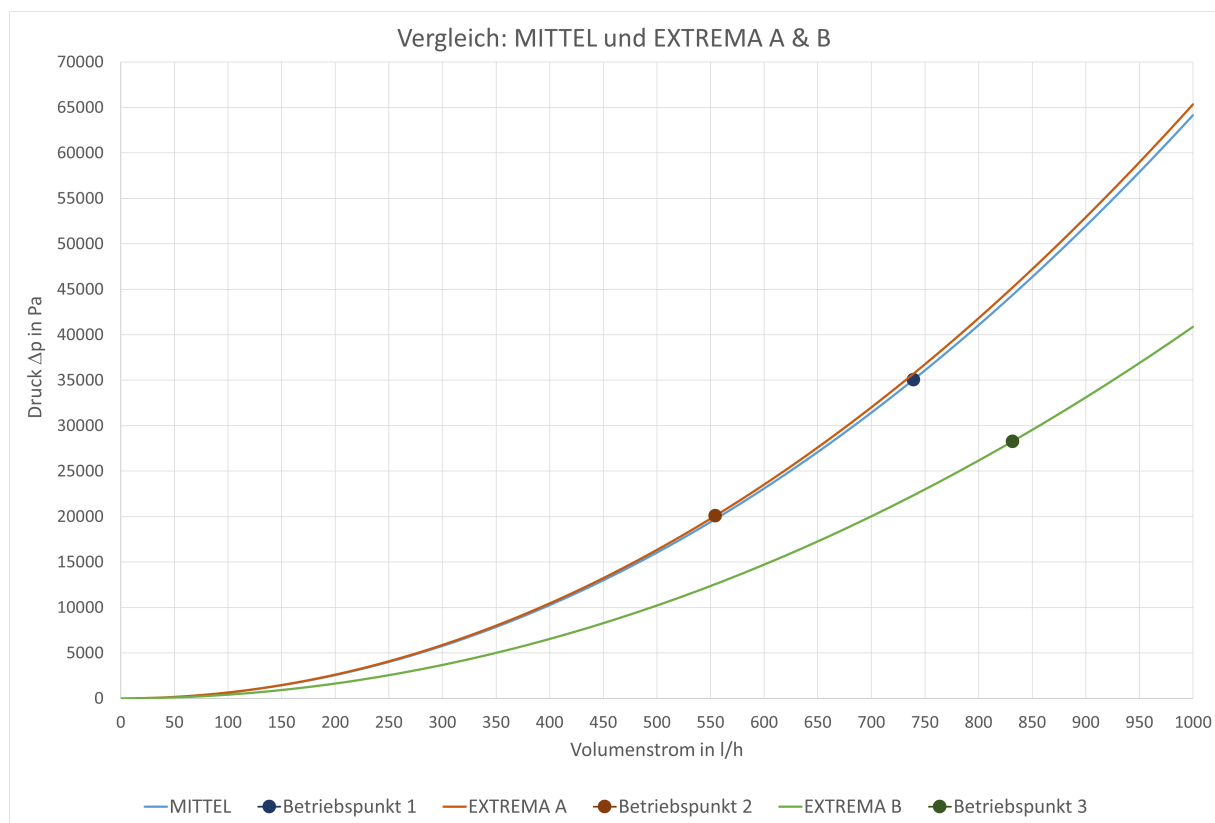


Abbildung 4: Vergleich der Kennlinien und Betriebspunkte aller Auslegungen

Abschließend würde ich das System an das zweite Extrema anpassen. Denn trotz der Mehrkosten für Kollektoren und Verrohrung wäre dieses System gegenüber den beiden Anderen finanziell vorteilhafter, da so sichergestellt werden kann, dass auch bei schlechten Umständen der solare Deckungsgrad

auf min. 30% gehalten wird und so eine Inbetriebnahme der Nachheizung außerhalb der Heizperioden verhindert werden könnte. Zusätzlich kann im Vergleich zum Mittel-System in Unterabschnitt 6.1 ein kleineres und entsprechend preiswerteres Pumpenmodell gewählt werden.

6 Pumpenauswahl

6.1 k

Mit dem Volumenstrom der gewählten Systemkonfiguration von $831,6 \frac{l}{h}$ und der Annahme, dass 10000 Pa annähernd einer Förderhöhe von einem Meter entsprechen und so eine Förderhöhe von ca. 2,82 Meter benötigt wird, kann eine Pumpe gewählt werden. In diesem Fall wird sich für eine *Grundfos Alpha1 25-40 180* entschieden. Diese wird unter Angabe der genannten Parameter im herstellereigenen Auslegungssystem[6] empfohlen und ist unter den empfehlenden Pumpen die preiswerteste Variante.

Literatur

- [1] Volker Quaschnig. *Regenerative Energiesysteme*. HANSER Verlag, 2019.
- [2] Viessmann GmbH Werke. Planungsanleitung. https://moodle.htw-berlin.de/pluginfile.php/1709261/mod_resource/content/2/VIESSMANN-Unterlagen.pdf, May 2017.
- [3] Joint Research Centre Energy Efficiency European Commission and Renewables Unit. Jrc photovoltaic geographical information system. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/.
- [4] eurostat. Disaggregated final energy consumption in households - quantities. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser//product/view/NRG_D_HHQ, May 2023.
- [5] 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.
- [6] GRUNDFOS GMBH. Pumpenauslegung. <https://product-selection.grundfos.com/de>.