

# **Labor für Meßtechnik**

Protokollführer: Heiko Jentsch  
Matrikelnummer: 9716065  
Tel.-Nr.: 05 31 / 86 49 42

2. Teilnehmer: Karsten Hachmeister  
Matrikelnummer: 9715011

Versuchstag: 24.03.1998

Versuch Nr.: 2

**Messungen an Solarzellen**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>VERSUCHSDURCHFÜHRUNG</b>	<b>3</b>
1.1.	Bestrahlungsstärke der Kunstsonne	3
1.2.	Kennlinienaufnahme von Strom und Spannung	3
1.2.1.	Wertetabelle für 30°C	4
1.2.2.	Wertetabelle für 60°C	5
1.2.3.	Grafische Darstellung der Strom - Widerstandskennlinie	6
1.2.4.	Grafische Darstellung der Spannungs - Widerstandskennlinie	7
1.2.5.	Quellenkennlinie	8
1.3.	Leistungsberechnung	9
1.3.1.	Leistungskennlinie	10
1.3.2.	Grafische Darstellung des Wirkungsgrads	11
1.4.	Ermittlung des Innenwiderstandes $R_Q$	12
1.5.	Optimaler Lastwiderstand	12
1.5.1.	Grafische Darstellung der Leistungskennlinie für optimalen Lastwiderstand	13
<b>2.</b>	<b>AUSWERTUNG DES VERSUCHS</b>	<b>14</b>
2.1.	Physikalische Wirkungsweise	14
2.1.1.	Einfluß der Ohm'schen Widerstände	14
2.2.	Grafische Überprüfung der maximalen Leistung	15
2.2.1.	Regressionskurve der Quellenkennlinie für 30°C	16
2.2.2.	Regressionskurve der Leistung für 60°C	17
2.3.	Formel für die optimale Schaltung von Solarzellen	18
2.4.	Diskussion der Wirkungsgrade	18
2.5.	Füllfaktor	19
2.6.	Temperaturabhängigkeit der Leerlaufspannung und des Kurzschlußstromes	19
2.7.	Temperaturabhängigkeit der Maximalleistung und des Füllfaktors	19
2.8.	Fehler der max. Leistungsentnahme bei nicht optimalen Lastwiderstand	20

# 1. Versuchsdurchführung

## 1.1. Bestrahlungsstärke der Kunstsonne

Gerätedaten des Meßgerätes Power and Energie Meter 365:

Meßfläche:  $A_M = 5,31 \text{ cm}^2$

Angegebene Leistung der Halogen – Lampe (Kunstsonne):

Nominalleistung:  $100 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$

Im voraus berechnete Beleuchtungsstärke der Meßsonde:

$$P_M = 5,31 \text{ cm}^2 \cdot 100 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} = 531 \text{ mW}$$

Daraus gewählter Meßbereich:

Meßbereich bis 2W.

Mit dem Meßgerät Power and Energie Meter 365 gemessene Beleuchtungsstärke:

$$E_e = \frac{586 \text{ mW}}{5,31 \text{ cm}^2} = 110,36 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$$

## 1.2. Kennlinienaufnahme von Strom und Spannung

Laut Aufgabenstellung sollen die Kennlinien

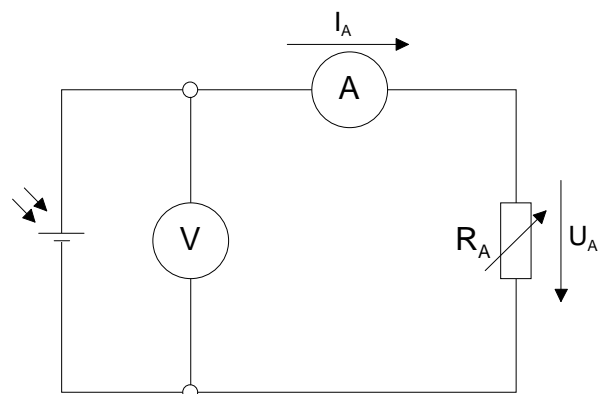
$$I_A = f(R_A) \quad U_A = f(R_A) \quad I_A = f(U_A)$$

aufgenommen und dargestellt werden. Der Wert des Innenwiderstands wurde aus dem Quotienten von Spannung und Strom errechnet. Die Kennlinien wurden einmal bei  $\tau = 30^\circ\text{C}$  und bei  $\tau = 60^\circ\text{C}$  gemessen.

Zum Vergleich der Veränderung der Werte bei Temperaturänderung werden die Kennlinien jeweils von  $30^\circ\text{C}$  und  $60^\circ\text{C}$  in einem Diagramm dargestellt.

Als Strommesser haben wir das Gerät von Keithley benutzt, als Spannungsmesser stand das Meßgerät HP 974A zur Verfügung.

Die Meßwerte für  $30^\circ\text{C}$  befinden sich in der Tabelle 1.2.1, die für  $60^\circ\text{C}$  in der Tabelle 1.2.2. Die Diagramme befinden sich unter 1.2.3., 1.2.4. und 1.2.5.



**Abb. 1:** Schaltung zur Messung von Strom und Spannung an der Solarzelle

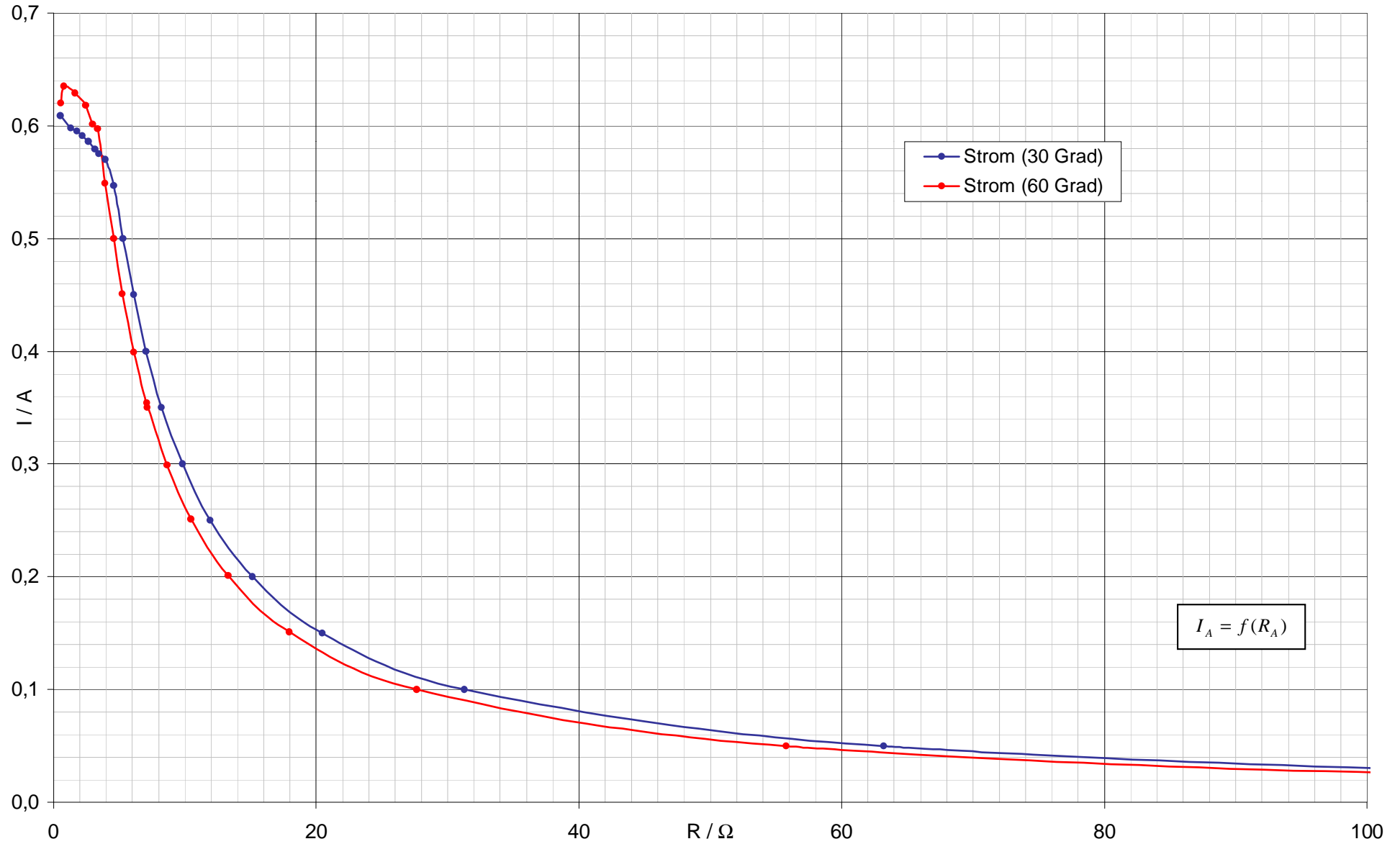
**1.2.1. Wertetabelle für 30° C**

Lastwiderstand (errechnet) $R_A / \Omega$	Spannung $U_A / V$	Strom $I_A / A$	Ausgangsleistung (errechnet) $P / W$	Wirkungsgrad (errechnet) $\eta / \%$	Regression (errechnet) $I / A$
0,53	0,324	0,6090	0,197	1,19	0,608
1,34	0,800	0,5980	0,478	2,89	0,609
1,80	1,070	0,5950	0,637	3,85	0,592
2,20	1,300	0,5910	0,768	4,64	0,582
2,66	1,560	0,5860	0,914	5,52	0,581
3,14	1,820	0,5790	1,054	6,37	0,588
3,46	1,990	0,5750	1,144	6,91	0,592
3,95	2,250	0,5700	1,283	7,75	0,587
4,57	2,500	0,5470	1,368	8,26	0,550
5,30	2,650	0,5000	1,325	8,00	0,503
6,11	2,750	0,4500	1,238	7,48	0,456
7,03	2,810	0,4000	1,124	6,79	0,421
8,23	2,880	0,3500	1,008	6,09	0,374
9,83	2,950	0,3000	0,885	5,35	0,318
11,92	2,980	0,2500	0,745	4,50	0,291
15,15	3,030	0,2000	0,606	3,66	0,242
20,47	3,070	0,1500	0,461	2,78	0,199
31,30	3,130	0,1000	0,313	1,89	0,128
63,20	3,160	0,0500	0,158	0,95	0,089
126,80	3,170	0,0250	0,079	0,48	0,076
4600,00	3,220	0,0007	0,002	0,01	0,005

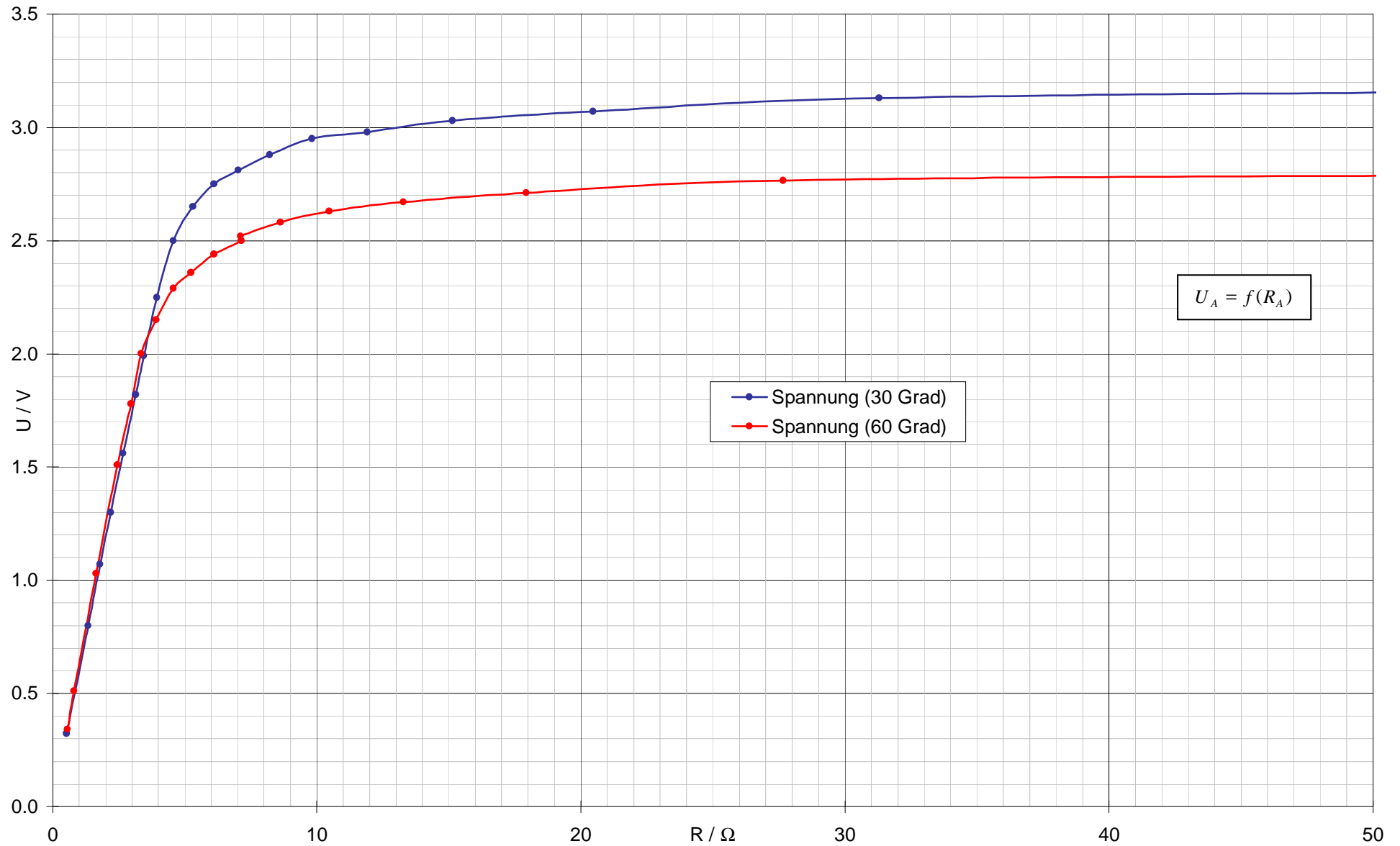
**1.2.2. Wertetabelle für 60° C**

Lastwiderstand (errechnet) $R_A / \Omega$	Spannung $U_A / V$	Strom $I_A / A$	Ausgangsleistung (errechnet) $P / W$	Wirkungsgrad (errechnet) $\eta / \%$	Regression (errechnet) $I / A$
0,55	0,341	0,6200	0,211	1,28	0,624
0,80	0,510	0,6350	0,324	1,96	0,630
1,64	1,030	0,6290	0,648	3,91	0,628
2,44	1,510	0,6180	0,933	5,64	0,627
2,96	1,780	0,6010	1,070	6,46	0,616
3,35	2,001	0,5970	1,195	7,22	0,587
3,92	2,150	0,5490	1,180	7,13	0,550
4,58	2,290	0,5000	1,145	6,92	0,496
5,23	2,360	0,4510	1,064	6,43	0,461
6,12	2,440	0,3990	0,974	5,88	0,413
7,14	2,500	0,3500	0,875	5,29	0,371
7,12	2,520	0,3540	0,892	5,39	0,356
8,63	2,580	0,2990	0,771	4,66	0,306
10,48	2,630	0,2510	0,660	3,99	0,259
13,28	2,670	0,2010	0,537	3,24	0,218
17,95	2,710	0,1510	0,409	2,47	0,174
27,66	2,766	0,1000	0,277	1,67	0,107
55,80	2,790	0,0500	0,140	0,84	0,076
112,40	2,810	0,0250	0,070	0,42	0,049
9500,00	2,850	0,0003	0,001	0,01	-0,008

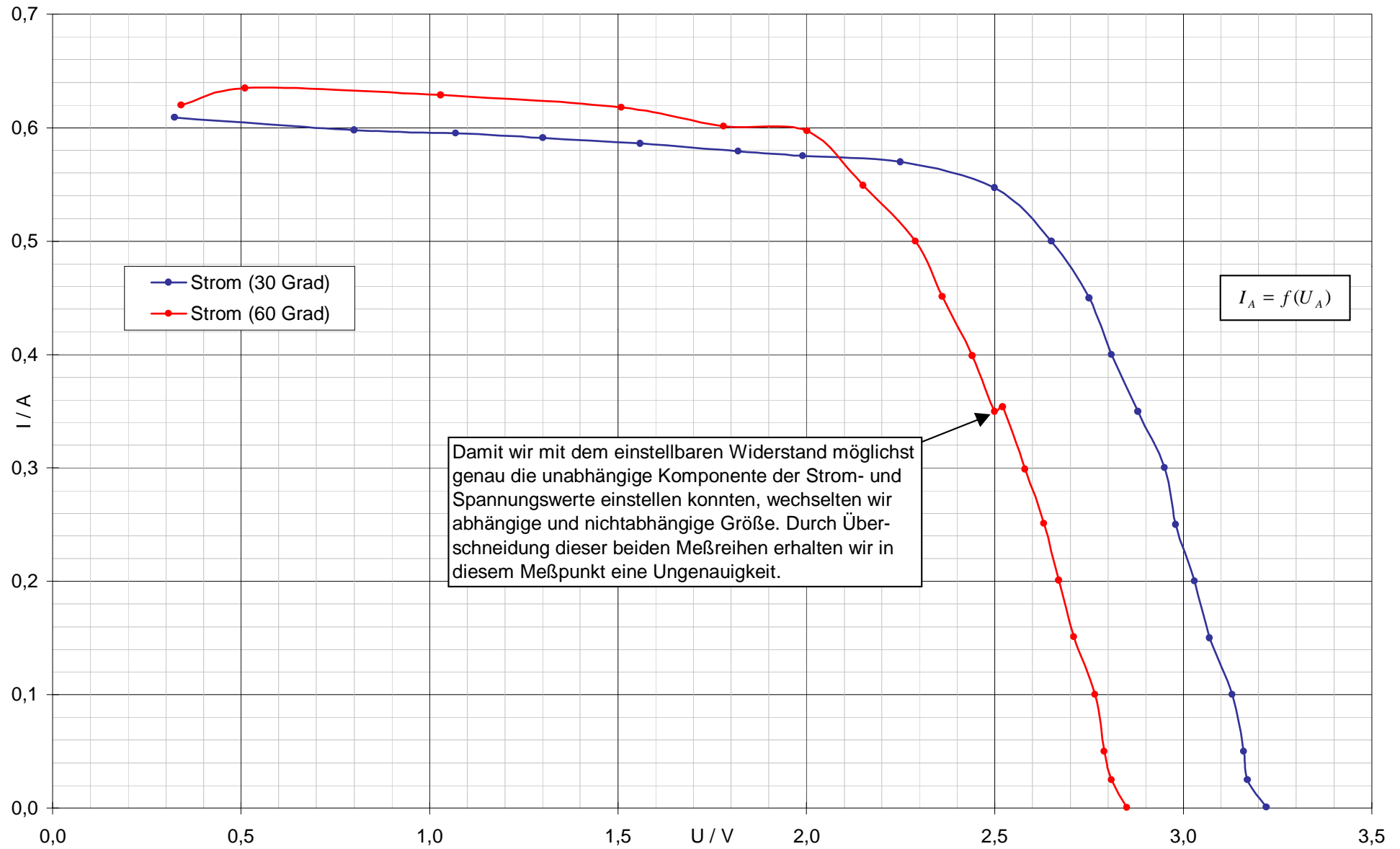
### 1.2.3. Grafische Darstellung der Strom - Widerstandskennlinie



### 1.2.4. Grafische Darstellung der Spannungs - Widerstandskennlinie



### 1.2.5. Quellenkennlinie



### 1.3. Leistungsberechnung

Die Beleuchtungsstärke des Halogenstrahlers wurde unter 1.1. gemessen. Damit haben wir eine Beleuchtungsstärke von

$$E_e = 110,36 \frac{mW}{cm^2}.$$

Mit einer gemessenen Fläche des Solarmoduls von

$$A = 6 \cdot 5 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm} = 150 \text{ cm}^2$$

ergibt sich daraus eine auf das Solarmodul auftreffende Strahlungsleistung von

$$P_s = 110,36 \frac{mW}{cm^2} \cdot 150 \text{ cm}^2 = 16,5 \text{ W}$$

Im folgenden sollte die Ausgangsleistung als Funktion von

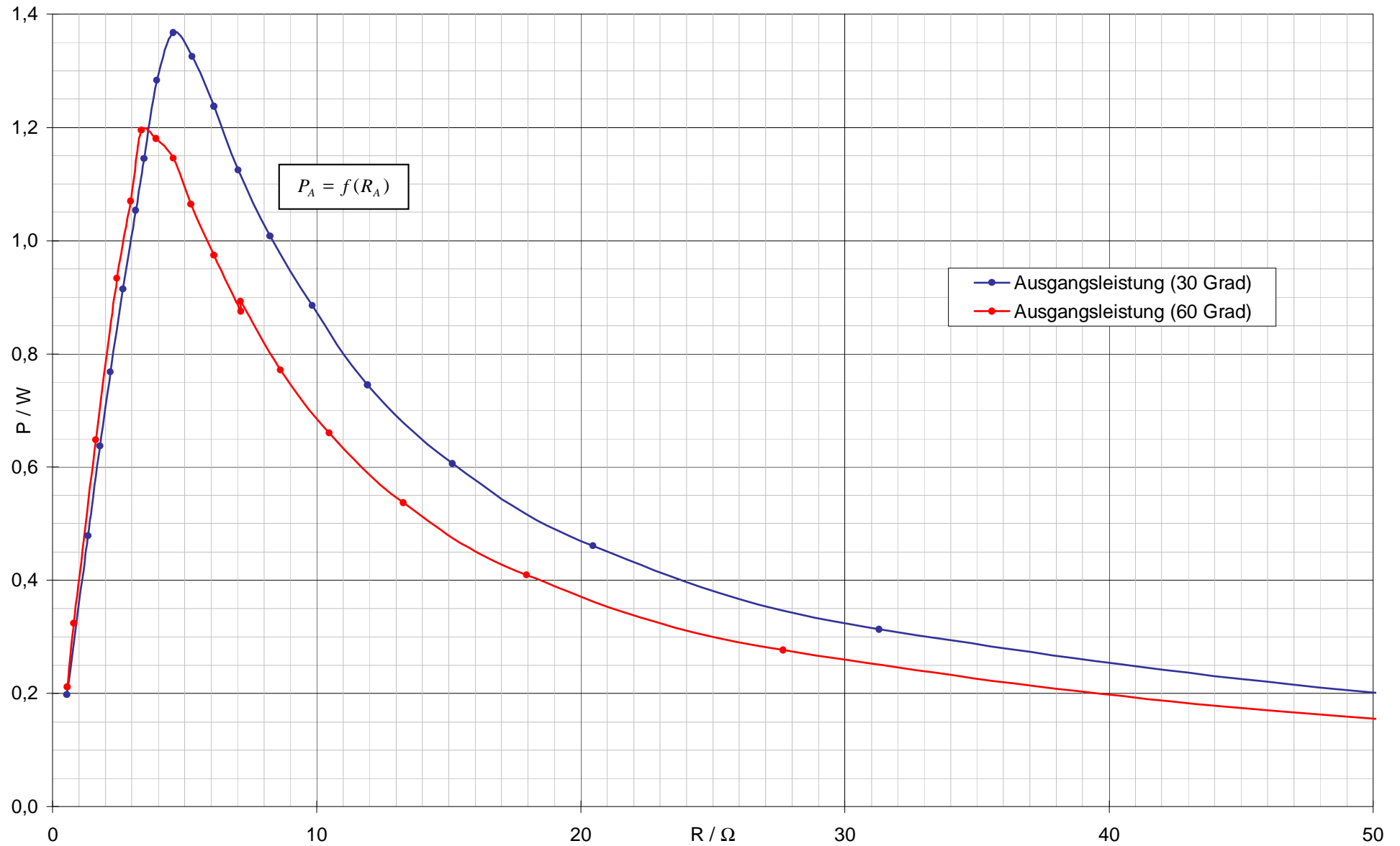
$$P_A = f(R_A) = U_A \cdot I_A$$

dargestellt werden.

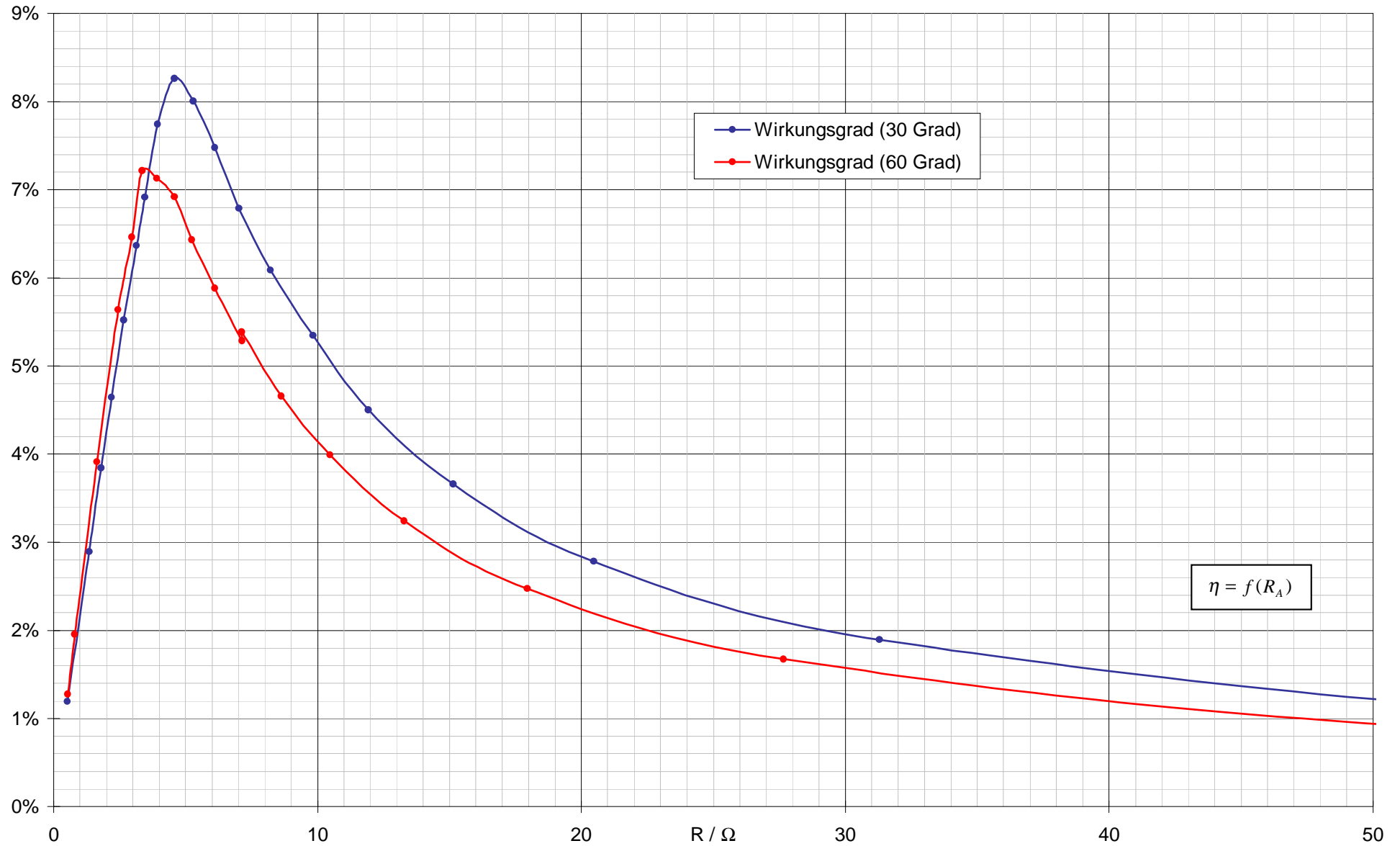
Außerdem galt es den Wirkungsgrad  $\eta$  zu bestimmen:

$$\eta = f(R_A) = \frac{P_A}{P_s}$$

Die errechneten Werte befinden sich in der Tabelle unter 1.2.1. für 30°C und 1.2.2. für 60°C, das Diagramm für die Leistungen unter 1.3.1. und das für die Wirkungsgrade unter 1.3.2.

**1.3.1. Leistungskennlinie**

### 1.3.2. Grafische Darstellung des Wirkungsgrads



#### 1.4. Ermittlung des Innenwiderstandes $R_Q$

Die Werte für die Leerlaufspannung haben wir bereits unter 1.2. gemessen. Die Werte für den Kurzschlußstrom bestimmen wir, indem wir den Ausgangswiderstand kurzschließen. Daraus lassen sich die Werte für den Innenwiderstand  $R_Q$  berechnen:

Bei  $\tau = 30^\circ\text{C}$  :

$$U_Q = 3,22 \text{ V}$$

$$I_K = 0,579 \text{ A}$$

$$R_Q = \frac{U_Q}{I_K} = \frac{3,22 \text{ V}}{0,579 \text{ A}} = 5,56 \Omega$$

Bei  $\tau = 60^\circ\text{C}$  :

$$U_Q = 2,85 \text{ V}$$

$$I_K = 0,631 \text{ A}$$

$$R_Q = \frac{U_Q}{I_K} = \frac{2,85 \text{ V}}{0,631 \text{ A}} = 4,52 \Omega$$

#### 1.5. Optimaler Lastwiderstand

Den optimalen Lastwiderstand haben wir aus der Wertetabelle unter 1.2.1. und 1.2.2. und aus dem Diagramm von Ausgangsleistung und Wirkungsgrad unter 1.3.1. und 1.3.2. ermittelt. Es ergeben sich für den optimalen Lastwiderstand  $R_{A_{\text{optimal}}}$  :

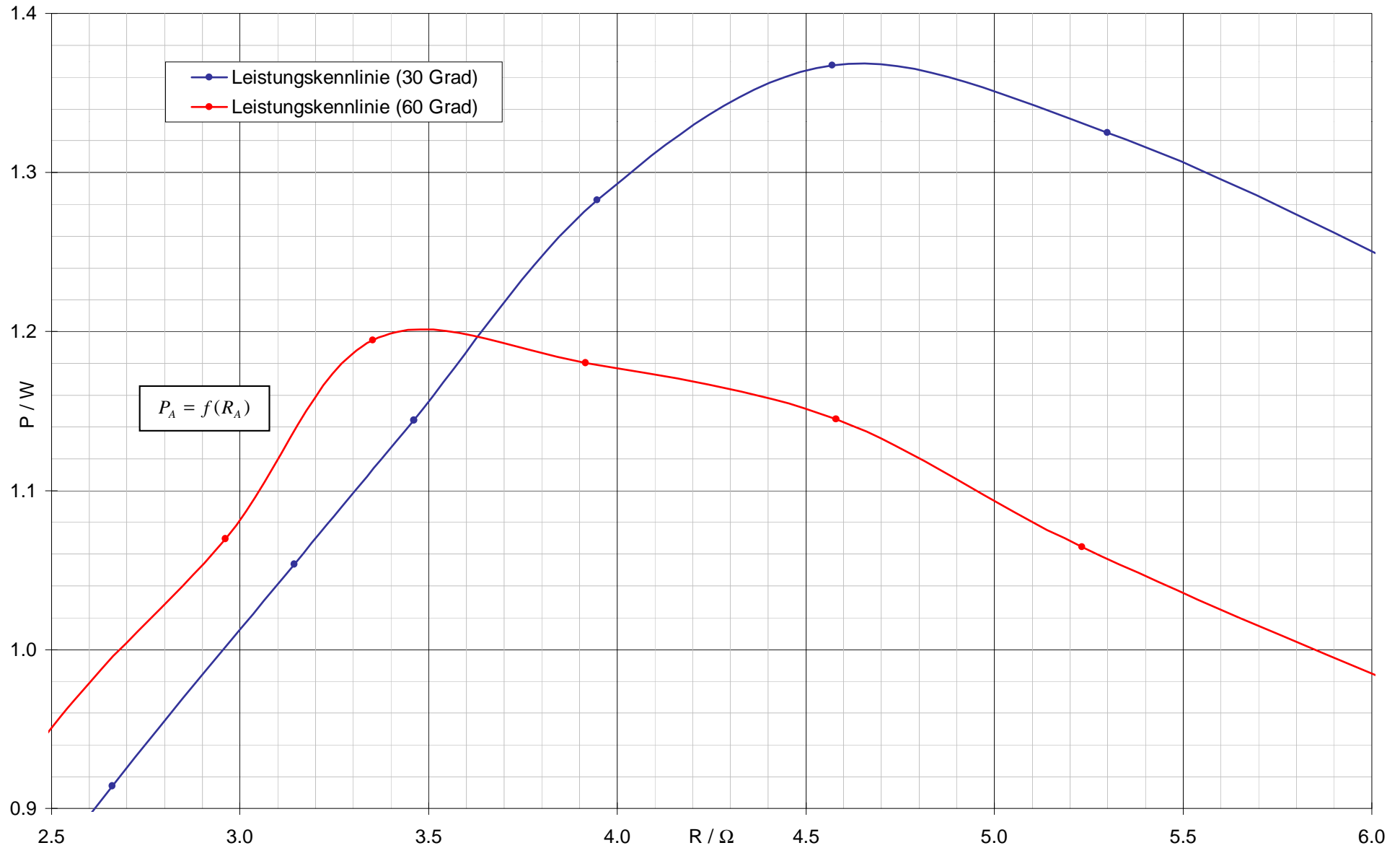
Bei  $\tau = 30^\circ\text{C}$  :

$$R_{A_{\text{optimal}}} = 4,57 \Omega$$

Bei  $\tau = 60^\circ\text{C}$  :

$$R_{A_{\text{optimal}}} = 3,35 \Omega$$

Für die entsprechenden optimalen Lastwiderstände befindet sich das Diagramm unter 1.5.1.

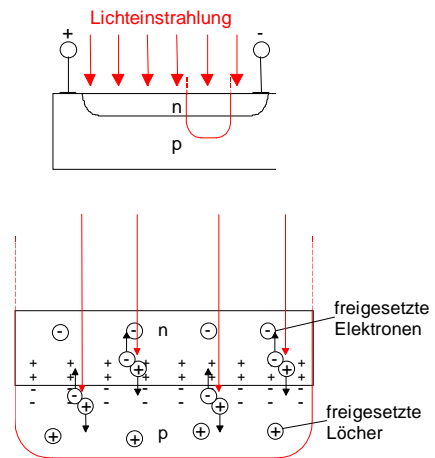
**1.5.1. Grafische Darstellung der Leistungskennlinie für optimalen Lastwiderstand**

## 2. Auswertung des Versuchs

### 2.1. Physikalische Wirkungsweise

Eine Solarzelle ist ein Energiewandler. Die Lichtenergie wird in elektrische Energie umgewandelt. Dieses Bauteil hat die Eigenschaft von Generatoren, d.h. sie haben eine Urspannung und einen Innenwiderstand. Sie besteht im Prinzip aus Silizium – Fotoelementen.

Ein Silizium – Fotoelement besteht aus einem p – leitenden Si – Kristall, in das eine dünne n – leitende Zone eindotiert wurde. Zwischen p – Zone und n – Zone bildet sich durch Ladungsträgerdiffusion eine Raumladungszone. In dieser Raumladungszone herrscht ein elektrisches Feld. Da die n – Zone sehr dünn ist, wird sie fast ganz von der Raumladungszone durchsetzt. Die n – Zone ist mit einer lichtdurchlässigen Schutzschicht abgedeckt. Das Licht fällt auf die n – Zone und bewirkt in ihr ein Freisetzen von Elektronen. Man kann sich vorstellen, daß die Photonen des Lichts Kristallbindungen zerschlagen. Die aus ihren Bindungen befreiten Elektronen werden vom elektrischen Feld beschleunigt. Sie erfahren als negative Ladungsträger eine Kraftwirkung entgegengesetzt zur Feldlinienrichtung, d.h. sie wandern in den sperrschichtfreien Bereich der n – Zone. Dort herrscht Elektronenüberschuß. Hier handelt es sich um den negativen Pol des Fotoelements. Die von der Freisetzung von Elektronen entstandenen Löcher wandern in Feldlinienrichtung in den sperrschichtfreien Teil der p – Zone. Dort herrscht Elektronenmangel, es ist somit also der positive Pol des Fotoelements.



**Abb. 2:** Grundaufbau eines Silizium – Fotoelements mit Ausschnittsvergrößerung des Kristalls

#### 2.1.1. Einfluß der Ohm'schen Widerstände

##### Einfluß des parasitären Serienwiderstandes:

Der Serienwiderstand bildet sich durch den ohmschen Widerstand im Halbleitermaterial. Außerdem kommen die Kontaktwiderstände zwischen dem Metall und dem Halbleiter dazu. Der Serienwiderstand wird durch den ohmschen Widerstand in den Metallkontakten weiter vergrößert.

Generell hat der parasitäre Serienwiderstand keinen Einfluß auf den Kurzschlußstrom, sowie auf die Leerlaufspannung. Erst bei sehr hohen Werten nimmt der Kurzschlußstrom ab. Um hohe Wirkungsgrade zu erreichen, sollte jedoch der Serienwiderstand möglichst klein gehalten werden.

##### Einfluß des parasitären Parallelwiderstandes:

Der Parallelwiderstand wird durch Kriechströme längs der Kanten der Solarzelle, sog. Leckströme bestimmt. Auch punktuelle Störungen des p – n – Überganges führen zu einer Verringerung des Parallelwiderstandes. Diese Störungen, wie z.B. Unterbrechungen des p – n – Überganges, werden verursacht durch Fremdstoffpartikel beim Eindiffundieren des n – Emitters, die die Eindiffusion punktuell verhindern. Weiterhin kann das Basismaterial mit dem Finger – System an einigen Stellen in elektrischen Kontakt stehen und so einen, wenn auch geringen, Kurzschluß bilden.

Auch hier erniedrigt sich die Leerlaufspannung erst bei sehr geringen Werten. Der Kurzschlußstrom wird nur bei polykristallinen Zellen beeinflusst. Bei monokristallinen Zellen kann der Einfluß vernachlässigt werden.

## 2.2. Grafische Überprüfung der maximalen Leistung

Mit dem Rechner ermittelten wir für die Funktion der Quellenkennlinie eine Ausgleichskurve 4. Grades:

Für  $\tau = 30^\circ\text{C}$ :

$$I = -0,068 \cdot U^4 + 0,368 \cdot U^3 - 0,666 \cdot U^2 + 0,438 \cdot U + 0,524$$

Für  $\tau = 60^\circ\text{C}$ :

$$I = -0,066 \cdot U^4 + 0,278 \cdot U^3 - 0,42 \cdot U^2 + 0,263 \cdot U + 0,573$$

Für die maximale Ausgangsleistung ergibt sich aus der Ausgleichsfunktion:

$$P = U \cdot I = U \cdot (a_4 \cdot U^4 + a_3 \cdot U^3 + a_2 \cdot U^2 + a_1 \cdot U + a_0)$$

$$\frac{dP}{dU} = 5a_4 \cdot U^4 + 4a_3 \cdot U^3 + 3a_2 \cdot U^2 + 2a_1 \cdot U + a_0 \stackrel{!}{=} 0$$

Wenn man die Koeffizienten einsetzt, kann man mit dem Newton'schen Näherungsverfahren die Spannung berechnen. Daraus kann man den Strom und die Leistung bestimmen:

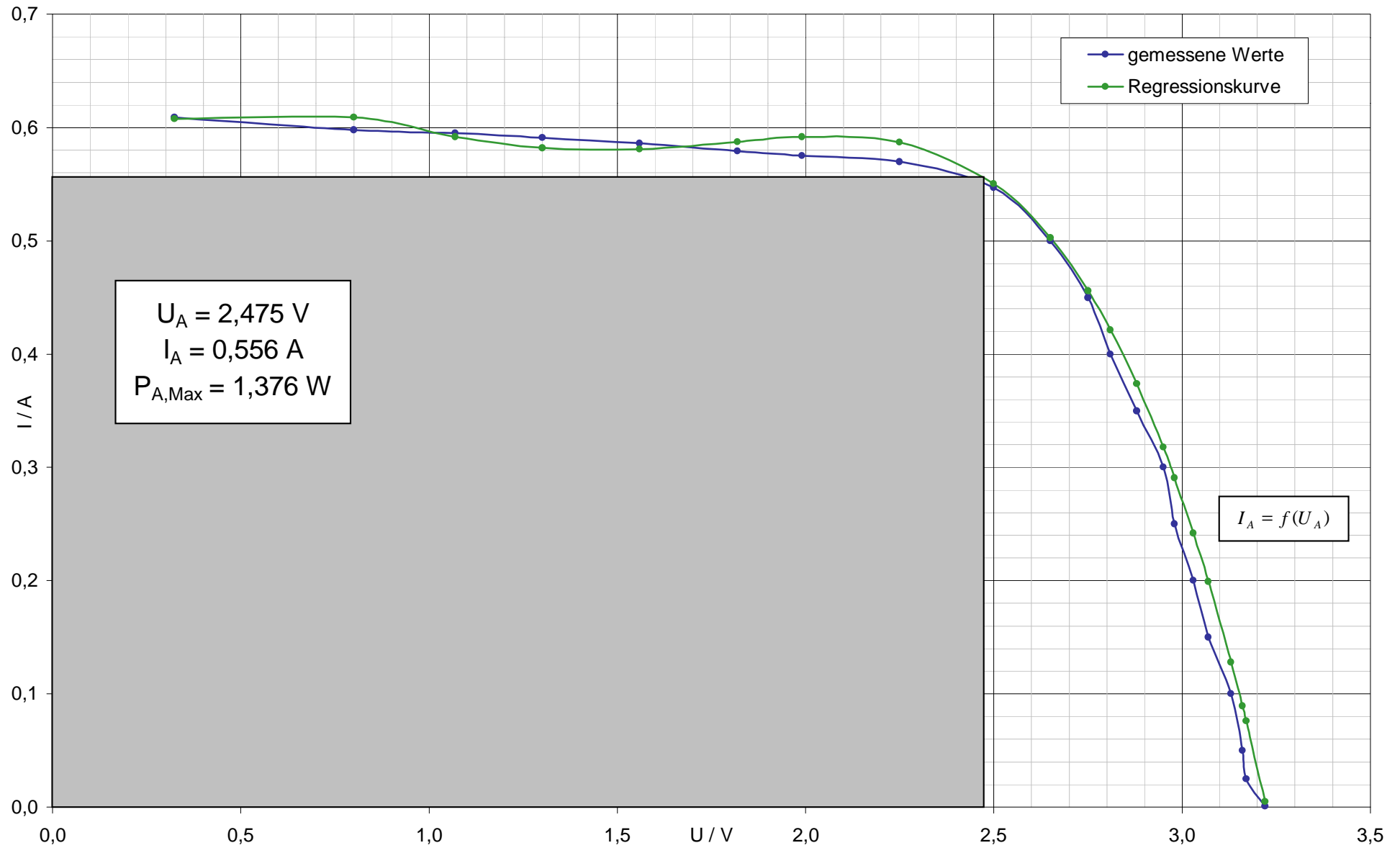
Für  $\tau = 30^\circ\text{C}$ :

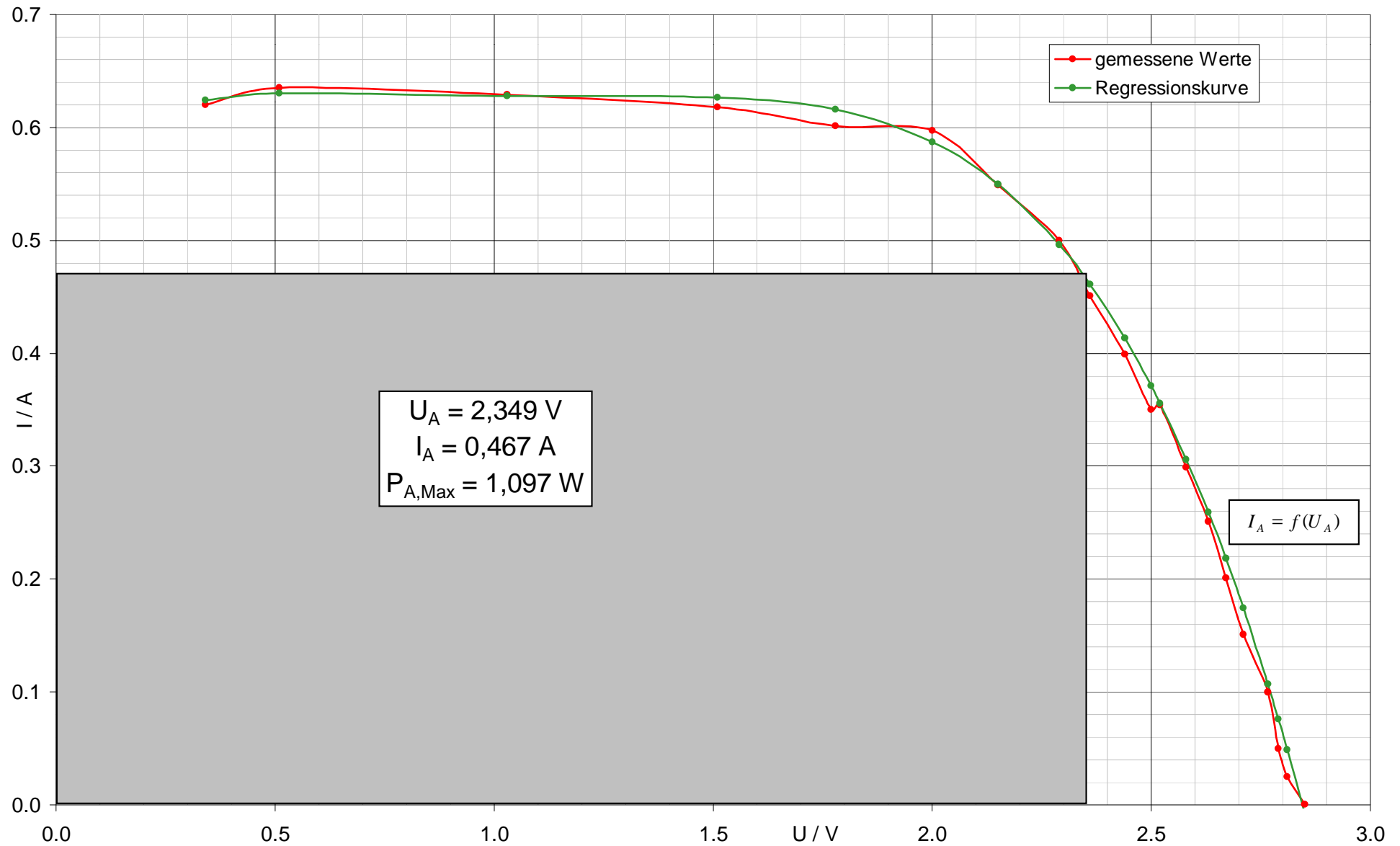
$$U = 2,475 \text{ V}; \quad I = 0,556 \text{ A}; \quad P = 1,376 \text{ W}$$

Für  $\tau = 60^\circ\text{C}$ :

$$U = 2,349 \text{ V}; \quad I = 0,467 \text{ A}; \quad P = 1,097 \text{ W}$$

Die Diagramme sind unter 2.2.1. für  $30^\circ\text{C}$  und unter 2.2.2. für  $60^\circ\text{C}$  dargestellt.

**2.2.1. Regressionskurve der Quellenkennlinie für 30° C**

**2.2.2. Regressionskurve der Leistung für 60° C**

### 2.3. Formel für die optimale Schaltung von Solarzellen

Laut Aufgabenstellung ist die gegebene Formel für die optimale Schaltung von Solarzellen herzuleiten:

$$N \cdot R_A = n^2 \cdot R_Q$$

Solarzellen werden üblicherweise zum Erzielen einer genügend hohen Spannung in Serie und zum Erzielen eines möglichst großen Stromes parallel geschaltet. Sind  $U_Q$  und  $R_Q$  bekannt, läßt sich der Innenwiderstand des gesamten Solarmoduls beschreiben durch:

$$R_{Spalte} = R_{Q1} + R_{Q2} + \dots + R_{Qn} = n \cdot R_Q$$

$$R_I = \frac{1}{\frac{1}{R_{Spalte 1}} + \frac{1}{R_{Spalte 2}} + \dots + \frac{1}{R_{Spalte m}}} = \frac{1}{m \cdot \frac{1}{R_{Spalte}}} = \frac{1}{m} \cdot R_{Spalte}$$

$n$  = Anzahl der in Serie geschalteten Zellen  
 $m$  = Anzahl der parallelgeschalteten Zellen  
 $N$  = Gesamtzahl der Zellen

Bei der Annahme der Leistungsanpassung bei linearem Innenwiderstand ist Lastwiderstand gleich dem Innenwiderstand:  $R_I = R_A$

$$R_A = \frac{1}{m} \cdot R_{Spalte} = \frac{n}{m} \cdot R_Q \quad | \cdot m \cdot n$$

$$m \cdot n \cdot R_A = n^2 \cdot R_Q \quad | N = m \cdot n$$

$$N \cdot R_A = n^2 \cdot R_Q$$

### 2.4. Diskussion der Wirkungsgrade

In der Tabelle unter 1.2.1. kann man die Werte für die Wirkungsgrade ablesen. Das Diagramm unter 1.3.2. veranschaulicht die Werte noch einmal. Bei Leistungsanpassung ergeben sich folgende Werte:

Für  $\tau = 30^\circ C$  :

$$\eta = \frac{P_{A_{Max}}}{P_S} = 8,26\%$$

Für  $\tau = 60^\circ C$  :

$$\eta = \frac{P_{A_{Max}}}{P_S} = 7,22\%$$

Die maximale Leistung kann man ebenfalls aus der Tabelle ersehen:

Für  $\tau = 30^\circ C$  :

$$P_{A_{Max}} = 1,386$$

Für  $\tau = 60^\circ C$  :

$$P_{A_{Max}} = 1,195$$

Für eine Ausgangsleistung, die ein handelsübliches Bügeleisen von  $P_A = 1000W$  benötigt, wird folgende Anzahl von Modulen benötigt:

Für  $\tau = 30^\circ C$  :

$$N = \frac{P_A}{P_{A_{Max}}} = \frac{1000 W}{1,386 W} = 722 \text{ Stück}$$

Für  $\tau = 60^\circ C$  :

$$N = \frac{P_A}{P_{A_{Max}}} = \frac{1000 W}{1,195 W} = 837 \text{ Stück}$$

## 2.5. Füllfaktor

Die allgemeine Formel für den Füllfaktor lautet:

$$F_F = \frac{U_{A_{Max}} \cdot I_{A_{Max}}}{U_Q \cdot I_K}$$

Die Werte für Strom und Spannung bei Leistungsanpassung  $U_{A_{Max}}$  und  $I_{A_{Max}}$ , sowie die Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom  $U_Q$  und  $I_K$  sind aus der Tabelle unter 1.2.1. bzw. unter 1.4. zu erkennen.

Für  $\tau = 30^\circ\text{C}$ :

$$F_F = \frac{2,5 \text{ V} \cdot 0,547 \text{ mA}}{3,22 \text{ V} \cdot 0,579 \text{ mA}} = 0,73$$

Für  $\tau = 60^\circ\text{C}$ :

$$F_F = \frac{2,001 \text{ V} \cdot 0,597 \text{ mA}}{2,85 \text{ V} \cdot 0,631 \text{ mA}} = 0,66$$

## 2.6. Temperaturabhängigkeit der Leerlaufspannung und des Kurzschlußstromes

Die Temperaturabhängigkeit der Leerlaufspannung ergibt sich aus:

$$-\frac{1}{\Delta\tau} \cdot \left( 1 - \frac{U_{L,60^\circ\text{C}}}{U_{L,30^\circ\text{C}}} \right) \cdot 100\%$$

$$-\frac{1}{30^\circ\text{C}} \cdot \left( 1 - \frac{2,85 \text{ V}}{3,22 \text{ V}} \right) \cdot 100\% = -0,38 \frac{\%}{^\circ\text{C}}$$

Analog zur Leerlaufspannung ergibt sich auch die Abhängigkeit des Kurzschlußstromes aus:

$$-\frac{1}{\Delta\tau} \cdot \left( 1 - \frac{I_{K,60^\circ\text{C}}}{I_{K,30^\circ\text{C}}} \right) \cdot 100\%$$

$$-\frac{1}{30^\circ\text{C}} \cdot \left( 1 - \frac{0,631 \text{ mA}}{0,579 \text{ mA}} \right) \cdot 100\% = 0,29 \frac{\%}{^\circ\text{C}}$$

## 2.7. Temperaturabhängigkeit der Maximalleistung und des Füllfaktors

Auch die Temperaturabhängigkeit der Maximalleistung errechnet sich durch:

$$-\frac{1}{\Delta\tau} \cdot \left( 1 - \frac{P_{Max,60^\circ\text{C}}}{P_{Max,30^\circ\text{C}}} \right) \cdot 100\%$$

$$-\frac{1}{30^\circ\text{C}} \cdot \left( 1 - \frac{1,386 \text{ W}}{1,195 \text{ W}} \right) \cdot 100\% = -0,53 \frac{\%}{^\circ\text{C}}$$

Und für den Füllfaktor gilt:

$$-\frac{1}{\Delta\tau} \cdot \left( 1 - \frac{F_{F,60^\circ\text{C}}}{F_{F,30^\circ\text{C}}} \right) \cdot 100\%$$

$$-\frac{1}{30^\circ\text{C}} \cdot \left( 1 - \frac{0,66}{0,73} \right) \cdot 100\% = -0,32 \frac{\%}{^\circ\text{C}}$$

## 2.8. Fehler der max. Leistungsentnahme bei nicht optimalen Lastwiderstand

Laut Aufgabenstellung soll der relative Fehler der Leistung berechnet werden, falls das Modul nicht mit dem optimalen Lastwiderstand betrieben wird, sondern mit dem Innenwiderstand, der für Leistungsanpassung bei linearen Quellen optimal ist.

Die Werte für den optimalen Lastwiderstand können wir aus der Tabelle ermitteln:

Für  $\tau = 30^\circ\text{C}$ :

$$R_A = 4,57 \Omega$$

$$\Rightarrow P_{A_{Max}} = 1,386 \text{ W}$$

Für  $\tau = 60^\circ\text{C}$ :

$$R_A = 3,35 \Omega$$

$$\Rightarrow P_{A_{Max}} = 1,195 \text{ W}$$

Die Werte des Innenwiderstandes haben wir unter 1.4. ermittelt.

Für  $\tau = 30^\circ\text{C}$ :

$$R_Q = 5,56 \Omega$$

Für  $\tau = 60^\circ\text{C}$ :

$$R_Q = 4,52 \Omega$$

Die Werte für die Leistung bei Belastung mit dem Innenwiderstand müssen wir aus dem Diagramm ablesen:

Für  $\tau = 30^\circ\text{C}$ :

$$\Rightarrow P_Q = 1,3 \text{ W}$$

Für  $\tau = 60^\circ\text{C}$ :

$$\Rightarrow P_Q = 1,146 \text{ W}$$

Allgemein errechnet sich der relative Fehler aus:

$$p_f = \frac{P_Q - P_{A_{Max}}}{P_{A_{Max}}}$$

Daraus ergibt sich:

Für  $\tau = 30^\circ\text{C}$ :

$$p_f = \frac{1,3 \text{ W} - 1,386 \text{ W}}{1,386 \text{ W}} = -6,2 \%$$

Für  $\tau = 60^\circ\text{C}$ :

$$p_f = \frac{1,146 \text{ W} - 1,195 \text{ W}}{1,195 \text{ W}} = -4,1 \%$$