

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
1.1 Wärmepumpe	3
1.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung	3
1.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle	3
<b>2 Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1 Solarzelle	4
2.2 Wärmepumpe	5
<b>3 Versuchsanordnung</b>	<b>7</b>
3.1 Wärmepumpe	7
3.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung	10
3.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird	12
3.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle	13
<b>4 Geräte liste</b>	<b>13</b>
<b>5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse</b>	<b>14</b>
5.1 Wärmepumpe	14
5.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung	17
5.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen	17
5.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen	17
5.2.3 Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird	17
5.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle	17
<b>6 Auswertung</b>	<b>17</b>
6.1 Wärmepumpe	17
6.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung	17
6.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen	17
6.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen	17
6.2.3 Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird	17
6.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle	17
<b>7 Diskussion</b>	<b>17</b>
7.1 Wärmepumpe	17
7.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung	17
7.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen	17
7.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen	17

7.2.3	Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird . . . . .	17
7.3	Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle . . . . .	17
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	<b>17</b>
8.1	Wärmepumpe . . . . .	17
8.2	Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung . . . . .	17
8.2.1	Serienschaltung der beiden Solarzellen . . . . .	17
8.2.2	Parallelschaltung der beiden Solarzellen . . . . .	17
8.2.3	Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird . . . . .	17
8.3	Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle . . . . .	17

## 1 Aufgabenstellung

### 1.1 Wärmepumpe

- Messung des Temperaturverlaufes in zwei Wasserbehältern, der von der Pumpe aufgenommenen Leistung und der Drücke nach Kompression bzw. Expansion im Kältemittelkreislauf über 1 Stunde
- Bestimmung der Leistungszahl und des Gütegrades als Funktion der Temperaturdifferenz
- Erstellung des p-H-Diagrammes des Kreisprozesses aufgrund der gemessenen Werte zu Beginn und am Ende der Messung

### 1.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung

Die Kennlinie des Solarzellenmoduls  $I(U)$  ist bei kontanter Temperatur aufzunehmen. Weiters sind ein  $I(U)$ - und ein  $P(U)$ -Diagramm zu erstellen. Auch werden die Kenndaten Leerlaufspannung ( $U_L$ ), Kurzschlussstrom ( $I_K$ ), sowie am Betriebspunkt maximaler Leistung ( $MPP$ ) die Spannung ( $U_{MPP}$ ), den Strom ( $I_{MPP}$ ), die Leistung ( $P_{MPP}$ ) und schließlich der Füllfaktor bestimmt.

Dies wird für folgende Schaltungen durchgeführt:

- Serienschaltung der beiden Solarzellen
- Parallelschaltung der beiden Solarzellen
- Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird

### 1.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle

Gegeben sind eine einzelne Solarzelle, Lampen als Lichtquelle, ein Leistungsmessgerät, sowie ein Quellenmessgerät (Sourcemeter) zur automatisierten Messung der Kennlinie.

Damit werden folgende Schritte durchgeführt:

- Messung der Dunkelkennlinie: An der einzelnen, abgedeckten Solarzelle wird mit Hilfe des Sourceters automatisiert die Kennlinie aufgenommen. Fitten Sie den  $I(U)$ -Verlauf mit der gegebenen Formel und bestimmen Sie die Parameter der Diode.

- Messung der Hellkennlinie und Bestimmung des Wirkungsgrades: Die einzelne Solarzelle wird mit Hilfe der Lampen bestrahlt. Aus den aufgenommenen Kennlinien werden die Diodenparameter, sowie im Punkt der maximalen Leistung (MPP) die Wirkungsgrade ermittelt.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Solarzelle

Eine Solarzelle, die auch als photovoltaische Zelle bezeichnet wird, wandelt Sonnenlicht durch den Photoeffekt in elektrische Energie um. Der Photoeffekt ist das Phänomen, bei dem ein Material Photonen (Lichtteilchen) absorbiert und freie Elektronen und Löcher erzeugt, die zur Erzeugung von elektrischem Strom genutzt werden können.

Die Grundstruktur einer Solarzelle besteht aus einer dünnen Halbleiterschicht, die in der Regel aus Silizium besteht. Diese Halbleiterschicht befindet sich zwischen zwei Metallkontakte, von denen einer auf der Ober- und einer auf der Unterseite liegt. Wenn Sonnenlicht auf die Halbleiterschicht fällt, werden die Photonen des Sonnenlichts von dem Halbleitermaterial absorbiert. Dies führt dazu, dass einige der Elektronen im Material angeregt werden und auf ein höheres Energieniveau springen, wobei ein "Lochum Material zurückbleibt, wo das Elektron vorher war.

Die angeregten Elektronen und die durch die absorbierten Photonen entstandenen Löcher werden dann durch das elektrische Feld getrennt, das durch den Übergang zwischen den beiden Schichten des Halbleiters entsteht. Dieses elektrische Feld wird durch Dotierung des Halbleiters mit Verunreinigungen erzeugt, um einen p-n-Übergang zu schaffen. Die p-Typ-Halbleiterschicht hat einen Überschuss an positiv geladenen Löchern, während die n-Typ-Schicht einen Überschuss an negativ geladenen Elektronen hat.

Die angeregten Elektronen werden in Richtung der n-Typ-Schicht gezogen, während die Löcher in Richtung der p-Typ-Schicht gezogen werden. Durch diese Ladungstrennung entsteht eine Spannungsdifferenz über der Halbleiterschicht, die zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt werden kann.

Die Shockley-Gleichung beschreibt die Beziehung zwischen dem Stromdurchsatz einer Diode und der an ihr anliegenden Spannung. Da eine Solarzelle nichts anderes als eine Diode ist, gilt dieses Gesetz auch in diesem Fall. Die Shockley-Gleichung kann verwendet werden, um die Diodenkennlinie einer Solarzelle anzupassen und wichtige Parameter wie den Fotostrom, den Sättigungsstrom und den Idealitätsfaktor

zu ermitteln. Diese Informationen sind nützlich, um die Leistung einer Solarzelle zu bewerten und ihr Design für eine maximale Effizienz zu optimieren.

Die Diodenkennlinie einer Solarzelle kann zur Bewertung und Charakterisierung der Leistung der Zelle verwendet werden. Durch die Analyse der Diodenkennlinie können die folgenden Schlüsselparameter der Solarzelle bestimmt werden:

1. Leerlaufspannung (Voc): Dies ist die Spannung, bei der die Solarzelle keinen Strom erzeugt, und entspricht der maximalen Ausgangsspannung der Zelle. Die Leerlaufspannung wird durch die Beleuchtungsstärke und die intrinsischen Eigenschaften der Zelle bestimmt.
2. Kurzschlussstrom (Isc): Dies ist der Strom, der von der Solarzelle erzeugt wird, wenn die Spannung über der Zelle gleich Null ist, und entspricht der maximalen Stromabgabe der Zelle. Der Kurzschlussstrom wird durch die Beleuchtungsstärke und die physikalischen Eigenschaften der Zelle bestimmt.
3. Füllungsfaktor (FF): Er ist ein Maß für den Wirkungsgrad der Solarzelle und wird durch das Verhältnis zwischen der maximalen Ausgangsleistung der Zelle und dem Produkt aus Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom bestimmt. Der Füllfaktor wird von den physikalischen Eigenschaften der Zelle, wie der Rekombinationsrate und dem Serien- und Nebenschlusswiderstand, beeinflusst.
4. Maximaler Leistungspunkt (MPP): Dies ist der Punkt auf der Diodenkennlinie, an dem die Solarzelle die maximale Leistung abgibt. Der Punkt maximaler Leistung wird durch den Schnittpunkt der Lastlinie mit der Diodenkennlinie bestimmt und wird von der Beleuchtungsstärke und den physikalischen Eigenschaften der Zelle beeinflusst.

Durch die Auswertung und Analyse dieser Schlüsselparameter kann die Diodenkennlinie wertvolle Erkenntnisse über die Leistung einer Solarzelle liefern. Diese Informationen können dazu genutzt werden, das Design der Solarzelle zu optimieren und ihren Wirkungsgrad und ihre Leistung zu verbessern.

## 2.2 Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe ist ein Gerät, das Wärmeenergie von einem Ort zum anderen überträgt. Sie wird sowohl für Heiz- als auch für Kühlzwecke eingesetzt und basiert auf den Prinzipien der Thermodynamik.

Im Kühlbetrieb nimmt eine Wärmepumpe Wärme aus dem Innenraum auf und gibt sie nach außen ab. Im Heizbetrieb arbeitet sie umgekehrt, indem sie der Außenluft, dem Boden oder dem Wasser Wärme entzieht aus der Außenluft, dem Boden oder dem Wasser entzieht und an die Innenräume abgibt. Dies macht eine

effiziente Möglichkeit, ein Gebäude zu heizen oder zu kühlen, da sie weniger Energie zur Wärme zu übertragen als sie zu erzeugen.

Die Effizienz einer Wärmepumpe wird durch ihre Leistungszahl  $\epsilon$  (COP) gemessen. Die Leistungszahl ist das Verhältnis zwischen der übertragenen Wärmemenge und der von der Wärmepumpe verbrauchten Energie. Eine höherer Leistungszahl bedeutet eine effizientere Wärmepumpe an, da sie mehr Wärmeenergie für die gleiche Energiemenge übertragen kann Energiemenge mehr Wärmeenergie übertragen kann (d. h. mit einem COP von  $\epsilon$  kann man  $\epsilon$  Einheiten an Wärmeenergie Energie für jede verbrauchte Energieeinheit übertragen).

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{P_{el}} \quad (1)$$

Wobei  $\dot{Q}$  der durch die Wärmepumpe verursachte Wärmefluss ist und  $P_{el}$  die benötigte Leistung ist die Wärmepumpe zu betreiben. Nun lässt sich der Gütegrad mittels der Leistungszahl definieren, sie ist die Kenngröße der Güte indem sie das Verhältnis der erhaltene Leistungszahl  $\epsilon$  zu der theoretisch Maximalen  $\epsilon_{\max} = \frac{T_h}{T_h - T_k}$  angibt.

$$\eta = \frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}} \quad (2)$$

Der Kältekreislauf ist ein thermodynamischer Prozess der von einer Wärmepumpe durchgeführt wird. Dieser Prozess entzieht Wärme aus einer Umgebung mit niedriger Temperatur und gibt sie an eine Umgebung mit hoher Temperatur ab. Der Prozess wird in Kältesystemen wie Klimaanlagen und Kühlschränken verwendet. Kühlschränke.

Der Kältekreislauf besteht aus vier Hauptstufen:

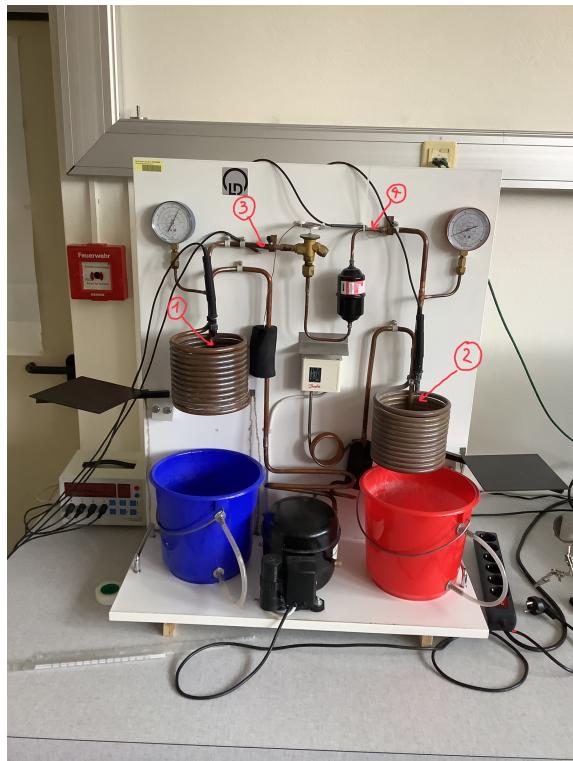
1. Isentrope Verdichtung: Das Kältemittel wird durch einen Kompressor komprimiert, wodurch Druck und Temperatur erhöht werden. Druck und Temperatur erhöht. Diese Stufe wird durch eine Linie dargestellt, die von niedrigem Druck und niedriger Enthalpie zu hohem Druck und hoher Enthalpie isentrop verläuft.
2. Isobare Kondensation: Das unter hohem Druck stehende und auf hohe Temperatur gebrachte Kältemittel wird dann in einem Verflüssiger abgekühlt, wo es Wärme abgibt und zu einer Flüssigkeit kondensiert. Diese Stufe wird durch eine horizontale Linie dargestellt, die von hoher Enthalpie zu niedriger Enthalpie verläuft, während der Druck konstant bleibt.

3. Isenthalpe Drosselung: Das flüssige Kältemittel wird dann durch ein Expansionsventil geleitet, wo sein Druck verringert wird, wodurch es zu einem Gas mit niedrigem Druck verdampft. Diese Stufe wird durch eine Linie dargestellt, bei konstanter Enthalpie verläuft, während der Druck abnimmt.
4. Isobare Verdampfung: Das Niederdruck-Kältemittel absorbiert Wärme beim Verdampfer aus der Umgebung auf, die es kühlen soll, und kehrt zum Kompressor zurück, um den Kreislauf erneut zu starten. Diese Phase wird durch eine Linie dargestellt, die von niedriger Enthalpie zu hoher Enthalpie verläuft, während der Druck konstant bleibt.

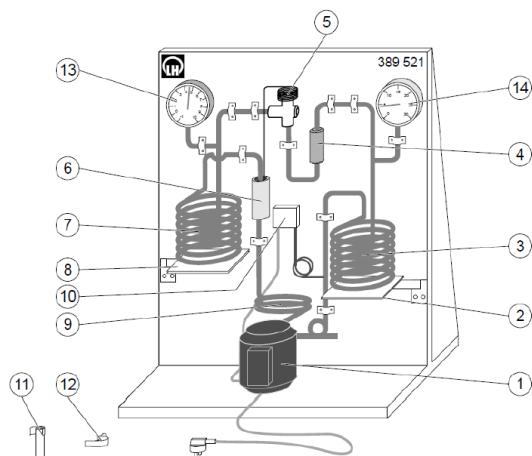
## 3 Versuchsanordnung

### 3.1 Wärmepumpe

Der reale Versuchsaufbau, Abbildung 3.1, sowie eine schematische Skizze dessen, Abbildung 3.2, sind im folgenden sichtbar.



**Abbildung 3.1:** Versuchsaufbau der Wärmepumpe, am Bild markiert sind die Kanäle, mit denen die entsprechenden Temperatursensoren verbunden sind



**Abbildung 3.2:** Skizze des Versuchsaufbaus der Wärmepumpe [unterlagen\_warmepumpe]

- 1 ...Kompressor 230 V; 50/60 Hz. Leistungsaufnahme ca. 130 W bei 50 Hz
- 2 ...ausschwenkbare Stellfläche für rot-markierten Warmwasserbehälter
- 3 ...Verflüssiger
- 4 ...Sammel/Reiniger
- 5 ...Expansionsventil
- 6 ...Temperaturfühler des Expansionsventils
- 7 ...Verdampfer
- 8 ...ausschwenkbare Stellfläche Kaltwasserbehälter
- 9 ...Rohrwindungen als elastische Verbindung zwischen Kompressor und Wärmetauscher
- 10 ...Druckwächter
- 11 ...Kunststoffhalter (2x) für Thermometer und Temperaturfühler, zum Anklemmen an Kupferrohre
- 12 ...Kupfer-Meßschuh (2x) zum Einsticken von Temperaturfühlern für Temperaturmessungen an den Kupferrohren des Kältemittelkreislaufs
- 13 ...Manometer für die Niederdruckseite; innere Skala für Druckmessung von -1...+10 bar, äußerste Skala mit zugehöriger Taupunkttemperatur für R134a von -60 °C bis +40 °C
- 14 ...Manometer für die Hochdruckseite; innere Skala: Druck von -1...+30 bar, äußerste Skala mit zugehöriger Taupunkttemperatur für R 134a von -60 °C bis +85°C.

Die Temperatursensoren werden mit dem Temperaturmessgerät, wie in Abbildung 3.1 sichtbar, verbunden. Das Temperaturmessgerät wird über die USB-Schnittstelle mit den Rechner verbunden, um eine Auswertung mit der Software Cassy Lab2 zu ermöglichen.

Weil der Temperatursensor im kälteren Behälter laufend zur Spule gerutscht ist

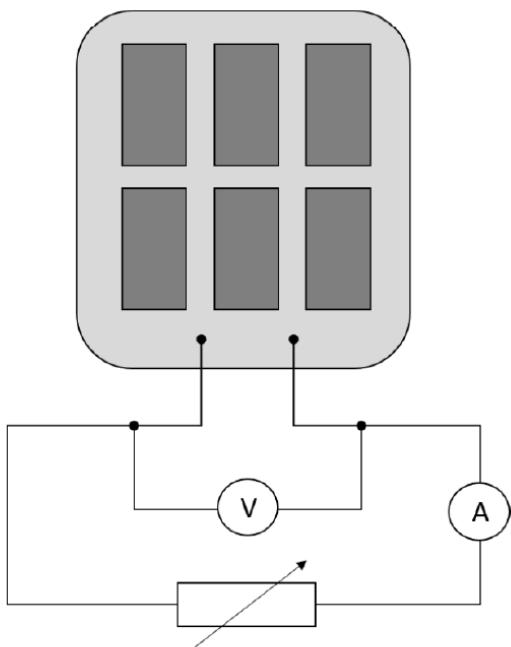
und dies die Messung verfälschen würde, wurde er mit einem Stück Lötzinn gegen Verrutschen gesichert, wie in Abbildung 3.3 sichtbar.



**Abbildung 3.3:** Sicherung gegen Verrutschen des Temperatursensors

### 3.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung

Um die Kennlinie der Solarzelle zu bestimmen wird diese, der jeweiligen Schaltung entsprechend, an einen verstellbaren Widerstand geschlossen. Damit Messwerte generiert werden können, werden auch ein Ampermeter, sowie ein Voltmeter nach dem Schaltplan in Abbildung 3.4 in die Schaltung integriert. Bei den Messgeräten muss darauf geachtet werden, einen geeigneten Messbereich zu wählen.



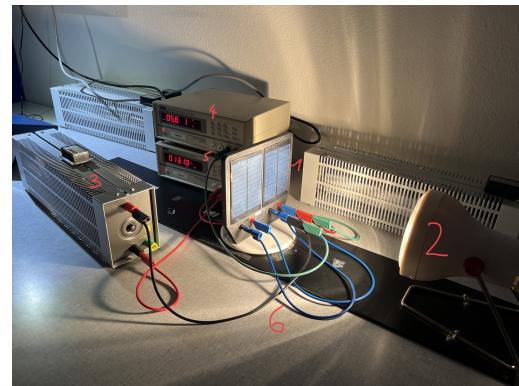
**Abbildung 3.4:** Schaltplan der Solarzelle [unterlagen\_solarzelle]  
A ...Amperemeter  
V ...Voltmeter

Die folgenden Abbildungen zeigen die Serienschaltung, Abbildung 3.5, sowie die Parallelschaltung, Abbildung 3.6. Um eine bessere Übersicht zu gewährleisten, wird bei den verwendeten Kabeln auf die Farbe geachtet.



**Abbildung 3.5:** Serienschaltung der beiden Solarzellen

- 1 ...Solarzellenmodule
- 2 ...Lampe
- 3 ...regelbarer Widerstand
- 4 ...Voltmeter
- 5 ...Amperemeter
- 6 ...entsprechende Verkabelung für Serienschaltung



**Abbildung 3.6:** Parallelschaltung der beiden Solarzellen

- 1 ...Solarzellenmodule
- 2 ...Lampe
- 3 ...regelbarer Widerstand
- 4 ...Voltmeter
- 5 ...Amperemeter
- 6 ...entsprechende Verkabelung für Parallelschaltung

### 3.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird

Um die partielle Abschattung einer Solarzelle zu simulieren, wird ein Stück Papier über einen Teil der ersten Solarzelle gelegt. Um sicherzustellen, dass das Papier sich nicht von der Solarzelle löst, wird dieses mit Klebeband gegen verrutschen gesichert. Dabei wird darauf geachtet, dass das Klebeband nur am Plastikrahmen festgeklebt wird, damit keine Kleberückstände auf der Solarzelle zurückbleiben. Die Abdunkelung ist in Abbildung 3.7 sichtbar.



Abbildung 3.7: Partielle Beschattung einer Solarzelle

### 3.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle

## 4 Geräteliste

Für den Versuch werden die in Tabelle 4.1 aufgelisteten Geräte verwendet.

**Tabelle 4.1:** Verwendete Geräte

Gerätetyp	Hersteller	Typ	Inventar-Nr	Anmerkung
Transformator	Thalheimer	LTS 606	0161469	
Box mit Versorgungsspannung			F1	
Strommessgerät	Norma	analog	VII/1106/9 VII/1106/6 VII/1106/3	3 x
Spannungsmessgerät	Norma	analog	VII/1120/2 VII/1120/1 E3	3 x
Leistungsmessgerät	Norma	analog	F18 F19	2 x
Leistungsmessgerät	Chauvin Arnoux	analog	C.A.505	
Multimeter	UNI-T	UT51		2 x
Multimeter	METEX	M-3610B		
Glühbirnen		3x 60 W 3x 75 W		
Kondensator		12 µF	G5 V	2 x
Spule			P	
Heizwiderstand		3x 230 V	JFR/158/13	3 x
Bananenstecker				
Spule mit Eisenkern				3 x
Metallscheibe auf Sockel	Hancaner	DT2234C		

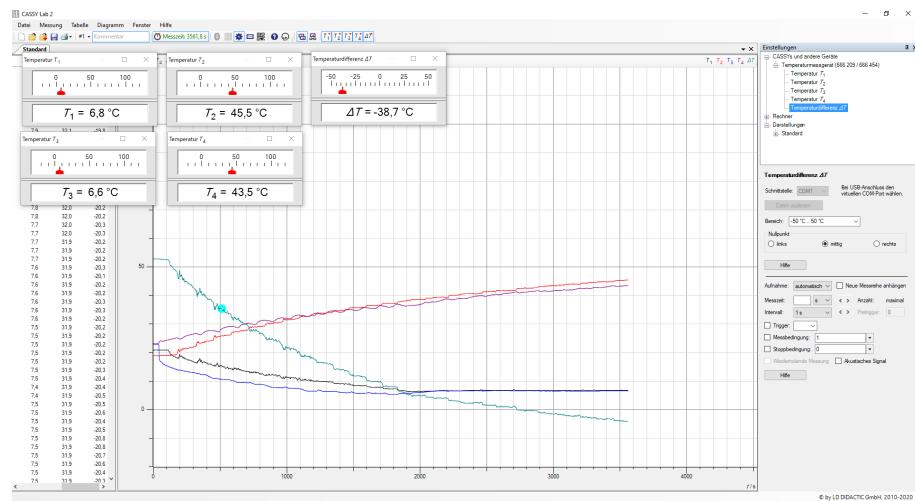
## 5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse

### 5.1 Wärmepumpe

Zunächst werden beide Kübel mit 4000,40 mL Wasser gefüllt. Um diese möglichst genau zu bewerkstelligen, wird ein Messbecher verwendet. Die Kübel werden auf die dafür vorgesehenen Halterungen gestellt und überprüft, ob die Wendeln mit Wasser bedeckt sind. Um die Zirkulationen während des Prozesses besser zu unterstützen

wird regelmäßig umgerührt. Zusätzlich ist an den Kübeln ein Schlauch befestigt, um den Wasserfluss zwischen Boden und oberen Bereich des Eimers zu unterstützen.

Um alle 4 Temperaturmessungen gleichzeitig zu erfassen, wird die Software Cassy Lab2 verwendet. Nachdem das Temperaturmessgerät unter dem Fenster „Einstellungen anzeigen“ verbunden wurde, muss sichergestellt werden, dass die geforderten Temperaturwerte erfasst und während des Messvorgangs geplottet werden. Das entsprechende Interface ist in Abbildung 5.1 sichtbar.



**Abbildung 5.1:** sichtbares Interface

Nun wird der Kompressor an den Strom angeschlossen und gleichzeitig die Aufzeichnung der Daten über den entsprechenden Knopf gestartet. Zusätzlich zur Temperaturmessung werden ca. im 2 Minuten-Takt die Drücke von den entsprechenden Barometern abgelesen, was in folgender ?? sichtbar ist. Um sicherzustellen, dass die Drücke die richtige Zeit zugeordnet bekommen, werden Fotos von den Barometern gemacht und mithilfe der erfassten Metadaten des Smartphones die genaue Zeit notiert.

WS22  
08.03.2023

STARK Matthias - 12004907  
PHILIPP Maximilian - 11839611

FLAB 2  
Wirkungsgrad

## **5.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung**

**5.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen**

**5.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen**

**5.2.3 Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird**

## **5.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle**

## **6 Auswertung**

**6.1 Wärmepumpe**

## **6.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung**

**6.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen**

**6.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen**

**6.2.3 Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird**

## **6.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle**

## **7 Diskussion**

**7.1 Wärmepumpe**

## **7.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung**

**7.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen**

**7.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen**

**7.2.3 Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird**

## **7.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle**

## **8 Zusammenfassung**

**8.1 Wärmepumpe**

## **Tabellenverzeichnis**

4.1 Verwendete Geräte . . . . . 14