

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung</b>	3
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>	4
2.1 Solarzelle	4
2.2 Wärmepumpe	5
<b>3 Versuchsanordnung</b>	7
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 Geräteliste</b>	14
<b>5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse</b>	15
5.1 Wärmepumpe	15
5.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung	18
5.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen	18
5.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen	20
5.2.3 Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird	22
5.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle	23
5.3.1 Messung der Dunkelkennlinie	23
5.3.2 Messung der Hellkennlinie und Bestimmung des Wirkungsgrades	24
<b>6 Auswertung</b>	26
6.1 Wärmepumpe	26
6.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung	28
6.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen	28
6.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen	28
6.2.3 Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird	29
6.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle	29
6.3.1 Messung der Dunkelkennlinie	29

6.3.2	Messung der Hellkennlinie und Bestimmung des Wirkungsgrades . . . . .	30
<b>7</b>	<b>Diskussion</b> . . . . .	<b>32</b>
7.1	Wärmepumpe . . . . .	32
7.2	Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung . . . . .	32
7.2.1	Serienschaltung der beiden Solarzellen . . . . .	32
7.2.2	Parallelschaltung der beiden Solarzellen . . . . .	32
7.2.3	Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird . . . . .	32
7.3	Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle . . . . .	32
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	<b>32</b>
8.1	Wärmepumpe . . . . .	32
8.2	Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung . . . . .	32
8.2.1	Serienschaltung der beiden Solarzellen . . . . .	32
8.2.2	Parallelschaltung der beiden Solarzellen . . . . .	32
8.2.3	Serienschaltung der beiden Solarzellen, wobei eine Solarzelle partiell abgeschattet wird . . . . .	32
8.3	Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle . . . . .	32

## 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:

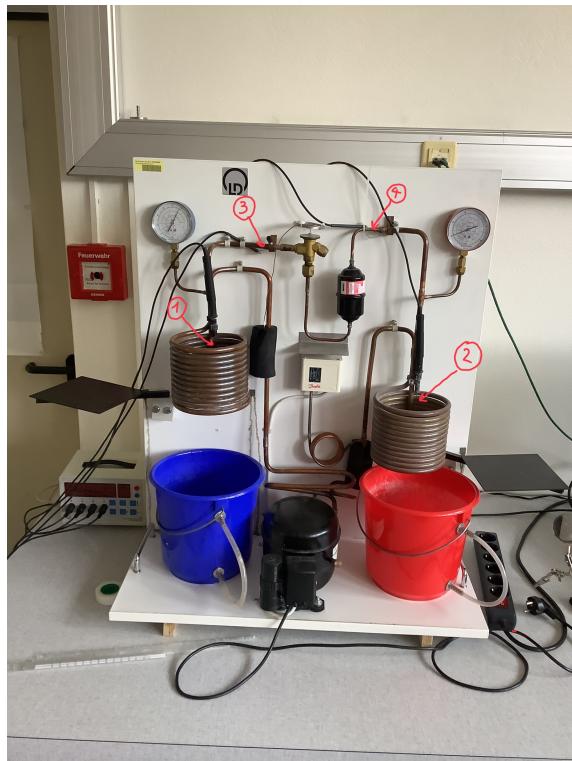
1. Isentrope Verdichtung: Das Kältemittel wird durch einen Kompressor komprimiert, wodurch Druck und Temperatur erhöht werden. Druck und Temperatur erhöht. Diese Stufe wird durch eine Linie dargestellt, die von niedrigem Druck und niedriger Enthalpie zu hohem Druck und hoher Enthalpie isentrop verläuft.
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.

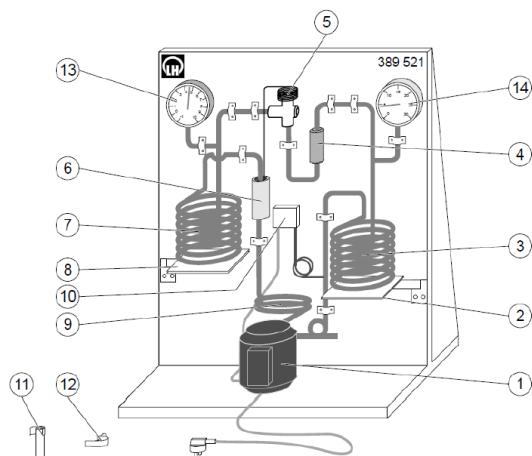
## 3 Versuchsanordnung

### 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

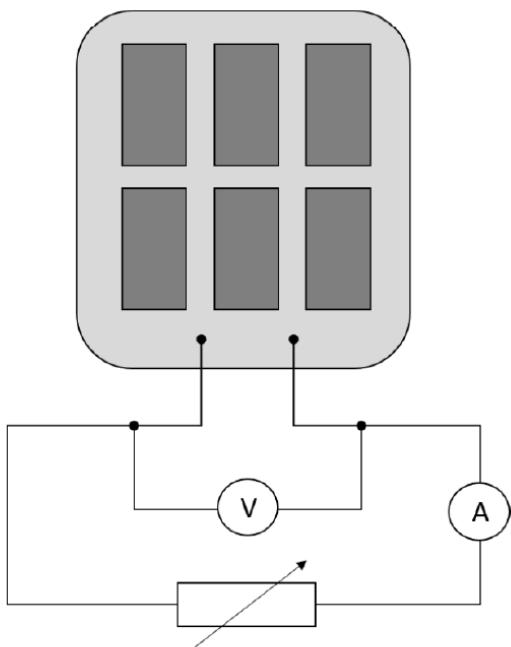
und dies die Messung verfälschen würde, wurde er mit einem Stück Lötzinn gegen Verrutschen gesichert, wie in Abbildung 3.3 sichtbar.



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

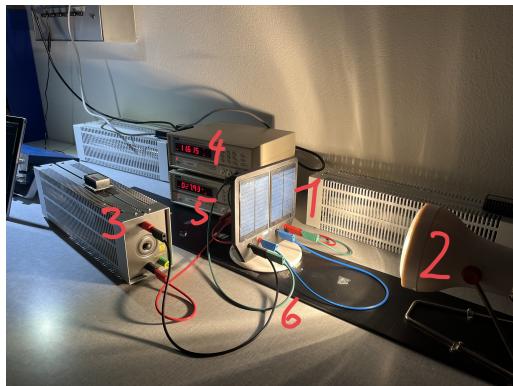
### 3.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung

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.



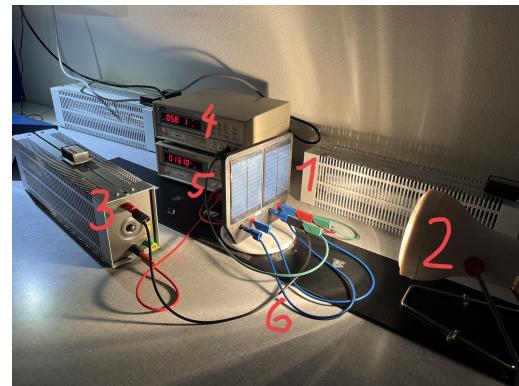
**Abbildung 3.4:** Schaltplan der Solarzelle [unterlagen\_solarzelle]  
A ...Amperemeter  
V ...Voltmeter

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 ...Ampermeter
- 6 ...entsprechende Verkabelung für Serienschaltung



**Abbildung 3.6:** Parallelschaltung der beiden Solarzellen

- 1 ...Solarzellenmodule
- 2 ...Lampe
- 3 ...regelbarer Widerstand
- 4 ...Voltmeter
- 5 ...Ampermeter
- 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

Um den Diodenparameter, sowie den Wirkungsgrad der Solarzelle zu bestimmen, wird diese auf den entsprechenden Kupferbock zur Kühlung gelegt. Der Sensor wird neben die Solarzelle positioniert und mit einem Block unterlegt, damit sich der Sensor auf der gleichen Höhe, wie die Solarzelle befindet.

Um die Diodenkennlinie aufzuzeichnen wird das Keithley 2450 also Sourcemeter verwendet. Dieses wird über eine USB Schnittstelle mit dem Rechner verbunden. Um den Fehler bei der Spannungsmessung möglichst gering zu halten, wird die Solarzelle mit 4 Kabeln mit dem Sourcemeter verbunden, wobei 2 der Sense-Leitung entsprechen.

Weil der Sonnensimulator leider kaputt war wurden als Lichtquelle eine höhenverstellbare Halogenlampe, sowie eine LED Beleuchtung verwendet. Aus Neugierde wurde der Versuch für 2 verschiedene Abstände der Halogenlampe und einmal für die LED Beleuchtung durchgeführt. Bei der Position der Lampe muss darauf geachtet werden, dass der Abstand zwischen der Lampe und der Solarzelle oder dem Sensor konstant gehalten werden soll. Auch wird sichergestellt, dass die Lichtquelle immer

ober dem Objekt zentriert wird. Um Störlicht von der Umgebung zu vermeiden, wird der Versuch bei ausgeschalteter Raumbeleuchtung und geschlossenen Türen durchgeführt, um sicherzustellen, dass nur das gewünschte Licht von der, zu untersuchenden Lichtquelle auf den Sensor oder die Solarzelle trifft.

## 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  $(4000 \pm 40)$  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.

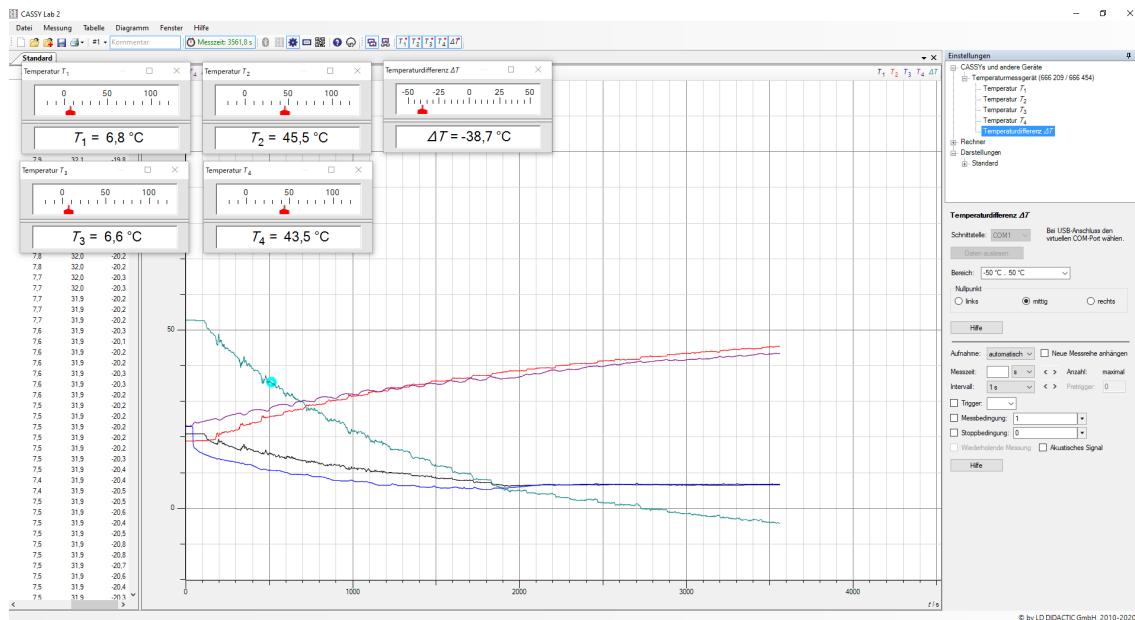


Abbildung 5.1: sichtbares Interface

Nun wird der Kompressor ( $(118 \pm 2)$  W) 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 Tabelle 5.1 sichtbar ist. Um sicherzustellen, dass die Drücke die richtige Zeit zugeordnet bekommen, werden Fotos von

WS22  
08.03.2023

STARK Matthias - 12004907  
PHILIPP Maximilian - 11839611

FLAB 2  
Wirkungsgrad

den Barometern gemacht und mithilfe der erfassten Metadaten des Smartphones die genaue Zeit notiert.

**Tabelle 5.1:** Abgelesene Drücke bei der entsprechenden Zeit  
 $t$  ...vergangene Zeit seit dem Start des Messvorgangs in s  
 $p_k$  ...abgelesener Druck auf der kalten Seite in bar  
 $p_h$  ...abgelesener Druck auf der heißen Seite in bar

$t$ / s	$p_k$ / bar	$p_w$ / bar
$0 \pm 2$	$3,20 \pm 0,10$	$6,60 \pm 0,10$
$115 \pm 2$	$3,20 \pm 0,10$	$7,00 \pm 0,10$
$248 \pm 2$	$3,10 \pm 0,10$	$7,70 \pm 0,10$
$383 \pm 2$	$2,65 \pm 0,10$	$8,20 \pm 0,10$
$520 \pm 2$	$2,60 \pm 0,10$	$8,60 \pm 0,10$
$650 \pm 2$	$2,40 \pm 0,10$	$9,00 \pm 0,10$
$777 \pm 2$	$2,50 \pm 0,10$	$9,50 \pm 0,10$
$909 \pm 2$	$2,10 \pm 0,10$	$9,80 \pm 0,10$
$1034 \pm 2$	$2,05 \pm 0,10$	$10,20 \pm 0,10$
$1156 \pm 2$	$1,90 \pm 0,10$	$10,45 \pm 0,10$
$1280 \pm 2$	$1,90 \pm 0,10$	$10,80 \pm 0,10$
$1403 \pm 2$	$1,80 \pm 0,10$	$11,00 \pm 0,10$
$1530 \pm 2$	$1,75 \pm 0,10$	$11,40 \pm 0,10$
$1650 \pm 2$	$1,75 \pm 0,10$	$11,60 \pm 0,10$
$1770 \pm 2$	$1,70 \pm 0,10$	$11,80 \pm 0,10$
$1915 \pm 2$	$1,80 \pm 0,10$	$11,75 \pm 0,10$
$2035 \pm 2$	$1,90 \pm 0,10$	$12,20 \pm 0,10$
$2156 \pm 2$	$1,90 \pm 0,10$	$12,80 \pm 0,10$
$2278 \pm 2$	$1,90 \pm 0,10$	$12,50 \pm 0,10$
$2408 \pm 2$	$1,85 \pm 0,10$	$13,40 \pm 0,10$
$2531 \pm 2$	$1,85 \pm 0,10$	$13,20 \pm 0,10$
$2653 \pm 2$	$1,85 \pm 0,10$	$13,90 \pm 0,10$
$2779 \pm 2$	$1,85 \pm 0,10$	$14,00 \pm 0,10$
$2899 \pm 2$	$1,85 \pm 0,10$	$13,90 \pm 0,10$
$3022 \pm 2$	$1,80 \pm 0,10$	$14,30 \pm 0,10$
$3144 \pm 2$	$1,80 \pm 0,10$	$14,60 \pm 0,10$
$3264 \pm 2$	$1,80 \pm 0,10$	$14,80 \pm 0,10$
$3390 \pm 2$	$1,80 \pm 0,10$	$15,00 \pm 0,10$
$3513 \pm 2$	$1,80 \pm 0,10$ $17 / 33$	$15,00 \pm 0,10$
$3632 \pm 2$	$1,80 \pm 0,10$	$15,20 \pm 0,10$
$3753 \pm 2$	$1,80 \pm 0,10$	$15,60 \pm 0,10$

## 5.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung

Nachdem die Solarzelle und die Lampe, wie bereits in Abschnitt 3 sichtbar, aufgestellt sind, wird zunächst der Abstand zwischen diesen bestimmt. Dieser beträgt  $(284 \pm 5)$  mm. Die Unsicherheit ist so groß gewählt, weil sich vor der Lampe eine gekrümmte Glasplatte befindet, die die genaue Distanzmessung nicht erleichtert. Zusätzlich sei angemerkt, dass die genaue Distanz zwischen jener Glasplatte und der eigentlichen Glühbirne der Lampe nicht bekannt ist. Weiters fällt auf, dass die Solarzellen nicht genau Parallel zu der Lampe angeordnet sind. Für diese Verdrehung wird ein Winkel von  $(5,0 \pm 1,0)^\circ$  gemessen. Auf diese Verdrehung wird später in der Abschnitt 7 noch genauer eingegangen.

Zusätzlich wird auch die Größe eines Solarzellenmoduls gemessen um die Fläche bestimmen zu können. Der besseren Übersicht halber, werden diese Daten der Punkt 2 beigefügt.

### 5.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen

Zunächst werden die Solarzellenmodule, wie in Abbildung 3.5 sichtbar, in den Schaltplan integriert.

Nun wird der Widerstand mithilfe des, dafür vorgesehenen Reglers, variiert und die abgelesenen Werte der Messgeräte in folgender Tabelle 5.2 aufgelistet.

**Tabelle 5.2:** Abgelesene Strom und Spannungswerte für die Serienschaltung der Solarzellenmodule

*U* ...Abgelesener Wert der Spannung in V

*I* ...Abgelesener Wert des Stroms in mA

<i>U</i> / V	<i>I</i> / mA
12,03 ± 0,03	0,000 ± 0,003
11,88 ± 0,02	12,18 ± 0,13
11,83 ± 0,02	14,14 ± 0,15
11,76 ± 0,02	16,36 ± 0,17
11,72 ± 0,02	18,08 ± 0,19
11,66 ± 0,02	20,5 ± 0,3
11,60 ± 0,02	23,0 ± 0,3
11,53 ± 0,02	25,8 ± 0,3
11,46 ± 0,02	28,9 ± 0,3
11,39 ± 0,02	31,9 ± 0,4
11,34 ± 0,02	33,8 ± 0,4
11,280 ± 0,019	35,9 ± 0,4
11,240 ± 0,019	37,5 ± 0,4
11,190 ± 0,019	39,5 ± 0,4
11,140 ± 0,019	41,0 ± 0,5
11,090 ± 0,019	43,0 ± 0,5
11,040 ± 0,019	44,6 ± 0,5
10,990 ± 0,019	46,2 ± 0,5
10,930 ± 0,019	48,1 ± 0,5
10,890 ± 0,019	49,6 ± 0,5
10,810 ± 0,019	52,1 ± 0,6
10,730 ± 0,019	54,6 ± 0,6
10,660 ± 0,018	56,3 ± 0,6
10,570 ± 0,018	58,9 ± 0,6
10,480 ± 0,018	61,2 ± 0,7
10,320 ± 0,018	65,0 ± 0,7
10,120 ± 0,018	67,8 ± 0,7
9,730 ± 0,017	69,8 ± 0,8
9,680 ± 0,017	70,3 ± 0,8
7,870 ± 0,014	71,4 ± 0,8
5,680 ± 0,011	72,3 ± 0,8
4,140 ± 0,009	73,4 ± 0,8
2,880 ± 0,007	75,2 ± 0,8
0,000 ± 0,002	76,6 ± 0,8

Zusätzlich werden noch die Werte bei Leerlauf und einem simulierten Kurzschluss gemessen. Dies geschieht, indem der Stromkreis zunächst geöffnet und dann ohne Widerstand geschlossen wird. Der besseren Übersicht halber, sind diese Werte auch in Tabelle 5.2 beigefügt.

### **5.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen**

Auch bei der Parallelschaltung der beiden Solarzellen werden die Messwerte für den variierenden Widerstand und für den Leerlauf, sowie den Kurzschluss, von den Geräten abgelesen und in Tabelle 5.3 aufgelistet.

**Tabelle 5.3:** Abgelesene Strom und Spannungswerte für die Parallelschaltung der Solarzellenmodule

*U* ...Abgelesener Wert der Spannung in V

*I* ...Abgelesener Wert des Stroms in mA

<i>U</i> / V	<i>I</i> / mA
5,760 ± 0,011	0,000 ± 0,003
5,840 ± 0,011	5,99 ± 0,07
5,830 ± 0,011	6,68 ± 0,07
5,820 ± 0,011	7,80 ± 0,09
5,810 ± 0,011	10,14 ± 0,11
5,800 ± 0,011	11,74 ± 0,13
5,770 ± 0,011	17,32 ± 0,18
5,750 ± 0,011	22,3 ± 0,3
5,720 ± 0,011	29,0 ± 0,3
5,700 ± 0,011	34,2 ± 0,4
5,670 ± 0,011	40,7 ± 0,5
5,640 ± 0,011	46,9 ± 0,5
5,620 ± 0,011	52,3 ± 0,6
5,560 ± 0,011	65,0 ± 0,7
5,510 ± 0,011	76,7 ± 0,8
5,470 ± 0,011	84,5 ± 0,9
5,410 ± 0,011	96 ± 1
5,340 ± 0,011	109,2 ± 1,1
5,28 ± 0,01	120,6 ± 1,3
5,19 ± 0,01	135,3 ± 1,4
5,04 ± 0,01	153,8 ± 1,6
4,660 ± 0,009	191 ± 2
4,550 ± 0,009	196 ± 2
4,170 ± 0,009	206 ± 3
3,620 ± 0,008	207 ± 3
3,090 ± 0,007	207 ± 3
2,510 ± 0,006	208 ± 3
1,680 ± 0,005	208 ± 3
1,080 ± 0,004	209 ± 3
0,330 ± 0,003 <sub>21</sub>	209 ± 3
0,000 ± 0,002	211 ± 3

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

Zunächst wird die Größe vermessen, die durch das Blatt Papier verdeckt ist, wie in Abbildung 3.7 sichtbar. Die entsprechenden Maße sind gemeinsam mit den anfangs gemessenen Werten der Solarzelle in folgender Aufzählung angeführt.

1. Fläche ganz:  $(10,0 \pm 0,2) \text{ cm} \cdot (8,0 \pm 0,2) \text{ cm} = (80 \pm 3) \text{ cm}^2$
2. Fläche bedeckt:  $(7,0 \pm 0,2) \text{ cm} \cdot (8,0 \pm 0,2) \text{ cm} = (56 \pm 3) \text{ cm}^2$

Nun wird die gesamte Messung, wie bereits erklärt, für die verschiedenen Widerstände, den Leerlauf und den Kurzschluss durchgeführt und die Messwerte in Tabelle 5.4 aufgelistet.

**Tabelle 5.4:** Abgelesene Strom und Spannungswerte für die Serienschaltung mit einem abgedeckten Solarzellenmodul

$U$  ...Abgelesener Wert der Spannung in V

$I$  ...Abgelesener Wert des Stroms in mA

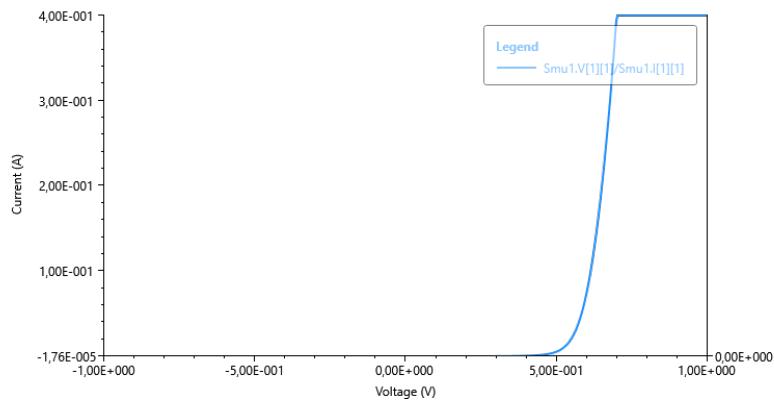
$U$ / V	$I$ / mA
11,45 $\pm$ 0,02	0,000 $\pm$ 0,003
6,540 $\pm$ 0,012	6,68 $\pm$ 0,07
5,610 $\pm$ 0,011	6,79 $\pm$ 0,08
5,360 $\pm$ 0,011	6,84 $\pm$ 0,08
4,85 $\pm$ 0,01	6,92 $\pm$ 0,08
4,090 $\pm$ 0,009	7,02 $\pm$ 0,08
3,760 $\pm$ 0,008	7,04 $\pm$ 0,08
3,470 $\pm$ 0,008	7,06 $\pm$ 0,08
2,930 $\pm$ 0,007	7,11 $\pm$ 0,08
2,500 $\pm$ 0,006	7,14 $\pm$ 0,08
2,100 $\pm$ 0,006	7,20 $\pm$ 0,08
1,660 $\pm$ 0,005	7,30 $\pm$ 0,08
1,470 $\pm$ 0,005	7,34 $\pm$ 0,08
0,990 $\pm$ 0,004	7,44 $\pm$ 0,08
0,670 $\pm$ 0,004	7,55 $\pm$ 0,08
0,390 $\pm$ 0,003	7,63 $\pm$ 0,08
0,490 $\pm$ 0,003	7,68 $\pm$ 0,08
0,190 $\pm$ 0,003	7,69 $\pm$ 0,08
0,000 $\pm$ 0,002	7,65 $\pm$ 0,08

## 5.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle

### 5.3.1 Messung der Dunkelkennlinie

Zunächst wird die Solarzelle komplett abgedunkelt. Dazu wird diese vollflächig mit einem Stück Papier abgedeckt. Zusätzlich wird dieses Papier mit einem schwereren Gegenstand beschwert, um dafür zu sorgen, dass die Solarzelle wirklich vollflächig abgedeckt ist.

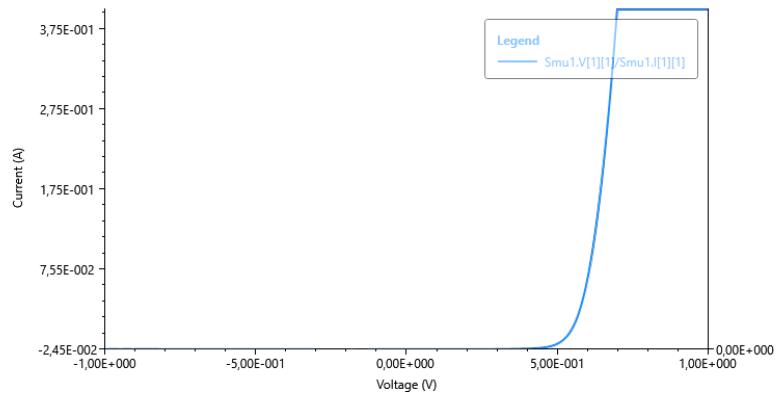
Um die Diodenkennlinie aufzuzeichnen, wird das Sourcemeter mit dem Rechner verbunden und das Programm, Kickstart geöffnet. Nun wird in der entsprechenden Software unter dem Menüpunkt "newéine neue Messung gestartet. Nach erfolgreicher Verbindung mit dem Sourcemeter 2450 und der eingabe aller Parameter, wie z.B. den Maximalen Strom, wie in den Unterlagen aus [unterlagen\_solarzelle] beschrieben, kann die Messung gestartet werden. Die so erzeugte Dunkelkennlinie ist in Abbildung 5.2 sichtbar.



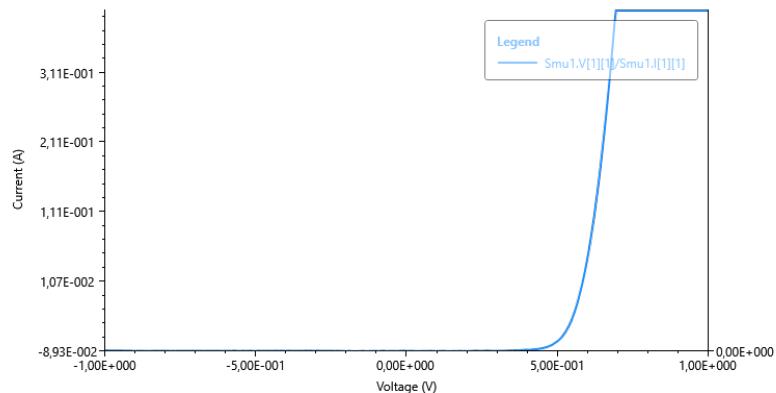
**Abbildung 5.2:** Erzeugte Dunkelkennlinie der Solarzelle

### 5.3.2 Messung der Hellkennlinie und Bestimmung des Wirkungsgrades

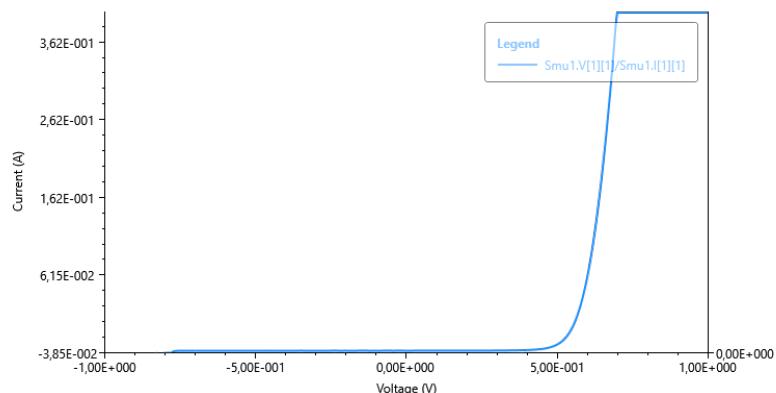
Nun werden die Lampen, wie bereits in Abschnitt 3 beschrieben, positioniert und ebenfalls die Kennlinien aufgenommen. Die entsprechende Leistung der Lichtquelle wird anhand des Sensors bestimmt und vom analogen Messgerät abgelesen, was in folgender ?? ersichtlich ist. Auch die Diodenkennlinien für die verschiedenen Lampen werden, wie zuvor die Dunkelkennlinie, aufgenommen und sind in den folgenden Abbildung 6.8 bis Abbildung 5.5 sichtbar.



**Abbildung 5.3:** Erzeugte Diodenkennlinie für die Halogenlampe



**Abbildung 5.4:** Erzeugte Diodenkennlinie für die Halogenlampe mit geringeren Abstand zur Solarzelle



**Abbildung 5.5:** Erzeugte Diodenkennlinie für die LED-Lampe

## 6 Auswertung

Um zu sehen wie sich die Unsicherheit der Messungen bis in die Ergebnisse fortpflanzt, ist erweiterte Gauss-Methode verwendet worden. Die Grundlagen dieser Methode stammen von den Powerpointfolien von GUM [[wolfgang\\_kessel\\_isobipm-gum\\_2004](#)]. Für die Auswertung ist die Programmiersprache Python im speziellen die Pakete `labtool-ex2`, `pandas`, `sympy`, `lmfit` zur Hilfe genommen worden. `lmfit` wurde für das Fitten verwendet, `sympy` wurde für symbolische Manipulation verwendet und die restlichen Pakete für leichteres Handhaben der Daten. Dies wurde aber alles durch `labtool-ex2` abstrahiert.

Um höchstmögliche Genauigkeit zu garantieren wird erst bei der Darstellung der Wert in Tabellen gerundet.

### 6.1 Wärmepumpe

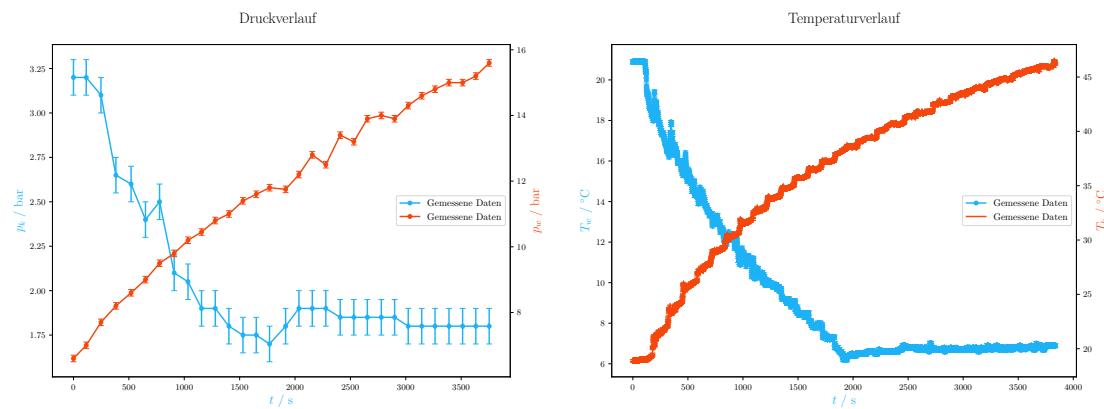


Abbildung 6.1

Leistungszahl der Wärmepumpe

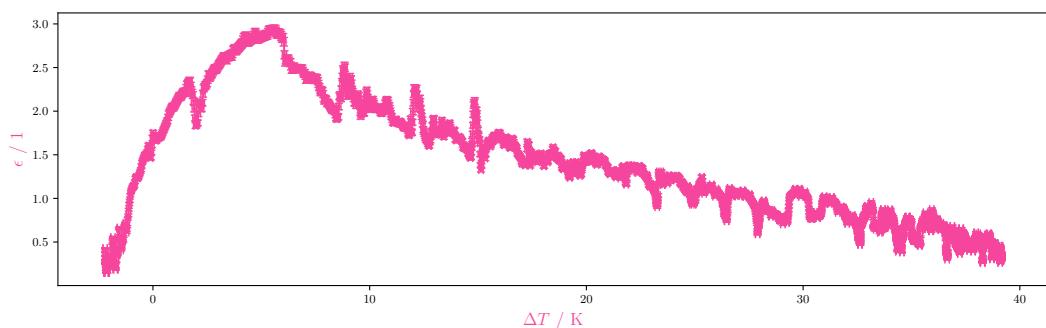


Abbildung 6.2

Wirkungsgrad der Wärmepumpe

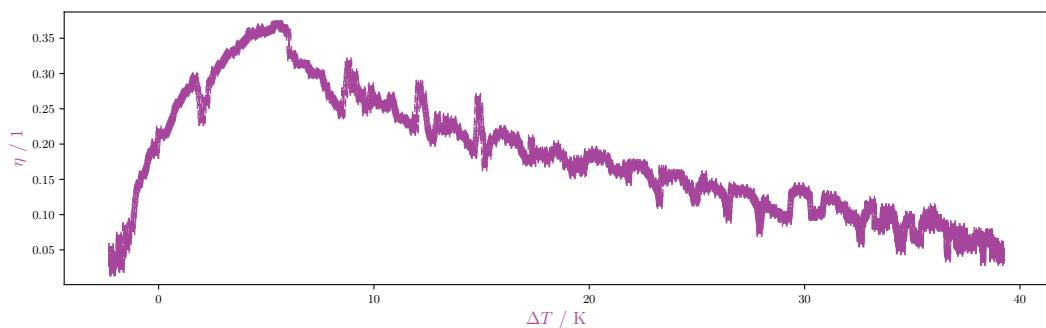


Abbildung 6.3

## 6.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung

### 6.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen

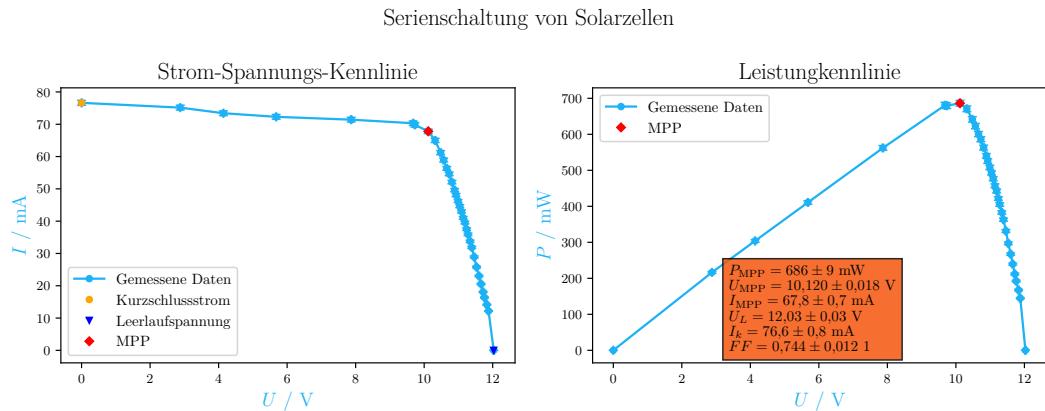


Abbildung 6.4

### 6.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen

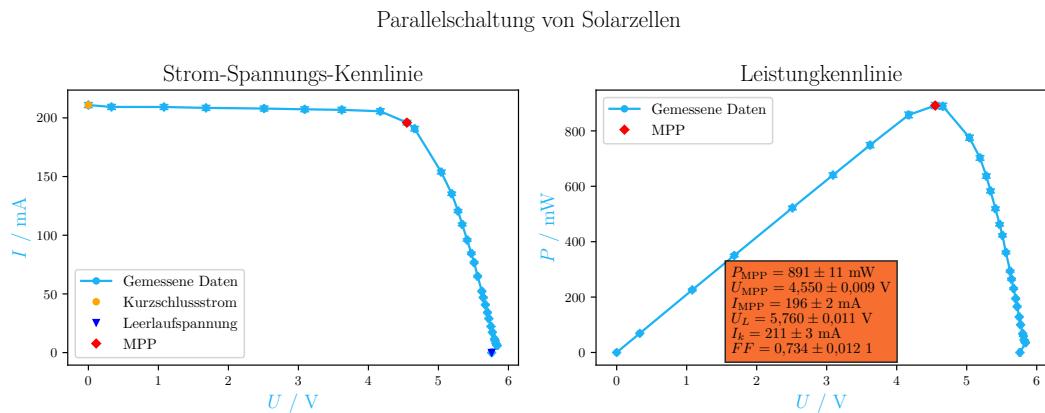


Abbildung 6.5

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

Serienschaltung von Solarzellen abgedeckt

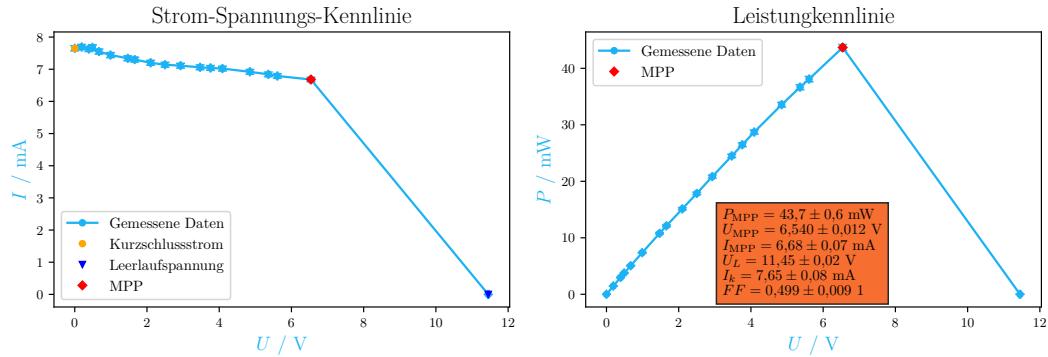


Abbildung 6.6

## 6.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle

### 6.3.1 Messung der Dunkelkennlinie

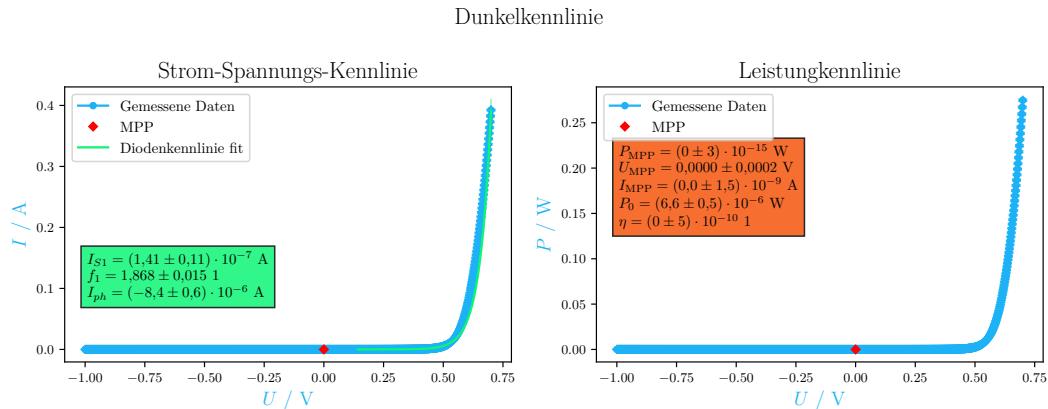


Abbildung 6.7

### 6.3.2 Messung der Hellkennlinie und Bestimmung des Wirkungsgrades

Hellkennlinie @  $(2,5 \pm 0,3) \cdot 10^2 \text{ W m}^{-2}$

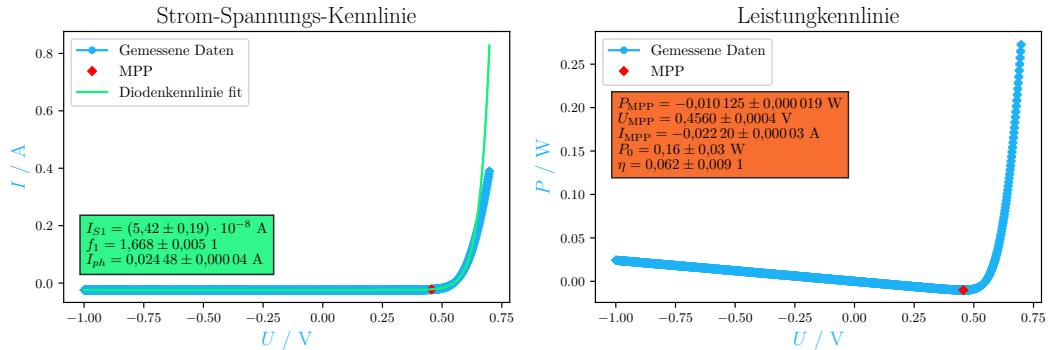


Abbildung 6.8

Hellkennlinie @  $(4,2 \pm 0,6) \cdot 10^2 \text{ W m}^{-2}$

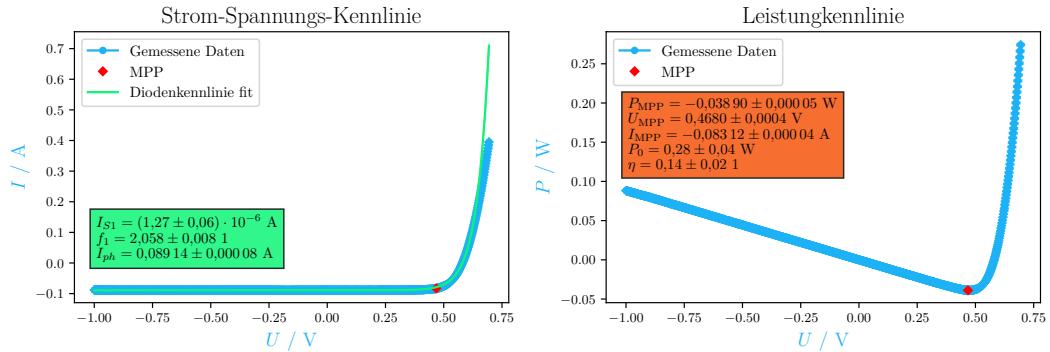


Abbildung 6.9

Hellkennlinie @  $(1,04 \pm 0,12) \cdot 10^3 \text{ W m}^{-2}$

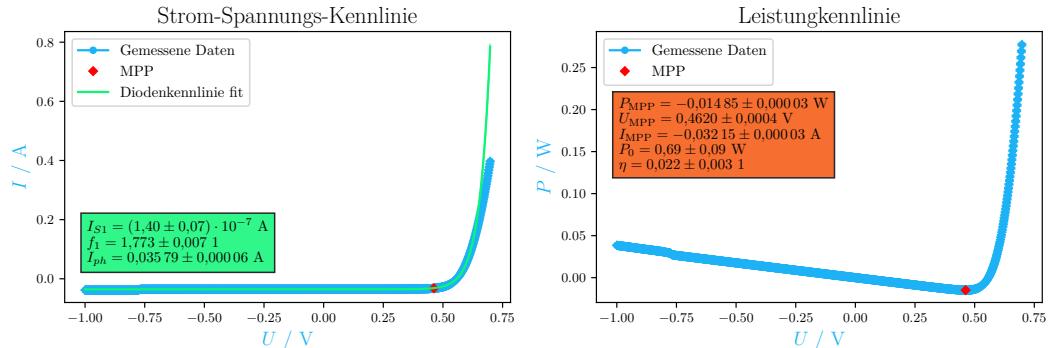


Abbildung 6.10

## 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

### 8.2 Kennlinien und Kenndaten von Solarzellen bei Bestrahlung

#### 8.2.1 Serienschaltung der beiden Solarzellen

#### 8.2.2 Parallelschaltung der beiden Solarzellen

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

### 8.3 Diodenparameter und Wirkungsgrad einer Solarzelle

## Abbildungsverzeichnis

3.1	Versuchsaufbau der Wärmepumpe . . . . .	8
3.2	Skizze des Versuchsaufbaus der Wärmepumpe . . . . .	9
3.3	Sicherung gegen Verrutschen des Temperatursensors . . . . .	10
3.4	Schaltplan der Solarzelle . . . . .	11
3.5	Serienschaltung der beiden Solarzellen . . . . .	12
3.6	Parallelschaltung der beiden Solarzellen . . . . .	12
3.7	Partielle Beschattung einer Solarzelle . . . . .	13
5.1	sichtbares Interface . . . . .	15
5.2	Erzeugte Dunkelkennlinie der Solarzelle . . . . .	24
5.3	Erzeugte Diodenkennlinie für die Halogenlampe . . . . .	25
5.4	Erzeugte Diodenkennlinie für die Halogenlampe mit geringeren Abstand zur Solarzelle . . . . .	25
5.5	Erzeugte Diodenkennlinie für die LED-Lampe . . . . .	25
6.1	. . . . .	26
6.2	. . . . .	27
6.3	. . . . .	27
6.4	. . . . .	28
6.5	. . . . .	28
6.6	. . . . .	29
6.7	. . . . .	29
6.8	. . . . .	30
6.9	. . . . .	30
6.10	. . . . .	31

## Tabellenverzeichnis

4.1	Verwendete Geräte . . . . .	14
5.1	Abgelesene Drücke bei der entsprechenden Zeit . . . . .	17
5.2	Abgelesene Strom und Spannungswerte für die Serienschaltung der Solarzellenmodule . . . . .	19
5.3	Abgelesene Strom und Spannungswerte für die Parallelschaltung der Solarzellenmodule . . . . .	21
5.4	Abgelesene Strom und Spannungswerte für die Serienschaltung mit einem abgedeckten Solarzellenmodul . . . . .	23