

# E-11 – Solarzellen

## Versuchsanleitung für Nebenfachstudenten

(Version 1 – 22. Mai 2020)

Die nachhaltige Deckung unseres stetig zunehmenden Energiebedarfs gehört zu den wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit. Photovoltaikanlagen leisten dabei einen zunehmenden Beitrag zur Stromerzeugung in Deutschland. Im Rahmen dieses Experiments werden die Eigenschaften von Solarzellen als Energiequellen untersucht. Dabei geht es zum einen um die Frage, wann Solarzellen am effektivsten arbeiten, d. h. unter welcher Last die Leistung maximal ist. Zum anderen wird ein Panel aus Solarzellen als Spannungsquelle benutzt am Beispiel der Untersuchung von elektrischen Bauteilen.

### Dioden

Vereinfacht ausgedrückt versteht man unter einer Diode ein elektronisches Bauteil, das den Strom nur in eine Richtung leitet. Dioden bestehen aus einem Halbleitermaterial, das in geeigneter Weise dotiert ist. Dabei werden gezielt Fremdatome in das Material implantiert, die eine höhere (n-Dotierung) bzw. niedrigere Valenz (p-Dotierung) haben als die Atome des Halbleiters, wodurch man die elektronischen Eigenschaften des Materials im Hinblick auf die gewünschte Anwendung manipulieren kann.

Bei einem *pn-Übergang* bringt man einen p- und einen n-dotierten Halbleiter in Kontakt. Dabei baut sich ein elektrisches Feld innerhalb des Materials auf, da die Ladungsträger vom einen in den jeweils anderen Bereich des Kristalls wandern. Legt man hieran eine externe Spannung in *Durchlassrichtung* an, wird dieses Feld abgeschwächt, so dass bereits eine geringe externe Spannung genügt, um das innere Feld zu kompensieren und schließlich einen Strom fließen zu lassen. In *Sperrrichtung* hingegen wird das innere Feld verstärkt, was zunächst einen nennenswerten Stromfluss verhindert. Erst oberhalb der *Durchbruchspannung* kann die Diode auch in Sperrrichtung leitend werden. Dies führt allerdings bei den meisten Dioden zur Zerstörung des Bauteils. Die charakteristische Abhängigkeit der Stromstärke von der angelegten Spannung,  $I(U)$  bezeichnet man als die *Kennlinie* der Diode.

*Vorbereitung:* An welchen Pol muss man die p- und n-Seite der Diode für Durchlassrichtung anschließen?

### Solarzellen

Solarzellen sind Halbleiterdioden, die mithilfe des inneren photoelektrischen Effekts die Energie von einfallender Strahlung in elektrische Energie umwandeln können. Daher kann eine Solarzelle als Spannungsquelle genutzt werden.

Im Detail ist die Funktionsweise einer Solarzelle vom jeweiligen Typ abhängig. Das grundlegende Prinzip unterscheidet sich jedoch nicht: Das Halbleitermaterial, häufig wird Silizium verwendet, ist dotiert, d. h. es werden Atome in das Material implantiert, die sich in der Valenz vom Halbleitermaterial unterscheiden. Implantiert man ein Atom mit einer um eins höheren Valenz in einen Halbleiter, so können nicht alle Elektronen dieses Atoms Bindungen mit den Atomen des Halbleitermaterials ausbilden und ein Elektron bleibt frei beweglich. Hierbei spricht man von n-Dotierung. Implantiert man umgekehrt ein Atom mit einer um eins niedrigeren Valenz, so fehlt für die Bindung ein Elektron und man erhält ein positives Loch, das durch ein Elektron aus

einer anderen Bindung aufgefüllt werden kann. Dadurch liegt hier ein frei bewegliches positiv geladenes Loch vor; dies wird als p-Dotierung bezeichnet.

Wie oben beschrieben, kommt es beim Kontakt von p- mit n-dotierten Halbleitern zu einem elektrischen Feld innerhalb des Materials. Bei einer Solarzelle ist die mit Licht beschienene Seite n-dotiert, die Rückseite p-dotiert. Fällt nun Licht auf die Solarzelle, dringt es in das Material ein und erzeugt dort Elektron-Loch-Paare, also Ladungsträger. Durch das innere elektrische Feld werden Elektron und Loch voneinander getrennt und in entgegengesetzte Richtungen gezogen. Dieser Ladungstransport innerhalb der Zelle kann nun durch das Schließen eines Stromkreises zwischen der Vorder- und Rückseite der Solarzelle kompensiert und der elektrische Strom genutzt werden.

## Spannungsquellen

Eine Strom- oder Spannungsquelle dient zur Energieversorgung einer elektrischen Schaltung. D.h. hier wird entweder zuvor gespeicherte Energie (z.B. Kondensator), oder aber direkt durch Umwandlung aus einer anderen Energieform (Solarzelle: Licht  $\rightarrow$  elektrische Energie) gewonnene elektrische Energie zur Verfügung gestellt.

Ideale Stromquellen liefern unabhängig von angeschlossenen Verbrauchern immer denselben Strom  $I$ , ideale Spannungsquellen immer dieselbe Spannung  $U$ . Diese Idealisierung kann in der Praxis, bedingt durch den *Innenwiderstand*  $R_i$  niemals erreicht werden. Im Folgenden ist mit einer Spannungsquelle immer eine *reale* Spannungsquelle gemeint.

Die Leistung  $P$ , die an einem an der Spannungsquelle angeschlossenen Lastwiderstand umgesetzt wird ist gegeben durch

$$P = U_{\text{Last}} \cdot I$$

und hängt von der Dimensionierung des angeschlossenen Verbrauchers, d. h. des Lastwiderstandes  $R_{\text{Last}}$  ab ( $U_{\text{Last}} = R_{\text{Last}} \cdot I$ ). Daraus resultiert eine für die jeweilige Spannungsquelle übliche Leistungscharakteristik  $P(R_{\text{Last}})$ , welche bei einem bestimmten Wert des Lastwiderstandes ein Maximum aufweist.

*Vorbereitung:* Für welchen Wert von  $R_{\text{Last}}$  wird die Leistung maximal? Begründen Sie dies anhand einer Rechnung. Als Ausgangspunkt wird das Ohmsche Gesetz  $U = R \cdot I$  auf eine Spannungsquelle mit der Quellspannung  $U_Q$  und dem Innenwiderstand  $R_i$  angewandt, an welche ein Lastwiderstand  $R_{\text{Last}}$  angeschlossen ist.

## Vorversuch

Die Leistung einer Solarzelle hängt aufgrund ihres Aufbaus auch von der Intensität des einfallenden Lichts ab. Zur Durchführung der Experimente sollte die Beleuchtung daher nicht nur über die Zeit weitestgehend konstant sein, sondern bei Experimenten mit einem Solarpanel auch so gewählt sein, dass alle Solarzellen gleichmäßig beleuchtet werden. Letztere Bedingung wird durch das Tageslicht in der Regel hinreichend erfüllt. Erstere Bedingung hängt dagegen vom Wetter sowie Tages- und Jahreszeit ab. Daher steht für das Experiment die an der Wand montierte künstliche Beleuchtung zur Verfügung.

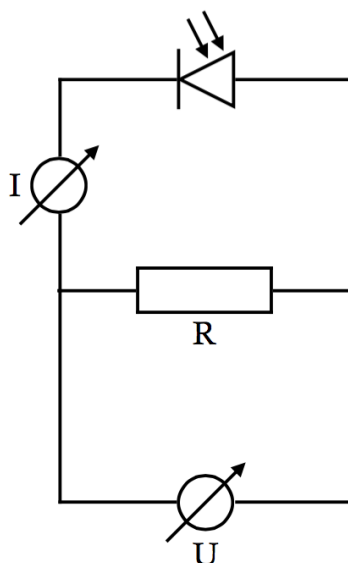


Abbildung 1: Schaltbild des Vorversuchs

Um die Intensitäten von künstlicher Beleuchtung und Tageslicht zu vergleichen, wird eine Solarzelle über ein Amperemeter an einen Lastwiderstand ( $1,5\ \Omega$ ) angeschlossen (s. Abb. 1). Der Spannungsabfall  $U$  über diesen Widerstand wird mit dem Voltmeter gemessen. Sowohl bei künstlicher Beleuchtung als auch Tageslicht wird je ein Wertepaar für Strom  $I$  und Spannung  $U$  aufgenommen. Berechnen Sie jeweils die Leistung und bewerten Sie Ihre Ergebnisse.

## Experiment 1: Leistungscharakteristik von Solarzellen

Im ersten Versuchsteil soll untersucht werden, wie sich die Leistung von Solarzellen in Abhängigkeit von der angehängten Last  $R_{\text{Last}}$  verhält. Dies soll zunächst für eine einzelne Solarzelle und anschließend für ein Panel aus 6 in Reihe geschalteten Solarzellen untersucht werden.

### Durchführung

Eine Solarzelle wird über ein Amperemeter an den Lastwiderstand  $R_0$  (hierzu wird der  $100\ \Omega$  10-Gang Widerstand verwendet) angeschlossen (s. Abb. 2a). Mit einem Voltmeter wird der Spannungsabfall  $U$  über den Lastwiderstand gemessen.

- Die Leistungscharakteristik  $P(R)$  einer einzelnen Solarzelle soll bestimmt werden.
- Es werden 10 Wertepaare von Spannung  $U$  und Strom  $I$  gemessen. Mithilfe des Potentiometers kann der Lastwiderstand  $R_0$  variiert und somit die Spannung eingestellt werden.

*Vorbereitung:* Wo sollten sinnvollerweise mehr/weniger Werte aufgenommen werden?

*Vorbereitung:* Welchen Nutzen kann man in der praktischen Anwendung aus der Kenntnis der Leistungscharakteristik ziehen?

Nun soll die Leistungscharakteristik eines Solarpanels untersucht werden.

**Achtung:** Die Solarzellen dürfen nur durch an-/auseinanderschieben auf dem Tisch liegend verbunden bzw. getrennt werden. Anordnungen aus zusammengesteckten Solarzellen *müssen* auf dem Tisch liegen bleiben.

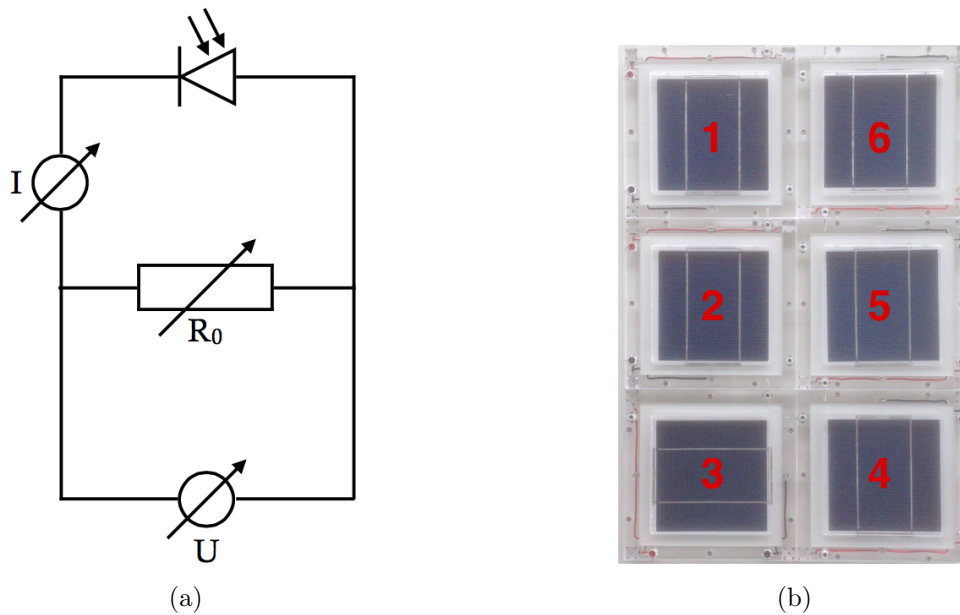


Abbildung 2: Schaltbild des Aufbaus zur Messung der Leistungscharakteristik (a) einer einzelnen Solarzelle sowie eines Panels aus 6 in Reihe geschalteten Solarzellen (b).

- Schalten Sie 6 Solarzellen wie in Abb. 2b in Reihe und achten Sie darauf, die Zellen 1 und 6 nicht leitend miteinander zu verbinden.

*Vorbereitung:* Weshalb ist das wichtig?

- Die Solarzellen sollen möglichst gleichmäßig beleuchtet werden.
- Die Messungen werden wie bei der einzelnen Solarzelle durchgeführt.

*Vorbereitung:* Welche Veränderungen erwartet man für Position und Wert des Leistungsmaximums gegenüber der Messung an einer einzelnen Solarzelle?

### Auswertung

- Für eine einzelne und für 6 in Reihe geschaltete Solarzellen sollen die Leistungscharakteristiken  $P(R)$  jeweils in einem eigenen Diagramm graphisch dargestellt werden (mit Fehlerbalken!).
- Der Wert des Widerstandes, bei dem die Leistung maximal wird soll jeweils inkl. Messgenauigkeit bestimmt werden.
- Die Ergebnisse sollen miteinander verglichen werden.

## Experiment 2: Solarzellen als Spannungsquelle

In diesem Versuchsteil sollen die Solarzellen nun als Spannungsquelle für ein Diodenexperiment genutzt werden. Die Solarzellen – selber Halbleiterdioden – stellen dabei die Spannung für die Bestimmung der Diodenkennlinie  $I(U)$  zur Verfügung.

## Durchführung

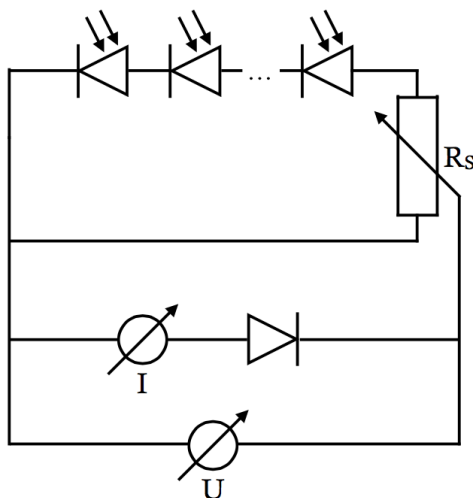


Abbildung 3: Schaltbild des Aufbaus zur Messung der Diodenkennlinien.

Sechs Solarzellen dienen in Reihe geschaltet als Spannungsquelle und versorgen einen Spannungsteiler  $R_S$ . An den Spannungsteiler wird über ein Amperemeter eine Diode angeschlossen. Der Spannungsabfall  $U$  über die Diode kann dann mit dem Spannungsteiler eingestellt werden. Er wird mit einem Voltmeter gemessen.

- Die Schaltung soll mit einer beliebigen Diode wie in Abb. 3 aufgebaut werden.
- Mithilfe des Potentiometers wird die Spannung an der untersuchten Diode eingestellt und jeweils zusammen mit der Stromstärke und den jeweiligen Messungenauigkeiten protokolliert. Die Werte der Spannungen sollen sinnvoll gewählt werden.
- Es muss jeweils in Durchlass- und in Sperrrichtung gemessen werden (insgesamt 10 - 15 Werte)!

## Auswertung

- Die Kennlinie  $I(U)$  der Diode soll für beide Stromrichtungen in einem gemeinsamen Diagramm graphisch dargestellt werden (inkl. Fehlerbalken).
- Diskutieren Sie Ihre Ergebnisse.

## Zusammenfassung und Diskussion

Das Versuchsprotokoll soll mit einer Zusammenfassung des Experimentes und einer Bewertung der Messergebnisse abgeschlossen werden. Welche Erkenntnisse hat dieses Experiment geliefert? Nebenfachstudenten sollen einen Bezug herstellen zu ihrem Hauptfach, Lehramtsstudenten zur Erfahrungswelt eines Schülers.

**Verwenden Sie für Ihr Messprotokoll ausschließlich die Vorlage im angehängten Versuchsbericht. Drucken Sie dazu die Vorlage aus und bringen Sie diese bei der Durchführung mit.**



---

# Versuchsbericht: E-11 – Solarzellen

(Version 1 – 22. Mai 2020)

Datum: \_\_\_\_\_

Praktikanten: \_\_\_\_\_

Betreuer: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 1 Notizen und Vorbemerkungen

## 2 Vorbereitungsaufgabe – Maximum der Leistung

### 3 Messprotokoll

#### Vorversuch

Sonnenlicht:  $U = \quad \pm$                       künstliche Beleuchtung:  $U = \quad \pm$   
 $I = \quad \pm$      $I = \quad \pm$

#### Experiment 1

##### Einzelne Solarzelle

Spannung	Unsicherheit	Stromstärke	Unsicherheit	Bemerkungen

##### Solarpanel

Spannung	Unsicherheit	Stromstärke	Unsicherheit	Bemerkungen

ACHTUNG: Einheiten nicht vergessen!!



**Experiment 2**

Stromrichtung: \_\_\_\_\_

Spannung	Unsicherheit	Stromstärke	Unsicherheit	Bemerkungen

Stromrichtung: \_\_\_\_\_

Spannung	Unsicherheit	Stromstärke	Unsicherheit	Bemerkungen

ACHTUNG: Einheiten nicht vergessen!!

**Antestat**

Datum: \_\_\_\_\_

Unterschrift: \_\_\_\_\_

## 4 Auswertung

Formeln  $R =$   $\Delta R =$   $P =$   $\Delta P =$

### Vorversuch

Sonnenlicht:  $P =$   $\pm$  künstliche Beleuchtung:  $P =$   $\pm$

### Experiment 1

#### Einzelne Solarzelle

Spannung	Stromstärke	Widerstand	Unsicherheit	Leistung	Unsicherheit

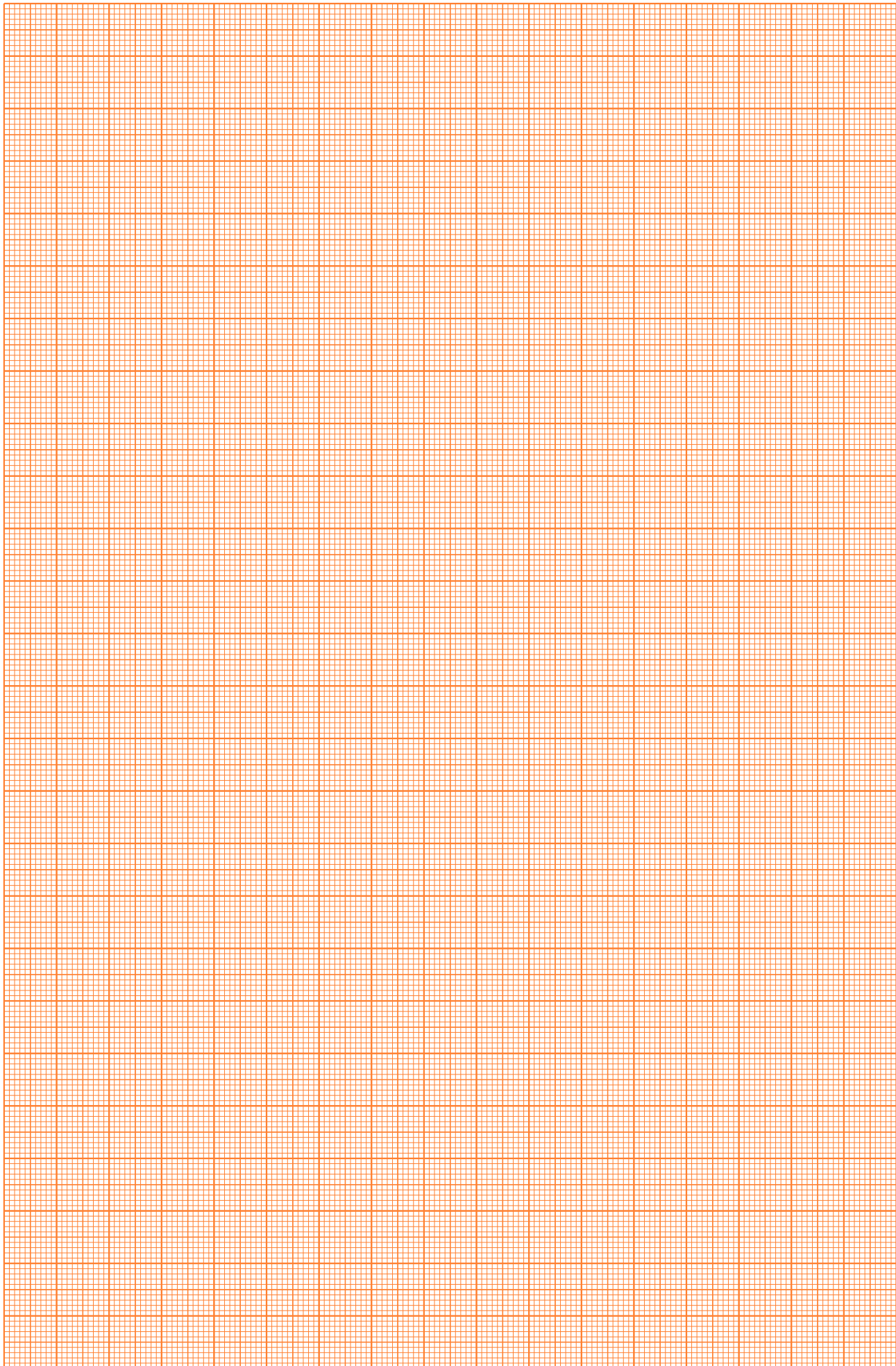
$R_{\max} =$   $\pm =$

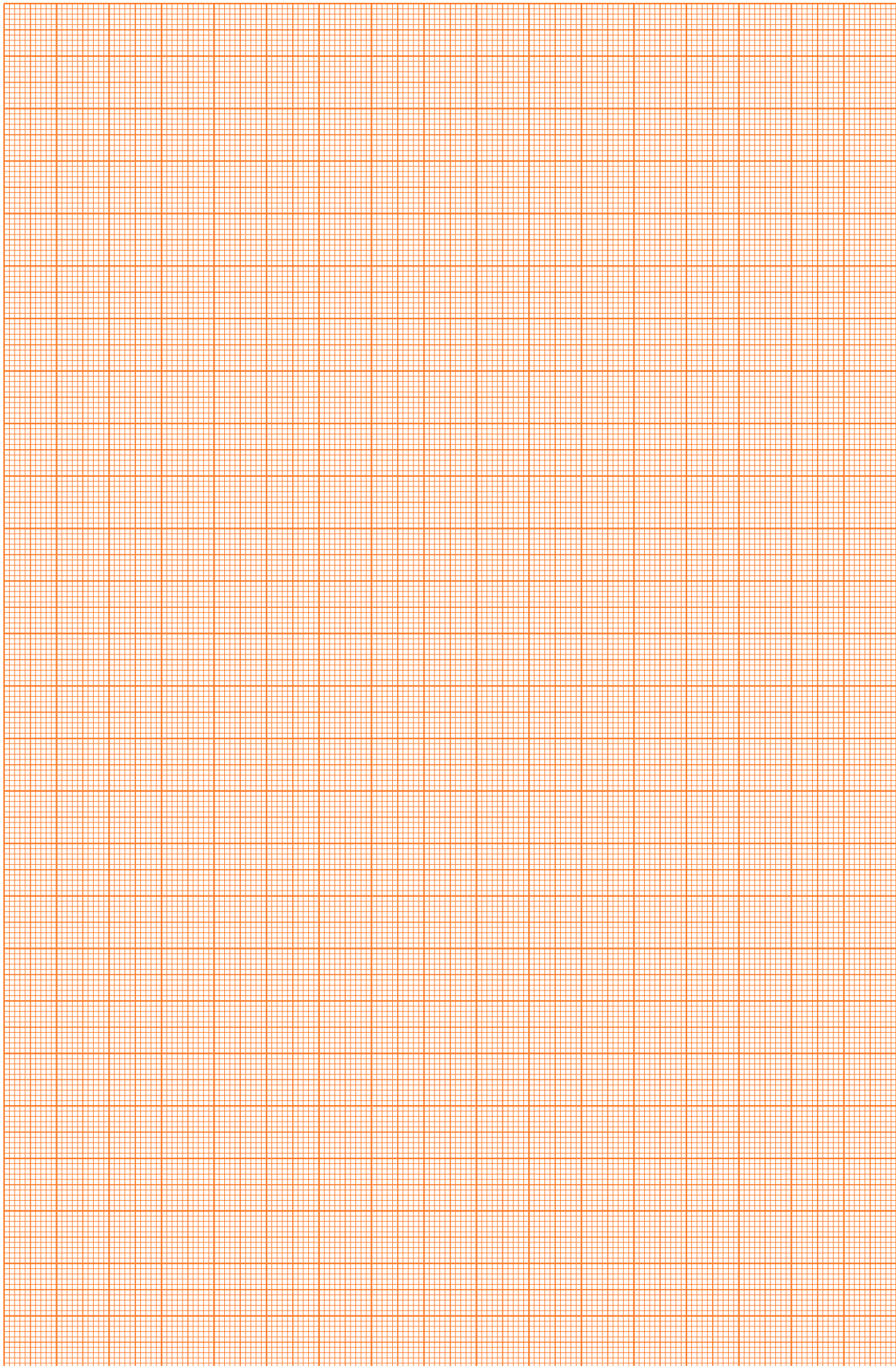
#### Solarpanel

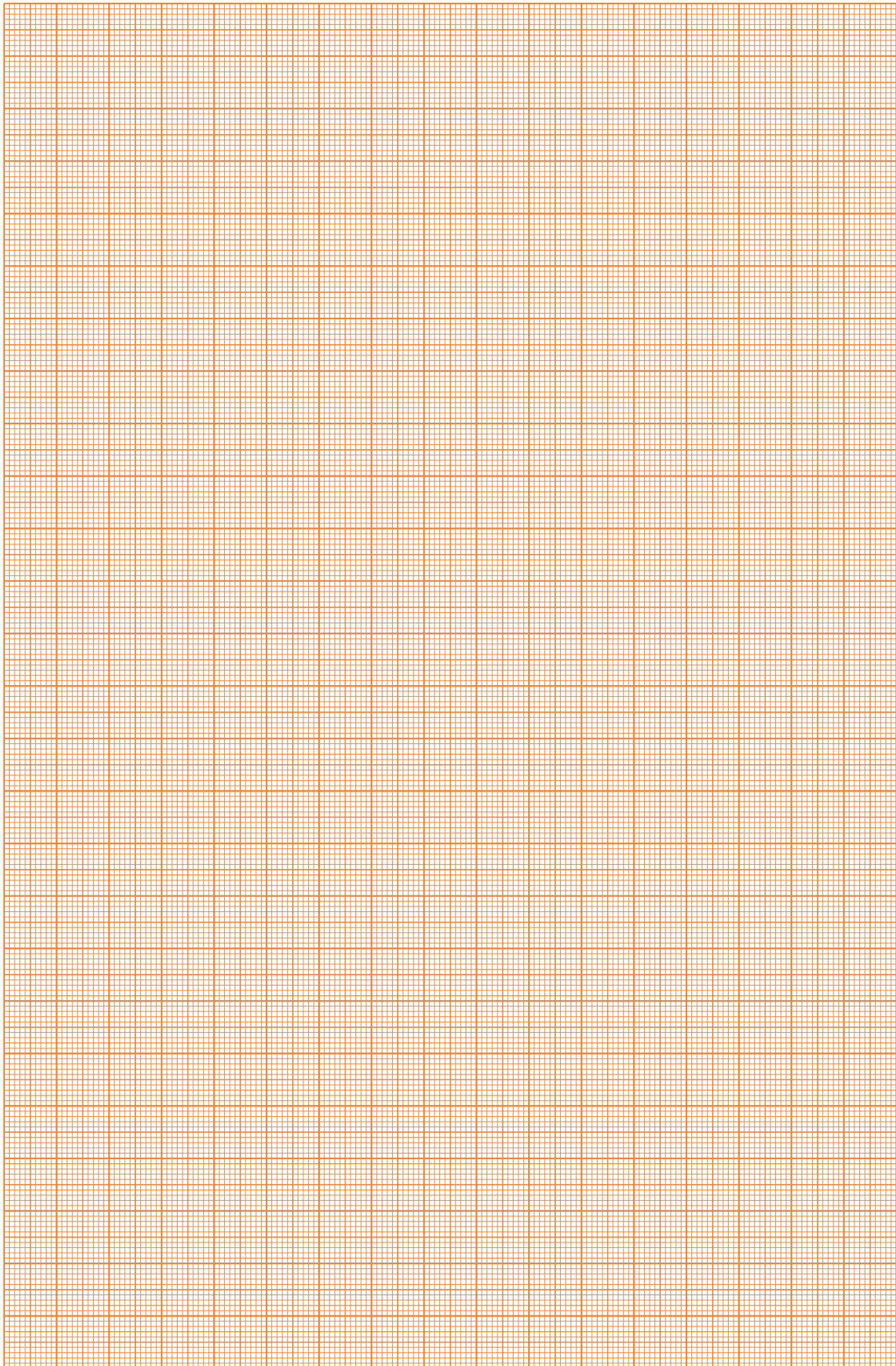
Spannung	Stromstärke	Widerstand	Unsicherheit	Leistung	Unsicherheit

$R_{\max} =$   $\pm =$

ACHTUNG: Einheiten nicht vergessen!!







## 5 Diskussion und Zusammenfassung

### Endtestat

Datum: \_\_\_\_\_

Unterschrift: \_\_\_\_\_