

**Universität Koblenz- Landau**  
**Campus Landau**  
Institut für Naturwissenschaften  
Abteilung Physik

**Empirische Untersuchungen zum  
selbständigen Wissens- und Könnenserwerb an Lernstationen  
im Themenbereich „Photovoltaik“**

**Vorgelegt von  
Nguyen Van Bien**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Philosophie  
Fachbereich 7: Natur- und Umweltwissenschaften,  
Universität Koblenz-Landau

Oktober 2007



## Wesentliche Erkenntnisse der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit werden vom Autor entwickelte und in der Schulpraxis bzw. Lehrerbildung erprobte Unterrichtskonzepte zum selbstständigen Wissens- und Könnenserwerb an Lernstationen und für den lehrerzentrierten Frontalunterricht für den Themenbereich „Photovoltaik“ vorgestellt (siehe Anhang A, S. 146). Es wird mit dieser Arbeit ein Beitrag zur aktuellen Kompetenzforschung geleistet. Die wesentlichen Resultate sind:

- Es wird gezeigt, dass die Legitimation der Unterrichtsthematik „Photovoltaik“ aus gesellschaftlicher, bildungstheoretischer und fachdidaktischer Sicht begründbar ist.
- Es wird nachgewiesen, dass das Teilchenmodell für die Beschreibung des Aufbaus und der Funktionsweise der Solarzelle im Physikunterricht geeignet ist (Elementarisierung des Leitungsvorganges in Halbleitern).
- Die Analysen der Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler zur Photovoltaik lassen erkennen, dass diese phänomenologischer Natur sind. Über konkrete Vorkenntnisse zur Solarzelle verfügen die Schülerinnen und Schüler nicht.
- Die empirischen Untersuchungen belegen, dass sowohl im Frontalunterricht als auch beim Lernen an Stationen ein großer Lernzuwachs nachweisbar ist. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Lernenden der 10. und 11. Klasse in der Lage sind, sich neues Wissen und Können anzueignen (Abschnitt 6.2, S. 93).
- Die empirischen Untersuchungen weisen nach, dass die Urteilsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler (Kompetenz: Bewertung) im Nachtest signifikant überzeugender (Nutzung von wissenschaftlich gesicherten Argumenten) ist als im Vortest (Abschnitt 6.4, S. 100).
- Die Aufgabenstellungen der einzelnen Stationen wurden hinsichtlich der Kompetenzanforderungen vom Autor und von Experten analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass die Zuordnung der Aufgabenstellungen zu den vier Kompetenzbereichen (Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung) von den meisten Experten einheitlich erfolgt. Große Unterschiede treten bei der Zuordnung der Aufgabenstellungen zu den Anforderungsbereichen auf. Die Hauptursachen sieht der Autor in den unzureichenden Erläuterungen der Bildungsstandards zu den Anforderungsbereichen und den Erfahrungen der Experten bei der Bewertung von Kompetenzen (Abschnitt 7.4, S. 119).



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>6</b>
1.1	Problemstellung: Aktuelle Probleme des Physikunterrichts aus nationaler und internationaler Sicht.....	6
1.2	Ziele der Arbeit.....	9
1.3	Wissenschaftliche Fragestellungen.....	10
1.4	Hypothesen .....	10
<b>2</b>	<b>Zur Legitimation der Unterrichtsthematik „Photovoltaik“ .....</b>	<b>11</b>
2.1	Gesellschaftliche Legitimation .....	11
2.2	Bildungstheoretische Legitimation .....	12
2.3	Fachdidaktische Legitimation.....	13
2.3.1	Allgemeines .....	13
2.3.2	Schülervorstellungen zur Photovoltaik.....	14
<b>3</b>	<b>Fachwissenschaftliche Grundlagen der Photovoltaik .....</b>	<b>20</b>
3.1	Bohr'sches Atommodell .....	20
3.2	Bändermodell.....	21
3.3	Photovoltaischer Effekt.....	24
3.4	Ladungsträgerkonzentration und Massenwirkungsgesetz der Ladungsträgerdichten im Halbleiter .....	25
3.4.1	Eigenhalbleiter (Der intrinsische Halbleiter).....	25
3.4.2	Dotierte Halbleiter .....	27
3.4.3	Donatoren und Akzeptoren.....	28
3.4.4	p-n-Übergang .....	29
3.4.5	Durchlassrichtung und Sperrrichtung – Betrachtung der Stromstärke .....	31
3.5	Solarzelle .....	32
3.5.1	Funktionsweise der Solarzelle .....	32
3.5.2	Kurzschlussstrom.....	34
3.5.3	Leerlaufspannung.....	35
3.6	Belastete Solarzelle.....	36
3.6.1	Aufbau und Ersatzschaltbild einer Solaranlage .....	36
3.6.2	Füllfaktor .....	37
3.6.3	Wirkungsgrad.....	37
<b>4</b>	<b>Konzeption der empirischen Untersuchung.....</b>	<b>39</b>
4.1	Zum Konzept der didaktischen Rekonstruktion .....	39
4.2	Elementarisierung photovoltaischer Grundlagen.....	40
4.3	Entwicklung einer Konzeption für den Frontalunterricht mit Schülerexperimenten .....	45
4.4	Entwicklung einer Konzeption zur selbstständigen Wissens- und Könnensaneignung.....	61

<b>5</b>	<b>Untersuchungsdesign, Testinstrumente Kompetenzdiagnostik</b>	<b>78</b>
5.1	Methodisches Vorgehen zur Entwicklung der Testinstrumente .....	78
5.2	Untersuchungsdesign .....	78
5.3	Probandenübersicht und Untersuchungsdesign.....	80
5.4	Testinstrumente .....	81
5.4.1	Prä- und Posttests zur Ermittlung des Wissens- und Könnenszuwachses .....	81
5.4.2	Interessentest .....	81
5.4.3	Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung .....	81
5.4.4	Physikspezifische Selbstwirksamkeitserwartung.....	82
5.4.5	Bewertungstest: Aussagen von Schülerinnen und Schülern über Presseveröffentlichungen der Frankfurter Allgemeinen Zeitung [FAZ 2005]....	82
5.4.6	Einschätzung des Lernens an Stationen .....	82
5.4.7	Kompetenzermittlung von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen .	82
<b>6</b>	<b>Ergebnisse des Prä- und Posttests zur Ermittlung des Wissens- und Könnenszuwachses .....</b>	<b>83</b>
6.1	Fachwissenstest .....	83
6.1.1	Ergebnisse des Prätests – Ermittlung der Schülervorstellungen über Photovoltaik .....	84
6.1.2	Auswertung des Wissenstests zur des Ermittlung Lernzuwachses der Schülerinnen und Schüler.....	87
6.2	Binnenstruktur von Selbstwirksamkeitserwartung und Interesse .....	93
6.3	Modellierung des Lernerfolgs anhand psychologischer Variablen in multiplen Regressionsmodellen.....	97
6.4	Aussagen von Schülerinnen und Schülern über Presseveröffentlichungen der Frankfurter Allgemeinen Zeitung [FAZ 2005] .....	100
6.5	Einschätzung des Lernens an Stationen .....	111
<b>7</b>	<b>Umsetzung von Basiskompetenzen.....</b>	<b>116</b>
7.1	Bildungsstandards .....	116
7.2	Kompetenzbegriff.....	117
7.3	Kompetenzmodellierung .....	118
7.4	Einschätzung der Aufgabenstellungen der 10 Lernstationen bezüglich der Bildungsstandards durch Experten.....	119
7.5	Messung der angeeigneten Kompetenzen anhand der Arbeitsblattanalyse .....	123
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>129</b>
8.1	Ergebnisse .....	129
8.2	Resümee der Untersuchungen .....	130
8.3	Didaktisch Ertrag.....	132

<b>9</b>	<b>Verzeichnisse .....</b>	<b>134</b>
9.1	Abbildungsverzeichnis.....	134
9.2	Tabellenverzeichnis .....	137
9.3	Verzeichnis der physikalischen Formelzeichen.....	140
9.4	Literaturverzeichnis .....	142
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>146</b>
10.1	Anhang A: Das Unterrichtskonzept.....	146
10.1.1	Anhang A1: Stationen und Musterlösungen.....	146
10.1.2	Anhang A2: Arbeitsblätter und Musterlösungen für den Frontalunterricht .....	199
10.2	Anhang B: Erhebungsinstrumente .....	234
10.2.1	Anhang B1: Befragung zur Solarzelle .....	234
10.2.2	Anhang B2: Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung (sw_sc).....	236
10.2.3	Anhang B3: Physikspezifische Selbstwirksamkeitserwartung (sw_ph).....	237
10.2.4	Anhang B4: Interesse am Fach Physik (iphy) .....	238
10.2.5	Anhang B5: Aussagen der Frankfurter Allgemeinen Zeitung (FAZ) zur heimischen Solarstrom-Nutzung.....	239
10.2.6	Anhang B6: Fachwissenstest zur Photovoltaik.....	241
10.2.7	Anhang B7: Einschätzung des Lernens an Stationen .....	250
10.3	Anhang C: Tabellen zur statistischen Auswertung des Wissenstests.....	252

## 1 Einleitung

### 1.1 Problemstellung: Aktuelle Probleme des Physikunterrichts aus nationaler und internationaler Sicht

Kein geringerer als der Frankfurter Physikdidaktiker WALTER JUNG hat 1995 die Aussage getroffen, dass sich der gegenwärtige Physikunterricht sowohl aus nationaler als auch internationaler Sicht in einer Krise befindet [JUNG 1995].

Ähnliche Einschätzungen findet man in englischen physikdidaktischen Veröffentlichungen. Folgende Aspekte belegen diese Einschätzung des aktuellen Physikunterrichts:

#### 1. Aspekt

Um das Jahr 2000 wurde in einer Schülerdatenerhebung [HEBER 2000] aller Bundesländer festgestellt, dass nur 26% aller Schülerinnen und Schüler nach der 10. bzw. 11. Klasse Physikgrundkurse und 11% Physikleistungskurse belegen. (Abb. 1.1)

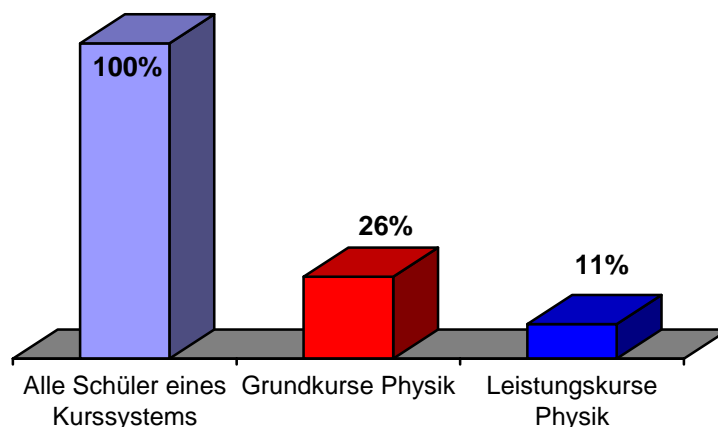


Abb. 1.1: Belegung der Grund- und Leistungskurse im Fachphysik im Schuljahr 1998/99

Nicht nur die Zahlen der Schülerinnen und Schüler, die Physik lernen, sondern auch die Anzahl der Studienanfänger im naturwissenschaftlichen Bereich sind rückläufig.

#### 2. Aspekt: Physik als unbeliebtes Fach

Die Unbeliebtheit des Faches Physik wird belegt durch zahlreiche Untersuchungen des IPN- Kiel [HÄUßLER 2002] und Praxisbefragungen, die an der Pädagogischen Hochschule Weingarten [MUCKENFUß 1995] durchgeführt wurden.

Die TIMS- Studie II und III hat nachgewiesen, dass die deutschen Schülerinnen und Schüler das geringste Interesse an Physik und Chemie im Vergleich mit anderen Fächern haben.



### **3. Aspekt: Uneffektivität der Physikunterrichts**

Durch die TIMSS- Studie [BAUMERT 2000] sowie zahlreichen Untersuchungen von JUNG, NACHTIGALL, von RHÖNECK u.a. wurde der Nachweis erbracht, dass das durch den Physikunterricht erworbene Wissen und Können nicht den Zielstellungen entspricht, die in den Curricula festgelegt sind.

Besondere Schwächen haben deutsche Schülerinnen und Schüler beim Lösen von Aufgaben, die das selbstständige Anwenden des Gelernten fordern, insbesondere haben die Lernenden Schwierigkeiten Aufgaben zu bearbeiten, die unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten zulassen. Nur 25% der Leistungskursschüler sind in der Lage, fachlich zu argumentieren. Defizite treten insbesondere im Verständnis naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen und im Bearbeiten von fachübergreifenden Problemstellungen auf.

### **4. Aspekt: Defizite in der Studierfähigkeit**

In den Erstsemestern fehlen fachliche und fachübergreifende Grundlagen. Der Schulstoff muss teilweise nachgeholt werden. Unzufriedenstellend ist die Ausbildung solcher Kompetenzen wie Selbstständigkeit, Teamfähigkeit, Belastbarkeit und Kooperationsfähigkeit.

Wesentliche Ursachen für die fehlende Akzeptanz des Faches Physik sieht [MÜLLER 1999] in folgenden schulischen und gesellschaftlichen Erfahrungen:

#### **i. Teilweise starker Kontrast zwischen der Auswahl der Unterrichtsthemen und der Lebenswelt der Lernenden**

Die für den Physikunterricht ausgewählten Inhalte sprechen oft die Schülerinnen und Schüler wenig an. Die Unterrichtsthemen haben zu wenig Bezug zur Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler.

#### **ii. Widerspruch zwischen Alltagserfahrungen der Schüler und Physikverstehen**

Physik wird von den Lernenden als schwer verständlich eingeschätzt, da ihre Vorstellungen oft mit den zu lernenden naturwissenschaftlichen Konzepten nicht übereinstimmen.

#### **iii. Mangelnde Vielfalt von Unterrichtsmethoden**

Unterrichtsanalysen, die in ausgewählten Bundesländern durchgeführt wurden, weisen darauf hin, dass lehrerzentrierter Unterricht überwiegt, während Gruppenarbeit bzw. Schülerdiskussion im Physikunterricht selten anzutreffen sind [SEIDEL 2004].

Inhalte werden abstrakt und theoretisch überladen behandelt. Es fehlen Bezüge zur Erfahrungswelt der Lernenden.

#### iv. Benachteiligung der Schülerinnen

Oft fehlt die Einbettung der physikalischen Inhalte in auch für Mädchen interessante Kontexte wie z.B. Natur- und Umweltphänomene, medizinische Problemstellungen, Alltagsgeschehen.

#### v. Vertikale und horizontale Vernetzung physikalischen Wissen

Die horizontale Vernetzung insbesondere mit den Fächern Mathematik und den anderen naturwissenschaftlichen Fächern ist zu verbessern. Berührungspunkte zwischen den Fächern Physik, Chemie und Biologie sind zu koordinieren.

Weiterhin ist die vertikale Vernetzung grundlegender Begriffe der Physik wie z.B. Kraft, Energie, Energieerhaltungssatz nicht zufriedenstellend.

#### vi. Bildungspolitische Entscheidungen zuungunsten der Physik

Bildungspolitische Entscheidungen haben in den letzten 20 Jahren den Stellenwert des Faches Physik in der Stundentafel zunehmend verschlechtert, in einigen Bundesländern wird das Fach Physik in der Sekundarstufe I durch Einstundenfächer präsentiert.

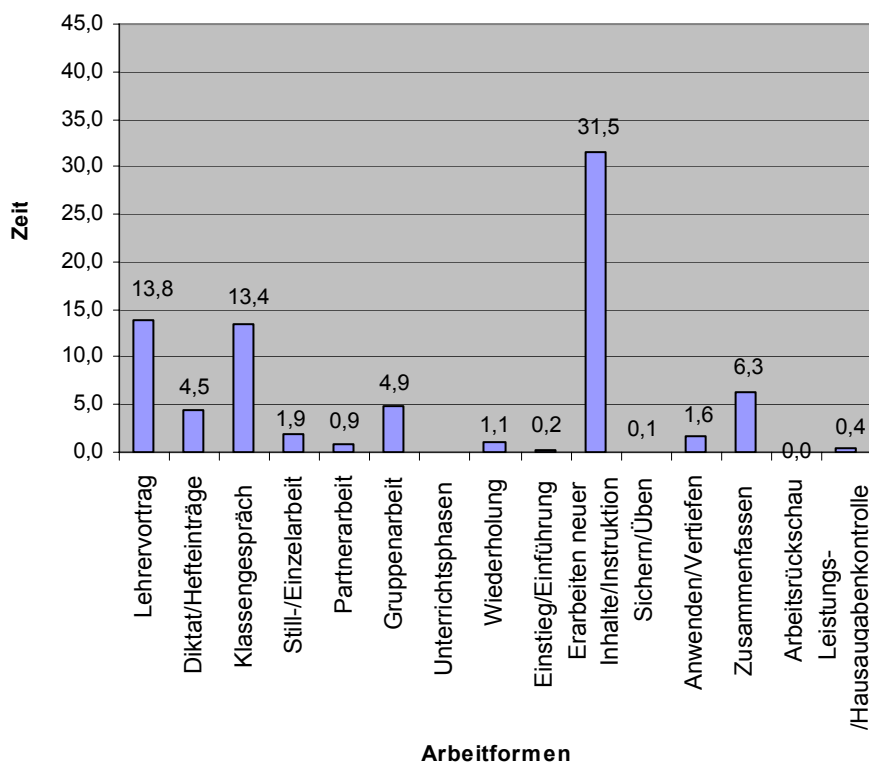


Abb. 1.2: Befunde aus den Videoanalysen des IPN [KASTENS 2006]

### vii. **Gesellschaftliches Image**

Das gesellschaftliche Image des Physikunterrichts in Deutschland ist nicht positiv. Das betrifft insbesondere die allgemeine Einstellung eines großen Teils der Bevölkerung.

Wesentliche Lösungsansätze zur Überwindung der Krise des Physikunterrichts sieht [MÜLLER 2006] in folgenden Konzepten:

- Konzept zur Überwindung von Alltagsvorstellungen,
- Konzept der Handlungsfähigkeit (Lernfähigkeiten),
- Konzept der experimentellen Durchdringung des physikalischen Erkenntnisprozesses,
- Konzepte zur Bearbeitung von Problemlösungsprozessen (Aufgabenkultur),
- Konzepte zum fachübergreifenden und fächerverbindenden Physikunterricht,
- Konzepte zur projektartigen und lernstationsartigen Gestaltung des Physikunterrichts.

Mit den folgenden empirischen Untersuchungen zum Öffnen des Physikunterrichts (Untersuchung zum Lernstationsbetrieb) soll ein Beitrag zur Verbesserung des Physikunterrichts in Deutschland und Vietnam geleistet werden.

## **1.2 Ziele der Arbeit**

Ausgehend von den oben dargestellten Problemen werden mit der vorliegenden Arbeit folgende Ziele angestrebt:

1. **Ziel:** Entwicklung und Evaluation zweier unterschiedlich methodisch gestalteter Lernkonzepte (Unterrichtsformen) für die Unterrichtsthematik „Photovoltaik“.
  - a) Konzept des selbstständigen Erarbeitens von Kenntnissen und Aneignung experimenteller Fertigkeiten (Lernen an Stationen),
  - b) Konzept eines instruierenden experimentellen Unterrichts.
2. **Ziel:** Untersuchung zu möglichen Einflussfaktoren für den Lernerfolg in der Unterrichtseinheit „Photovoltaik“
  - a) Schülervorstellung
  - b) Interessen
  - c) Physikbezogene Selbstwirksamkeit
  - d) Schulbezogene Selbstwirksamkeit
3. **Ziel:** Untersuchungen zur den Basiskompetenzen in der Unterrichtseinheit „Photovoltaik“.

### 1.3 Wissenschaftliche Fragestellungen

Aus der Zielstellung der Arbeit ergeben sich folgende Fragestellungen:

1. Ist eine möglichst selbstständige experimentell orientierte Erarbeitung von Kenntnissen über Photovoltaik mit Schülerinnen und Schülern der Klassenstufen 10/11 realisierbar?
2. Welche didaktisch-methodischen (unterrichtspraktische Maßnahmen) Konzepte eignen sich für einen lehrerzentrierten (instruierenden experimentellen) Unterricht und einen selbstständig experimentell orientierten Unterricht (Lernstationsbetrieb) für die Unterrichtsthematik „Photovoltaik“?
3. Welche spezifischen Beiträge zur Ausbildung und zum Trainieren von grundlegenden Denk- und Arbeitsweisen der Physik (Kompetenzen) wenden die Schülerinnen und Schüler bei der Lösung von Problem- und Aufgabenstellungen zur Photovoltaik im lehrerzentrierten Unterricht und im Lernstationsbetrieb an?
  - Formulierung von Hypothesen,
  - Planen von Experimenten zur Überprüfung von Hypothesen (methodisches Wissen über Experimente),
  - Durchführung der Experimente (Verstehen der experimentellen Methode, experimentelle Fähigkeiten und Fertigkeiten),
  - Einschätzen der experimentellen Ergebnisse,
  - Anwenden der experimentellen Methode, Analogiemethode, Modellmethode,
  - Durchführung von Literaturanalysen.
4. Welche Lernschwierigkeiten und Interventionen haben Schülerinnen und Schüler beim Verstehen der Photovoltaik und deren ökologischer Bewertung für die zukünftige Energiebereitstellung in Deutschland?

### 1.4 Hypothesen

Zu den im vorangegangenen Kapitel formulierten Forschungsfragen werden die folgenden Hypothesen aufgestellt.

**Hypothese 1:** Es wird erwartet, dass die Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 10/11 in der Lage sind, sich selbstständig den Aufbau und die Funktionsweise von Solarzellen im Lernstationsbetrieb zu erarbeiten.

**Hypothese 2:** Es wird erwartet, dass die entwickelten Unterrichtskonzepte im lehrerzentrierten Frontalunterricht und im Lernstationsbetrieb messbare Lernzuwächse bewirken.

**Hypothese 3:** Es wird erwartet, dass die schulspezifische Selbstwirksamkeitserwartung, die physikspezifische Selbstwirksamkeitserwartung und das Interesse an Physik Prädiktoren für den Lernerfolg der Unterrichtsreihe „Photovoltaik“ sind.

**Hypothese 4:** Es wird erwartet, dass durch die Unterrichtsreihe „Photovoltaik“ bei den Lernenden naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen der Physik (Kompetenzen) gefördert werden. Die geforderten Denk- und Arbeitsweisen entsprechen vom Inhalt und vom Anspruchsniveau den Anforderungen der nationalen Bildungsstandards [KMK 2004].

**Hypothese 5:** Es wird erwartet, dass sich die Präkonzepte und Alltagsvorstellungen zur Photovoltaik identifizieren lassen und die Lernenden sich durch die Unterrichtsreihe „Photovoltaik“ physikalisch verständliche Konzepte aneignen.

**Hypothese 6:** Es wird erwartet, dass die Schülerinnen und Schüler nach Abschluss der Unterrichtsreihe in der Lage sind, populärwissenschaftliche Presseveröffentlichungen mit Hilfe von physikalischem Fachwissen kritisch zu werten. Es wird das höchste Anforderungsniveau der Bildungsstandards Physik, Kompetenzbereich Bewertung gefordert [KMK 2004].

## 2 Zur Legitimation der Unterrichtsthematik „Photovoltaik“

„Es ist die nächste und im gewissen Sinne wichtigste Aufgabe unserer bewussten Naturerkenntnis, dass sie uns befähige, zukünftige Erfahrungen vorauszusehen, um nach dieser Voraussicht unser gegenwärtiges Handeln einrichten zu können.“ [KUCZERA 1985]

### 2.1 Gesellschaftliche Legitimation

Weltweit sind in den nächsten Jahren folgende zwei energetische Problemstellungen zu lösen:

- Ersatz schaffen für die bisherige Energiebereitstellung (Erdöl, Erdgas und Kohle) durch erneuerbare Energieträger. Nach Einschätzung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit [BMWA 2003] und des BP Statistical Review of World Energy [BP 2004] sind die Reserven fossiler Energieträger zeitlich wie folgt begrenzt: Erdöl: 43 Jahre, Erdgas 59 Jahre, Kohle 239 Jahre.
- Drastische Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Durch Verbrennung von fossilen Energieträgern erhöht sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre. Diese Tatsache wird bei moderaten Modellrechnungen eine Steigerung der globalen Durchschnitts-

temperatur bis Ende des 21. Jahrhunderts um mehr als 2°C gegenüber dem heutigen Wert zur Folge haben. Diese Temperaturerhöhung wird katastrophale Auswirkungen für die Menschheit, für die Ernährungssituation und für das Ökosystem haben. Aus dieser zentralen gesellschaftlichen Problemstellung leitet sich die gesellschaftliche Legitimation der Unterrichtsthematik Photovoltaik wie folgt ab:

- i. Aufzeigen einer nachhaltigen zukunftsfähigen Möglichkeit in der Energiebereitstellung für die Menschen.
- ii. Offenlegen von Vorurteilen gegenüber erneuerbaren Energiequellen aus physikalischer Sicht.
- iii. Auseinandersetzen mit der Notwendigkeit einer Energiewende.

Die Frage der zukünftigen Energiebereitstellung in Hinblick auf die ökologischen Folgen gehört zu den von KLAFKI aufgestellten allgemeinbildungsrelevanten epochaltypischen Schlüsselproblemen [KLAFKI 1996]. Allgemeinbildung definiert KLAFKI wie folgt:

*„Aneignung der die Menschen gemeinsam angehenden Frage- und Problemstellungen ihrer geschichtlich gewordenen Gegenwart und der sich abzeichnenden Zukunft und als Auseinandersetzung mit diesen gemeinsamen Aufgaben, Problemen, Gefahren“*

Weiterhin entsprechen die zentralen Problemstellungen (1-3) dem Bereich A „Physik in ihrer Bedeutung für die Gesellschaft“ der DELPHIE- STUDIE.

Die Herausforderung und die Verantwortung für eine nachhaltige Energiebereitstellung richtet sich an alle Verantwortlichen aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft gleichermaßen national wie international.

Insbesondere haben die Schulen die Aufgabe, **Leitbilder** für eine umweltverträgliche Wirtschaft und für ein Handeln im Alltag für die heranwachsende Generation zu schaffen. Dem Physikunterricht kommt die Aufgabe zu, aufklärend zu wirken bei der Nutzung erneuerbarer Energien.

## 2.2 Bildungstheoretische Legitimation

Zur naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung gehören laut OECD-Einschätzung [OECD 2004] folgende Fähigkeiten und Fertigkeiten:

- naturwissenschaftliches Wissen anwenden,
- naturwissenschaftliche Fragen erkennen,
- aus naturwissenschaftlichen Belegen Schlussfolgerungen ziehen,
- Verständnis grundlegender naturwissenschaftlicher Konzepte,
- Vertrautheit mit naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen,
- Schlussfolgerungen aus Beobachtungen und Befunden zu ziehen und das Prüfen der Gültigkeitsbedingungen der Schlussfolgerungen.

Diese Aspekte der naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung der OECD, die weitgehend mit den nationalen Bildungsstandards [KMK 2004] übereinstimmen, finden in der Unterrichtseinheit „Photovoltaik“ in folgenden Kompetenzbereichen ihren Niederschlag:

### **Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung**

Die folgenden Kompetenzen müssen die Schülerinnen und Schüler anwenden, um die Abhängigkeiten des Photostromes zu untersuchen (siehe Abschnitt 0).

- Bilden von Hypothesen,
- einfache Experimente planen, realisieren und dokumentieren,
- Auswerten von experimentellen Daten und Verallgemeinern,
- Verwenden von Analogien und Modellvorstellungen (Halbleiterdiode- Solarzelle)

### **Kompetenzbereich Kommunikation**

- Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen dokumentieren und präsentieren,
- Sachverhalte unter physikalischen Gesichtspunkten diskutieren.

### **Kompetenzbereich Nutzung und Bewerten in Kontexten**

- Alternative technische Lösungen auch unter Berücksichtigung ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte vergleichen und bewerten,
- Risiken und Sicherheitsmaßnahmen unter physikalischen Gesichtspunkten bewerten.

## **2.3 Fachdidaktische Legitimation**

### **2.3.1 Allgemeines**

Alle Ergebnisse der modernen Lernforschung zeigen die Bedeutung der vorbereiteten Umgebung für das erfolgreiche Lernen auf. Von besonderer Bedeutung für die Erkenntnisgewinnung und den Bildungsprozess in der Unterrichtsthematik „Photovoltaik“ ist das Schülerexperiment sowohl wegen seiner Relevanz für das Erarbeiten von fachlichen Kenntnissen und Fertigkeiten, als auch wegen seiner vielfältigen Implikationen im Bereich des sozialen Lernens.

Teamfähigkeit, Kooperation und Kommunikation werden ebenso geschult wie organisatorische Fähigkeiten, Darstellung und Interpretation von Ergebnissen bei der Untersuchung der Abhängigkeiten des elektrischen Stromes und der elektrischen Spannung einer Solarzelle.

Statt eines gemeinsamen Erarbeitens im Instruktionsunterricht findet das Lernen an Stationen in einer Lernorganisationsform statt, die höhere Anforderungen an die eigene Verantwortung und ein höheres Maß an das eigene Selbstvertrauen stellt. Im physikalischen Bildungsprozess müssen die Schülerinnen öfter Gelegenheit finden,

durch angemessene Arbeitsformen, wie z.B. das Arbeiten an Stationen, ihre Vorstellungen von Selbstständigkeit zu realisieren.

### **2.3.2 Schülervorstellungen zur Photovoltaik**

#### **2.3.2.1 Schülervorstellungen der Grundschüler zur Solarzelle**

An Grundschulen führte die Universität Kassel Untersuchungen zu Vorerfahrungen und Vorstellungen über Solarzellen mit 20 Schülerinnen und Schülern der 4. Klasse durch [MEYER 2004]. Es wurden mit den Schülerinnen und Schülern insbesondere Interviews durchgeführt. Im Mittelpunkt standen folgende Fragenkomplexe:

1. Kennen die Schülerinnen und Schüler Solarzellen?
2. In welchen Anwendungsbereichen nehmen Schülerinnen und Schüler Solarzellen wahr?
3. Wissen Schülerinnen und Schüler, dass eine Solarzelle Licht in Strom umwandelt?
4. Welche Vorstellungen haben Schülerinnen und Schüler von den physikalischen Vorgängen im Inneren der Solarzelle?
5. Wissen Schülerinnen und Schüler, wie auf herkömmliche Weise Strom erzeugt wird?
6. Kennen Schülerinnen und Schüler wesentliche Nachteile der Stromerzeugung durch Kohle- oder Atomkraftwerke?
7. Kennen Schülerinnen und Schüler wesentliche Vorteile eines Solarzellenkraftwerkes?
8. Sind Schülerinnen und Schüler in der Lage, Vorteile eines Solarzellenkraftwerkes zu erschließen?

#### **Vorerfahrungen mit Solarzellen**

Aus der Analyse der Interviews ist zu erkennen, dass die Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 4 (neunjährige und zehnjährige Schülerinnen und Schüler) gute Vorerfahrungen über Solarzellen haben. Diese haben sie durch Kinderbücher, Gespräche mit den Eltern oder anderen Erwachsenen bzw. durch das Fernsehen gewonnen.

#### **Kenntnis über den Begriff der Solarzelle**

Mehr als die Hälfte der befragten Schülerinnen und Schüler kennen Solarzellen. Die meisten haben Solarzellen auch schon in ihrer Umwelt wahrgenommen. Sie haben Solarzellen auf Dächern gesehen bzw. beschäftigen sich mit Solarspielzeug oder Solarbaukästen. Einige Schülerinnen und Schüler haben Solarkollektoren als eine Solaranlage erkannt.



### Funktionsweise der Solarzelle

Über 50% der befragten Schülerinnen und Schüler wissen, dass eine Solarzelle Licht in Strom umwandelt. Einige Schülerinnen und Schüler sind der Meinung, dass eine Solarzelle Wärme produziert.

Den meisten Schülerinnen und Schülern bereitet es jedoch Schwierigkeiten, Vorstellungen zum Aufbau und zur Funktionsweise der Solarzelle zu äußern.

Nur einzelne Schülerinnen und Schüler brachten folgende Vorstellungen über den Aufbau und die Funktionsweise der Solarzelle zum Ausdruck:

- a) **Solarzelle als Energiespeicher:** Die Schülerinnen und Schüler nehmen an, dass die Sonneneinstrahlung der Grund für das Funktionieren einer Solarzelle ist. Das Sonnenlicht wird in der Solarzelle gespeichert.

*Begründung der Schüler:* „Lichtenergie fließt wie ein Flüssigkeitsstrom. Sie kann z.B. in einem Tank gespeichert werden.“ (Schülerzitat [MEYER 2004])

- b) **Solarzelle und Lufterwärmung:** Ein Schüler ist der Meinung, dass die Sonnenstrahlen die Luft erwärmen. Die warme Luft gibt die Energie an die Solarzelle ab, die dann daraus Strom macht [MEYER 2004].

*Interpretation der Vorstellung der Schüler:* Dieser Schüler sieht die thermische Energie der Sonne als Auslöser für das *Erzeugen* von Strom in der Solarzelle. Die Luft wird dabei als Transportmedium für die Energie beschrieben.

- c) **Kabel-Vorstellung:** Einige Schülerinnen und Schüler stellen sich vor, dass in der Solarzelle Kabel vorhanden sein müssen, die in irgendeiner Weise aus dem Licht Strom machen.

*Interpretation der Vorstellung der Schüler:* Diese Schülerinnen und Schüler haben sehr wahrscheinlich die Erfahrung gemacht, dass dort, wo Strom fließt, auch meistens Kabel vorhanden sind. Sie verbinden also das Produzieren von Strom mit dem Vorhandensein von elektrischen Leitungen. Basierend auf dieser Vorstellung liegt es nahe zu denken, dass auch in der Solarzelle Kabel sein müssen, die den Strom produzieren oder zumindest transportieren. Die Schülerinnen und Schüler äußern sich aber nicht näher dazu, wie in den Kabeln der elektrische Strom entsteht.

- d) **Chip- Vorstellung:** Ein Schüler stellt sich vor, dass sich in der Solarzelle sehr kleine Chips befinden. Die kleinen Chips in der Solarzelle nehmen das Sonnenlicht auf und produzieren daraus automatisch den Strom.

*Interpretation der Vorstellung der Schüler:* Die Vorstellung, dass die Solarzelle aus Chips - also vermutlich aus Computer-Chips besteht, könnte auf die äußerliche Ähnlichkeit von Solarzellen und Computer-Chips zurück zu führen sein.

- e) **Zellen-Vorstellung:** Ähnlich der Chips- Vorstellung ist die Meinung eine Schülerin, dass die Solarzelle aus runden Zellen besteht.

**Interpretation der Vorstellung der Schüler:** Die Vorstellung, dass die Solarzelle aus runden Zellen besteht, könnte einfach aus dem Wort *Solarzelle* entstanden sein.

Die Schülerinnen und Schüler der 4. Klasse haben insgesamt Schwierigkeiten, sich vorzustellen, wie eine Solarzelle aufgebaut ist und wie sie Licht in Strom umwandelt. Das liegt daran, dass der Aufbau der Solarzelle nicht durchsichtig ist und der Umwandlungsvorgang ohne sichtbare äußere Einwirkungen verläuft. Die Solarzelle verändert sich nicht, sie bewegt sich nicht.

Ein anderer Grund ist, dass die Schülerinnen und Schüler dieser Klassenstufe noch keine Erfahrungen über den strukturellen Aufbau von Leitern und Halbleitern besitzen. Die Schülerinnen und Schüler können also nur phänomenologische Vorstellungen über den Aufbau und die Funktionsweise der Solarzelle haben.

### 2.3.2.2 Schülervorstellungen der Sekundarstufe I zur Photovoltaik

*(Analyse der Schülervorstellungen (bzw. Vorerfahrung) über Solarzelle und Photovoltaikanlagen vor der Behandlung der Stoffeinheit „Photovoltaik“)*

Mit Hilfe eines Fragebogens (Anhang B1) wurden die Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler über Solarzellen und deren Anwendung erhoben.

An der schriftlichen Befragung nahmen 91 Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I (zwei 8. Klassen, eine 7. Klasse und eine 10. Klasse) teil.

Fragen	Meinungen /Anzahl der Schüler			Andere	Keine Antwort
1. Begriff Solarzelle	Alternativeenergie 27	Nutzung der Sonnenenergie 40	Umweltschutz 3	6	15
2. Eine Solarzelle dient	Zur Gewinnung von Strom 33	Zur Erzeugung von warmen Wasser: 29	Umweltverbesserung 5	12	9
3. Solarzelle im Alltag	In der Schule 24	Auf Dächern von Nachbarn (Häusern) 46	Auf unserem Dach 2	10	9
4. Funktion der Solarzelle	Sonnenlicht verwandelt sich in elektrischen Strom um. 29	Lichtstrahlen verwandeln sich in elektrischen Strom. 20	Solarzellen und Solarkollektoren haben die gleiche Funktionsweise. 21	10	11
5. Vor- und Nachteile der Solarzelle	Solaranlagen sind umweltfreundlich. 50	Solaranlagen sind teuer. 60	Solaranlagen sind abhängig von Sonnenzustand.5	10	3

Tab. 2.1: Schülervorstellungen der Sekundarstufe I zur Photovoltaik

Die Schülerinnen und Schüler gaben für ihre Vorerfahrungen über Solarzellen und deren Anwendung folgende Quellen an: Kinderbücher, Werbeprospekte, Zeitungen, Zeitschriften, Fernsehsendungen, Gespräche mit den Eltern, und mit anderen Erwachsenen. Nur ein geringer Teil der Befragten (20%) hat die Vorerfahrung in der Schule gewonnen. Dieser Teil konzentriert sich auf Schülerinnen und Schüler, deren Schule über eine eigene Solaranlage verfügt.

Folgende Ergebnisse zu den Schülervorstellungen über Photovoltaikanlagen können konstatiert werden.

**a) Bedeutung des Wortes Solarzelle:**

Über 90% aller Schülerinnen und Schüler kennen das Wort Solarzelle. Sie begründen ihre Kenntnis damit, dass sie auf den Dächern Anlagen gesehen haben, die aus Solarzellen aufgebaut sind.

**b) Aufbau der Solarzelle**

- ***Keine Begriffszuordnung Solarzelle und Solarkollektor:*** Über 20% der Schülerinnen und Schüler vermischen Solarzellen und Solarkollektoren. Sie beschreiben die Solarzelle als ein Gerät, das entweder Wasser erwärmen oder elektrischen Strom bzw. beides bereitstellen kann.
- ***Aufbau der Solarzelle:*** Die Schülerinnen und Schüler der siebten, achten und zehnten Klassen haben aus ihren Alltagsbezügen keine konkreten Vorstellungen über den Aufbau von Solarzellen.

**c) Funktionsweise von Solarzellen und Photovoltaikanlagen**

Zur Funktionsweise der Solarzelle gehen die Vorstellungen der Schülerinnen und Schülern weit auseinander. Sie versuchen aus ihren Alltagserfahrungen eine Beschreibung der Funktionsweise aus phänomenologischer Sicht darzustellen, die nicht theoriegeleitet (Anwendung der Leitungsvorganges in Halbleitern) ist.

Der Grund für diese Feststellung ist darin zu sehen, dass das Thema „Photovoltaik“ nicht in allen Lehrplänen der BRD zum verbindlichen Unterrichtsstoff gehört.

Die Meinungen der Schülerinnen und Schüler konzentrieren sich auf folgende Vorstellungen:

- ***Sonne als Voraussetzung für die Funktionsweise einer Solarzelle***

Auf die Frage „Wozu dient eine Solarzelle?“ antworteten die Schülerinnen und Schüler sehr unterschiedlich. Über 50% der Lernenden äußerten, dass die Solarzelle nur dann elektrischen Strom liefere, wenn die Sonne direkt auf die Solarzelle scheine. Wenn die Sonne nicht direkt auf die Solarzelle scheine (bewölkter Himmel) werde kein elektrischer Strom erzeugt.

50% der Schülerinnen und Schüler glauben, dass der Sonnenstand einen Einfluss auf die Leistung einer Solarzelle hat. Aber keiner der Schülerinnen oder Schüler kennt den konkreten Zusammenhang zwischen Sonnenstand und Leistung einer Solarzelle. Einige Schülerinnen und Schüler stimmen auch dem Einfluss der Temperatur auf die Leistung einer Solarzelle zu.

- ***Sonnenlicht verwandelt sich in elektrischen Strom***

Ein Drittel der Schülerinnen und Schüler vertritt die Meinung: „Wenn die Sonne auf die Solarzelle scheint, entwickelt sich Energie (Strom) in der Solarzelle. Damit hat man Strom fürs Haus“. Diese Meinung ist bezüglich des Vorganges in der Solarzelle aus phänomenlogischer Sicht richtig.

- ***Lichtstrahlen verwandeln sich in elektrischen Strom***

Etwa 20% der befragten Schülerinnen und Schüler haben die Vorstellung, dass sich Lichtstrahlen mit Hilfe der Solarzellen direkt in elektrischen Strom verwandeln.

Einzelne Schüler haben den Vorgang in der Solarzelle als Weiterleitung von Sonnenstrahlen in das elektrische Kabel bzw. in eine Batterie beschrieben.

„Die Sonnenstrahlen treffen auf die Solarzelle und werden dann durch Kabel in das Kraftwerk geleitet“.

Drei Schülerinnen und Schüler äußerten die Vorstellung: „Die Sonne scheint auf die Zellen, diese nehmen die Sonnenstrahlen auf, füllen damit Batterien, die für Geräte verwendet werden“.

Bei diesen individuellen Beschreibungen der Umwandlung der Solarenergie in elektrische Energie wird deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler die Modellebene (Lichtstrahlmodell) mit der Realitätsebene (Lichtbündel) als identisch ansehen. Das Modelldenken wird mit dem Realitätsdenken vermischt.

i. ***Elektrischer Strom ist identisch mit elektrischer Energie***

In den Vorstellungsbeschreibungen kommt immer wieder zum Ausdruck, dass elektrischer Strom mit elektrischer Energie gleichgesetzt wird. Dies ist eine dominierende Vorstellung, auch nach der Behandlung der Elektrizitätslehre in der 10. Klasse.

ii. ***Solarzellen und Solarkollektoren haben die gleiche Funktionsweise***

Schülerinnen und Schüler entwickelten verschiedene Vorstellungen zur Funktionsweise der Solarzelle, indem sie sie mit der eines Sonnenkollektors vermischt haben. Vier Schüleräußerungen beschreiben dieses Vorgehen.

- „Die Sonne scheint auf die Zelle und die Zelle speichert die Wärme, die sie in Energie umwandelt“.

- „Sonnenlicht trifft auf die Zelle und wird zu elektrischer Energie umgewandelt, die dann weiter geleitet wird und irgendwann gewinnt man Strom daraus“. (vier Schülerinnen und Schüler).
- Über 20% der befragten Schülerinnen und Schüler beschreiben die Funktionsweise der Solarzelle wie folgt: „Wärmeleitflüssigkeit, die sich in einem Kessel befindet, läuft durch die Zelle und erzeugt so Wärme und Strom“.
- Acht Schülerinnen und Schüler unterscheiden nicht zwischen Solarzelle und Solarkollektor, denn sie glauben, dass eine Solaranlage nicht nur Strom erzeugen, sondern auch Wasser unmittelbar erhitzen kann.

- ***Keine Vorstellung über die Funktionsweise einer Solarzelle***

Über 40% der befragten Schülerinnen und Schüler haben keine Vorstellung über Vorgänge in der Solarzelle. Die Anzahl der Schülerinnen und Schüler die keine Vorstellungen beschreiben, nimmt mit ansteigender Klassenstufe ab.

**d) Vor- und Nachteile des Einsatzes von Solarzellen bzw. Photovoltaikanlagen**

- ***Solaranlagen sind umweltfreundlich!***

Die Vorteile beim Einsatz von Solarzellen/ Photovoltaikanlagen werden von der Mehrheit der Schülerinnen und Schüler positiv eingeschätzt.

Über 50% der Schülerinnen und Schüler der 7. Klasse und fast alle Schülerinnen und Schüler in anderen Klassenstufen glauben, dass die Benutzung der Solaranlage umweltfreundlich ist.

Von den Vorteilen der Solarzelle gegenüber Kohle- und Kernkraftwerken haben fast alle Schülerinnen und Schüler in der 7. und 8. Klasse keine Kenntnisse. 50% der Schülerinnen und Schüler in der 10. Klasse wissen, dass Solaranlagen keine Schadstoffe wie radioaktive Abfälle, CO<sub>2</sub> oder Dämpfe erzeugen und im allgemeinen umweltfreundlich sind. vier Schülerinnen und Schüler meinen, dass man durch Nutzung von Solaranlagen Geld sparen kann.

- ***Nachteile von Solaranlagen***

**Solaranlagen sind noch zu teuer!**

Als Nachteil von Solaranlagen schätzen 70% der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler ein, dass sie noch zu teuer sind. Einige Schülerinnen und Schüler der 10. Klasse gaben physikalische Gründe an, z.B.: „*Wenn schlechtes Wetter ist, erzeugen Solaranlagen keinen Strom*“.

**Solaranlagen arbeiten nur bei schönem Wetter!**

Schülerinnen und Schüler der 10. Klasse argumentieren wie folgt.

*„Wenn schlechtes Wetter ist, erzeugen Solaranlagen keinen Strom!“*

*„Die Sonne scheint nicht immer!“*

*„Nachts fallen Solaranlagen aus!“*

### **Solaranlagen können keine Kohlekraftwerke ersetzen!**

Im Vergleich mit anderen Kraftwerken geben die Schülerinnen und Schüler folgende Nachteile an:

*„Die Solaranlage kann nicht so große Stromspannung wie ein Kohle- bzw. Kernkraftwerk erzeugen!“* (sechs Schülerinnen und Schüler)

Solarkraftwerke sind noch nicht konkurrenzfähig mit anderen Kraftwerksanlagen. Von einzelnen Schülerinnen und Schülern wurden folgende Gründe für den Nichteinsatz von Solarkraftwerken in Deutschland genannt:

- ✓ Platzverbrauch,
- ✓ nicht jeder kennt die Solarzelle,
- ✓ Wirkungsgrad einer Solarzelle ist gering,
- ✓ die Politiker wollen die Kernkraftwerke noch ein paar Jahren länger laufen lassen.

### **Zusammenfassung:**

Die Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I über Solarzellen sind deutlich besser als die von Grundschulern. Trotzdem beruhen diese Vorerfahrungen bereichsweise noch auf phänomenologischen Erkenntnissen. Konkrete Erkenntnisse über die Solarzelle, z.B. Aufbau und Funktionsweise, können nicht durch Alltagserfahrung gewonnen werden. Für die Kenntnisse der Schülerinnen und Schüler der 7. Klasse stellt die Solarzelle noch eine Überforderung dar, da der Energiebegriff in dieser Klassenstufe noch nicht umfassend eingeführt wird. Dieses Thema ist für Schülerinnen und Schüler der 10. Klasse geeignet.

## **3 Fachwissenschaftliche Grundlagen der Photovoltaik**

### **3.1 Bohr'sches Atommodell**

Niels Bohr entwickelte das Atommodell von Rutherford weiter, indem er Postulate für die Beschreibung der Elektronen in einem Wasserstoffatom aufstellte. Bohr ging von der mechanischen Vorstellung aus, nutzte aber bereits die von Planck und Einstein entwickelte Quantelung der Energie im Atom.

1913 veröffentlichte Bohr die folgenden zwei Postulate:

1. Postulat (Stabilitätsbedingung): Die Elektronen können nur auf bestimmten Bahnen um den Atomkern laufen. Jede Bahn entspricht einer Energiestufe (diskrete Energiezustände) des Atoms. In diesen Zuständen emittiert bzw. absorbiert das Atom keine Energie.

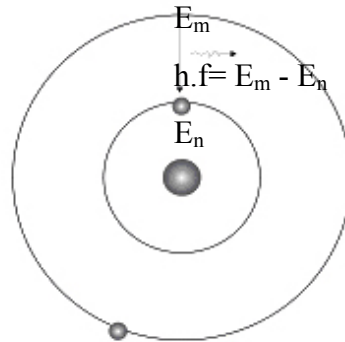


Abb. 3.1: Bohr'sches Atommodell

2. Postulat (Frequenzbedingung): Vollzieht ein Elektron einen Wechsel vom Energiezustand  $E_n$  zum niedrigeren Energiezustand  $E_m$ , so wird die Energiedifferenz als Lichtquant der Frequenz  $f$  abgestrahlt. Es gilt:

$$h \cdot f = E_m - E_n = \Delta E \quad (3.1)$$

Bei Absorption von Energie wechselt das Elektron auf eine energiereichere Außenbahn. Mit diesen Postulaten wurde die Struktur des Wasserstoffspektrums aus den Versuchen von Johann Jakob Balmer (1825-1898) überzeugend interpretiert. Mit diesem Atommodell war es erstmals möglich den energetischen Zusammenhang bei der Emission von Licht zu deuten (Abb. 3.1).

Bei der Erklärung der Ergebnisse der Photovoltaik spielt das Atommodell eine große Rolle.

### 3.2 Bändermodell

Bilden mehrere Atome einen Festkörper, überlappen sich die verschiedenen Energieniveaus der Einzelatome. Aber nach dem sogenannten Pauli-Prinzip kann ein mögliches Energieniveau immer nur von höchstens zwei Elektronen besetzt werden.

Jeder Energiezustand eines aus  $N$  (etwa  $10^{23}$ ) Atomen bestehenden Festkörpers spaltet sich in  $N$  benachbarte Zustände auf und verbreitert sich dadurch zu einem Energieband (Abb. 3.2).

Auch in den Bändern ist die Zahl der von Elektronen besetzbaren Energieniveaus begrenzt.

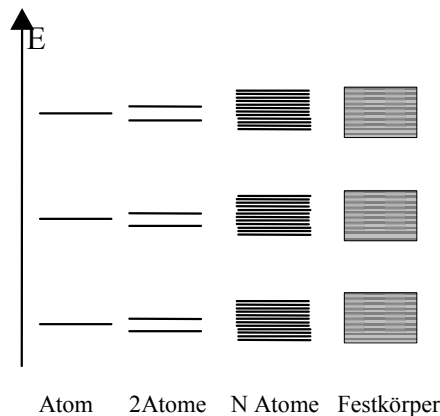


Abb. 3.2: Energiezustände der Elektronen im Atom und im Festkörper

Die inneren Schalen bei Atomen bzw. die Energiebänder der Festkörper mit niedrigen Energiezuständen sind vollständig mit Elektronen besetzt. Das vollständig besetzte Energieband bezeichnet man als **Valenzband**.

Wenn sich die Elektronen in einem nicht voll besetzten Energieband befinden, bewegen sie sich frei. Diese frei beweglichen Elektronen entscheiden über die elektrische Leitfähigkeit des Festkörpers. Sie werden als Leitelektron bezeichnet. Dieses Band nennt man **Leitungsband**.

Für verschiedene Materialien ist der **Bandabstand** ( $E_g$ ) zwischen dem Valenzband und dem Leitungsband auch sehr unterschiedlich groß. Man nennt den Bandabstand auch **Bandlücke** oder **Energielücke**.

Nach der Maxwell-Boltzmann-Statistik für klassische Teilchen ist die kinetische Energie eines Elektrons beim  $T = 0\text{K}$  gleich null (weil  $W_k = \frac{3}{2}kT$ ,  $k$ : die Boltzmann-

Konstante,  $T$ : die absolute Temperatur). Bei dieser Temperatur haben alle Elektronen den gleichen Energiezustand  $E = W_k + U_0 = U_0$ . Dieses Resultat widerspricht dem Pauli-Prinzip. Mit der Berücksichtigung des Pauli-Prinzips entwickelten Fermi und Dirac eine neue Verteilung, die sogenannte Fermi-Dirac-Verteilung. Nach dem Pauli-Prinzip befinden sich in jedem Energiezustand maximal 2 Elektronen, d.h.  $N$  Elektronen sind verteilt auf  $N/2$  Energiezustände. Jedes Energieniveau wird mit 2 Elektronen, den umgekehrten Spin besetzt. Das bedeutet, dass bei 0 K die maximale kinetische Energie eines Elektrons trotzdem nicht gleich null ist, sondern einen bestimmten Wert hat. Diesen Wert (Energiezustand) bezeichnet man als **Fermi-Energie**  $E_F$ .

Die Wahrscheinlichkeit, mit der sich Elektronen in den durch die Bänder vorgegeben Energiezuständen  $E$  befinden, liefert die Verteilungsfunktion

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp((E - E_F)/kT)} \quad (3.2)$$



Das Fermi-Niveau  $E_F$  ist dadurch bestimmt, dass die Wahrscheinlichkeit bei  $T > 0$  K, bestimmte Energieniveaus oberhalb  $E_F$  besetzt zu finden, genau so groß ist, wie die Wahrscheinlichkeit, dass entsprechende Niveaus unterhalb  $E_F$  unbesetzt sind (Abb. 3.3).

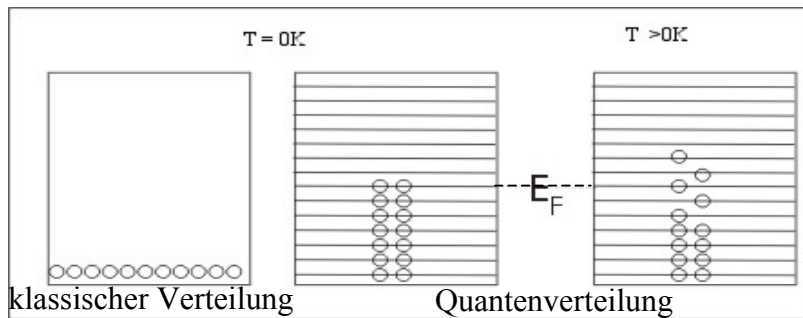


Abb. 3.3: Fermi-Niveau in klassischer Verteilung und Fermi-Dirac-Verteilung

Nach dem großen Bandabstand teilt man die Materialien nach 3 Typen: Leiter, Halbleiter und Nichtleiter, die wie folgt definiert sind:

**Leiter:** Es ist entweder das Leitungsband nicht vollständig besetzt, oder das Valenzband und das Leitungsband überlappen sich.

Bei einem teilweise besetzten Leitungsband können sich die Elektronen innerhalb des Festkörpers bewegen und somit zur Elektronenleitung beitragen.

**Isolatoren:** Das Leitungsband ist unbesetzt und der Bandabstand ist groß ( $E_g \geq 5\text{eV}$ ). Die Elektronen können damit schwer vom Valenzband ins Leitungsband gehoben werden.

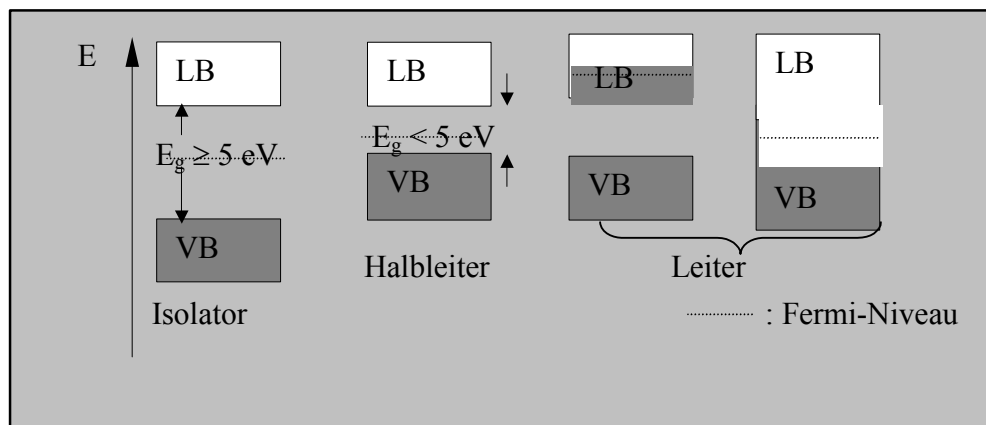


Abb. 3.4: Leiter, Halbleiter und Nichtleiter

**Halbleiter:** Es ist das Leitungsband, wie bei den Isolatoren ebenfalls, unbesetzt und der Bandabstand ist gering ( $E_g < 5\text{eV}$ ). Durch den Einfluss von Licht oder Wärme können die Elektronen in das Leitungsband gehoben werden (Abb. 3.5).

Im Halbleitermaterial liegen die Fermi-Niveaus bei beliebig niedrigen Temperaturen zwischen dem Leitungsband und dem Valenzband.

Das Anheben von Elektronen durch Photonen in das Leitungsband wird als innerer Photovoltaikeffekt bzw. innerer Photoeffekt bezeichnet.

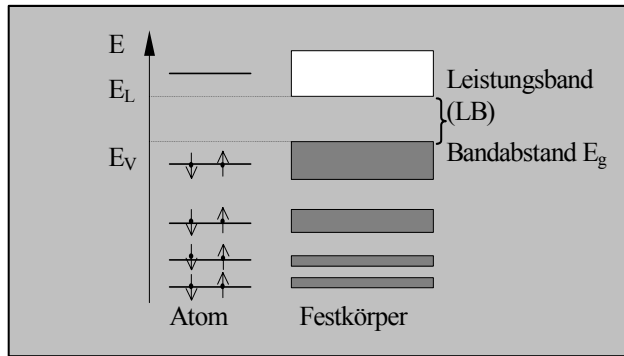


Abb. 3.5: Bandabstand des Festkörpers

### 3.3 Photovoltaischer Effekt

Diese folgende Darstellung ermöglicht eine sehr vereinfachte Betrachtungsweise. Halbleiter sind Festkörper mit einem Bandabstand  $0 < E_g < 5 \text{ eV}$ . Ist  $\Delta E$  hinreichend klein, reicht die Zufuhr thermischer oder optischer Energie aus, um Elektronen vom Valenz- ins Leitungsband zu heben.

Die damit geschaffenen unbesetzten Zustände im Valenzband (Löcher mit der Konzentration  $p_i$ ) sind gleich der Zahl der Elektronen im Leitungsband (Konzentration  $n_i$ ). Im Festkörper mit vollbesetztem Valenzband sind alle Energiezustände besetzt, im Leitungsband sind keine Ladungsträger vorhanden. Diese Situation ist typisch für einen undotierten Halbleiter bei  $T = 0 \text{ K}$ .

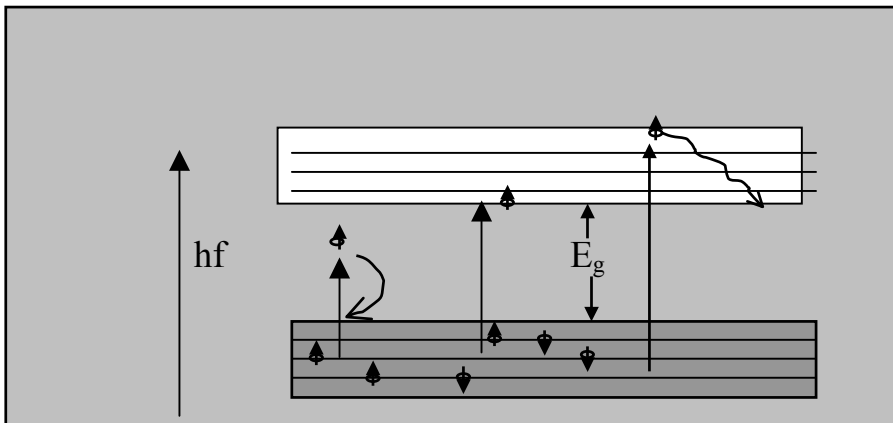


Abb. 3.6: Anhebung von Elektronen vom Valenzband ins Leitungsband durch Einwirkung von Licht

Mit zunehmender Temperatur bzw. durch Absorption von Photonen steigt die Zahl der Elektronen im Leitungsband und die Löcher im Valenzband, was eine ansteigende elektrische Leitfähigkeit zur Folge hat. Um ein Elektron durch Absorption eines Photons anregen zu können, muss das Photon mindestens die Energie  $h \cdot f = \Delta E$  haben. Photonen mit einer kleineren Energie können keine Elektronen anregen. Sie werden nicht absorbiert, für sie ist der Halbleiter transparent.

### 3.4 Ladungsträgerkonzentration und Massenwirkungsgesetz der Ladungsträgerdichten im Halbleiter

#### 3.4.1 Eigenhalbleiter (Der intrinsische Halbleiter)

Eine wesentliche Voraussetzung zur Beschreibung der Halbleitereigenschaften ist die Kenntnis der Ladungsträgerdichten in Valenz- und Leitungsband. Die Zahl der mit Elektronen besetzten Zustände im Valenzband ergibt sich aus dem Produkt der Zustandsdichte  $D(E)$  und der Besetzungswahrscheinlichkeit  $f(E)$ , integriert über das Energieintervall des Bandes:

$$n = 2 \int D_n(E) f(E) dE \quad (3.3)$$

Die **Zustandsdichte** berechnet sich durch Abzählen der besetzbaren Energiezustände im Phasenraumvolumen:

$$D(E) = 4\pi \left( \frac{2m_n}{h^2} \right)^{3/2} (E - E_L)^{1/2} \quad (3.4)$$

Die Besetzungswahrscheinlichkeit wird durch die Fermi-Dirac-Verteilungsfunktion gegeben:

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp((E - E_F)/kT)} \quad (3.5)$$

Die Fermi-Energie  $E_F$  wird von der oberen Kante des Valenzbandes gemessen. Im Falle der Nichtentartung ( $E - E_F \gg kT$ ) geht  $f(E)$  in die Boltzmann-Verteilung über:

$$f(E) = \frac{1}{\exp((E - E_F)/kT)} = \exp(-(E - E_F)/kT) \quad (3.6)$$

Berücksichtigt man die Wechselwirkung der Elektronen bzw. Löcher mit dem Kristallgitter durch Einführung der effektiven Massen  $m_n$  bzw.  $m_p$ , so ergibt sich die Eigenleitung für die Elektronendichte (z.B. mit Si:  $m_n=0,22m_e$ ,  $m_p=0,55m_e$ ):

$$n = \int_{E_L}^{\infty} D(E) f(E) dE = \int_{E_L}^{\infty} 4\pi \left( \frac{2m_n}{h^2} \right)^{3/2} (E - E_L)^{1/2} \cdot \exp(-(E - E_F)/kT) dE \quad (3.7)$$

$$n = N_L \exp(-(E_L - E_F)/kT), \quad (3.8)$$

wobei mit

$$N_L = 2 \left( \frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{3/2} \quad (3.9)$$

die effektive Zustandsdichte im Leitungsband bezeichnet wird. Entsprechend gilt für die Löcherkonzentration im Valenzband:

$$p = \int_{E_L}^{\infty} D(E) f(E) dE = \int_{E_L}^{\infty} 4\pi \left( \frac{2m_p}{h^2} \right)^{3/2} (E - E_L)^{1/2} \exp(-(E_F - E)/kT) dE \quad (3.10)$$

$$p = N_V \exp(-(E_F - E_V)/kT) \quad (3.11)$$

und:

$$N_V = 2 \left( \frac{2\pi m_p kT}{h^2} \right)^{3/2} \quad (3.12)$$

Für die Temperatur T gilt annähernd:

$$N_{L,V} = 2,4 \cdot 10^{19} \left( \frac{m_{n,p}}{m} \right)^{3/2} \cdot \left( \frac{T}{300K} \right)^{3/2} \text{ cm}^{-3} \quad (3.13)$$

Die Größenordnungen der effektiven Zustandsdichten  $N_L$  bzw.  $N_V$  lassen sich damit abschätzen zu etwa  $N_{L,V} = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , wenn man annimmt, dass bei Zimmertemperatur folgender Zusammenhang gilt:  $kT = 10 \text{ MeV}$ ,  $m_n \cdot m_p \approx 0,1 m_e^2$ . Mit dem Bandabstand  $\Delta E = E_L - E_V$  lassen sich diese Gleichungen zum Massenwirkungsgesetz der Ladungsträgerdichten in Halbleitern wie folgt zusammenfassen:

$$\begin{aligned} n \cdot p &= N_L \cdot N_V \cdot \exp(-\Delta E / kT) = 4 \left( \frac{2\pi kT}{h^2} \right)^3 \cdot (m_n m_p)^{3/2} \cdot \exp(-\Delta E / kT) = n_i^2 \\ &= n_{io}^2 \cdot T^3 \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right). \\ n = p = n_i &= \sqrt{N_L N_V} \cdot \exp\left(\frac{-\Delta E}{2kT}\right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

wobei mit:

$$n_{io}^2 = 4 \left( \frac{2\pi k}{h^2} \right)^3 \cdot (m_n m_p)^{3/2} \quad (3.15)$$

Die Größe  $n_i$  wird **Eigenleitungs- bzw. Inversionsdichte** genannt. Für verschiedene Materialien betragen die Eigenleitungsichten für  $T = 300K$ :

	GaP	InP	GaAs	Si	Ge	InAs	InSb
$n_i(\text{cm}^{-3})$	$2,7 \cdot 10^6$	$8,2 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	$8,6 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{16}$

Tab. 3.1: Eigenleitungsichte verschiedener Materialien

Allgemein gilt für die Leitfähigkeit folgender Zusammenhang:

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}, \quad (3.16)$$

$n$  bezeichnet die Anzahl der Ladungsträger,  $e$  die Ladung,  $\tau$  die Lebensdauer und  $m$  die Masse.

Speziell in unserem Fall gilt:

$$\sigma = \frac{ne^2\tau_n}{m_n} + \frac{pe^2\tau_p}{m_p} \quad (3.17)$$

Experimentell ergibt sich die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit als:

$\sigma \sim \exp(-\frac{\Delta E}{2kT})$ , trägt man  $\log(\sigma)$  gegen  $T^{-1}$  auf, so kann man aus der Steigung der Geraden die Bandlücke des Halbleiters bestimmen.

Halbleiter	Ge	Si	GaAs	(Diamant)
Bandlücke	0,67 eV	1,14 eV	1,40 eV	5,33 eV

Tab. 3.2: Bandlücken  $\Delta E$  bei Zimmertemperatur [KUHNS 2002]

### 3.4.2 Dotierte Halbleiter

Durch den Einbau von Fremdatomen (Donatoren mit der Konzentration  $N_D$  und Akzeptoren mit der Konzentration  $N_A$ ) werden in der Bandlücke Störterme geschaffen, die Elektronen abgeben (mit einem Elektron besetzter Term, dicht unter dem Leitungsband) oder Elektronen aufnehmen (Term mit Loch besetzt, dicht über dem Valenzband) können. Für die Ladungsträgerkonzentration gilt die Neutralitätsbedingung. Deshalb muss die Zahl der negativen Ladungsträger (Elektronen und ionisierte Akzeptoren) gleich der positiven Ladungsträger (Löcher und Donatoren) sein. Das lässt sich mit den Bezeichnungen aus (Abb. 3.7) zusammenfassen zu:

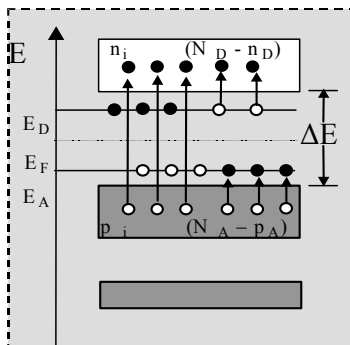
$$n + \sum(N_A - p_A) = p + \sum(N_D - n_D) \quad (3.18)$$

Damit ergibt sich insbesondere für den Bereich der Eigenleitung:

$$\sum(N_A - p_A) \ll n = n_i,$$

$$\sum(N_D - n_D) \ll p = p_i,$$

wobei gilt:  $n_i = p_i$ . Diese Bedingung lässt sich praktisch für alle Halbleiter bei genügend hoher Temperatur erfüllen.



*Dotierung: kontrolliertes Einbringen von Fremdatomen in Halbleiterkristalle mit dem Ziel, die physikalischen Eigenschaften des Halbleiters zu ändern, insbesondere Akzeptoren und Donatoren mit p-n-Übergängen zu erzeugen*

Abb. 3.7: Bändermodell eines dotierten Halbleiters mit Akzeptoren und Donatoren

In der folgenden Tabelle sind die Ionisierungsenergien für einige Dotierungselemente in Germanium und Silizium angegeben:

Donatoren			Akzeptoren		
	Silizium	Germanium		Silizium	Germanium
	$E_D$ (eV)	$E_D$ (eV)		$E_A$ (eV)	$E_A$ (eV)
<b>P</b>	0,044	0,012	<b>B</b>	0,045	0,0104
<b>As</b>	0,046	0,013	<b>Al</b>	0,057	0,0102
<b>Sb</b>	0,039	0,0096	<b>Ga</b>	0,065	0,0108
<b>Bi</b>	0,069		<b>In</b>	0,160	0,0112

Tab. 3.3: Ionisierungsenergien für einige Dotierungselemente in Germanium und Silizium [WÜRFEL 1995]

### 3.4.3 Donatoren und Akzeptoren

Bei  $T=0$  sind die Elektronenzustände knapp unterhalb des Leitungsbandes besetzt. Diese Zustände sind bei Raumtemperatur thermisch angeregt, d.h. die Elektronen der Donatoren sind als freie Ladungsträger im Leitungsband verfügbar. Es ergibt sich eine Elektronendichte von n- Dotierungen:

$$n = \sqrt{\frac{N_D N_L}{2}} \exp\left(-\frac{E_D}{2kT}\right) \quad (3.19)$$

Daraus ergibt sich bei der effektiven Zustandsdichte  $N_L$  im Leitungsband bei Silizium mit der Temperatur  $T = 300$  K:  $N_L = 3,22 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ .

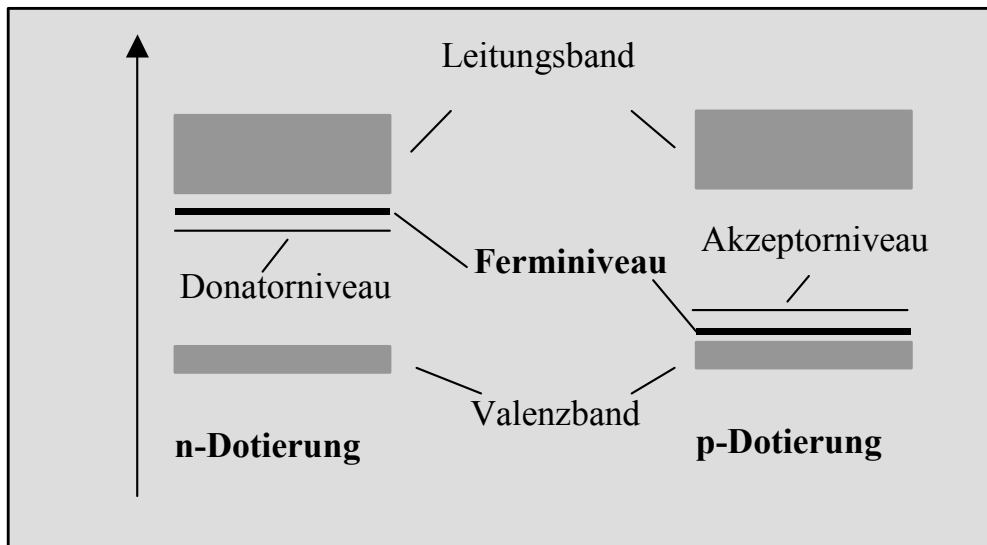


Abb. 3.8: Donatoren und Akzeptoren

Da bei der n-Dotierung deutlich mehr freie Elektronen als Löcher vorhanden sind, werden hier die Elektronen als Majoritätsträger bezeichnet. Die elektrische Leitung beruht vor allem auf dem Transport von Elektronen, der Halbleiter wird n-leitend.

Mit der Dichte der Akzeptoren  $N_A$ , der effektiven Zustandsdichte  $N_V$  im Valenzband und der Ionisationsenergie  $E_A$  ( $N_V = 1,83 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  bei Silizium für  $T = 300\text{K}$  und  $E_A = 0,045 \text{ eV}$  bei Bor) ergibt sich beim p-Halbleiter für die Dichte der freien Löcher:

$$p = \sqrt{\frac{N_A N_V}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{2kT}\right) \quad (3.20)$$

Da im dotierten Halbleiter  $n \approx N_D$  bzw.  $p \approx N_A$  gilt, verschiebt sich das Fermi-Niveau:

$$E_F = E_L + kT \ln\left(\frac{N_D}{N_L}\right) \quad (3.21)$$

$$E_F = E_V - kT \ln\left(\frac{N_A}{N_V}\right) \quad (3.22)$$

Wegen  $N_D < N_L$  bzw.  $N_A < N_V$  ist  $\ln\left(\frac{N_D}{N_L}\right) < 0$ ,  $\ln\left(\frac{N_A}{N_V}\right) < 0$  muss Fermi-Niveau  $E_F$

zwischen den Donatorniveau und der Unterkante des Leitungsbandes bzw. zwischen der Oberkante des Valenzbands und dem Akzeptorniveau liegen.

### 3.4.4 p-n-Übergang

Werden nun ein p-dotierter und ein n-dotierter Halbleiter in Kontakt gebracht, so entsteht ein p-n-Übergang. Im n-Halbleiter existiert, wie zuvor erläutert, ein Überschuss an freien Elektronen, im p-Halbleiter ein Überschuss an freien Löchern. Der führt dazu,

dass die Elektronen vom n-Gebiet ins p-Gebiet und die Löcher vom p-Gebiet ins n-Gebiet diffundieren.

An der Übergangszone entsteht ein Gebiet mit wenigen freien Ladungsträgern. Dort, wo Elektronen ins p-Gebiet gewandert sind, bleiben positiv ionisierte Donatoren übrig. Es entsteht eine positive Raumladungszone. An den Stellen, von denen die Löcher ins n-Gebiet diffundiert sind, bleiben negative ionisierte Donatoren zurück, hier entsteht eine negative Raumladungszone.

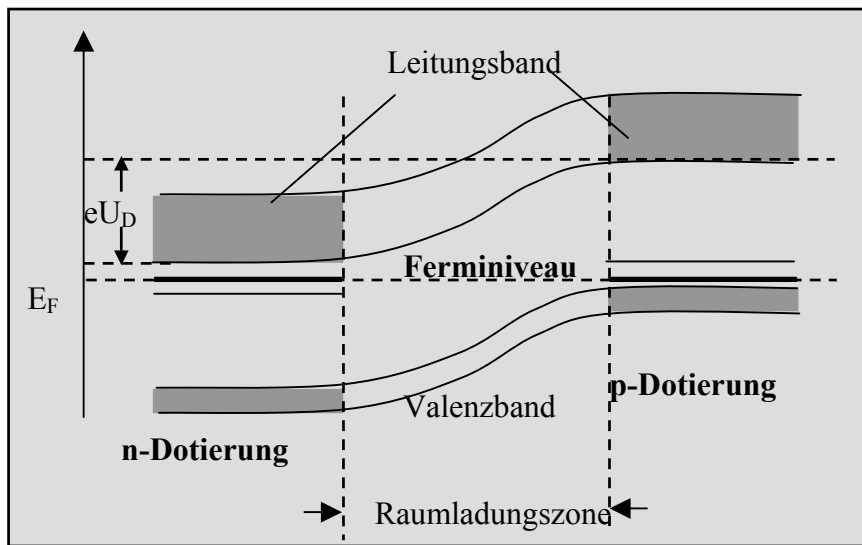


Abb. 3.9: Die Diffusionsspannung des p-n-Übergangs

Es entsteht also ein elektrisches Feld zwischen dem n- und p- Gebiet (Diffusionsfeld), das der Bewegung der Ladungsträger entgegengerichtet ist. Dadurch wird die Diffusion nicht endlos fortgesetzt. Da sich das Fermi-Niveau  $E_F$  im p-n-Übergang nicht geändert hat, stellt sich schließlich eine Diffusionsspannung ein (Abb. 3.9).



$$eU_D = E_L - E_V = kT \ln \left( \frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

$$\rightarrow U_D = \frac{kT}{e} \ln \left( \frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) \quad (3.23)$$

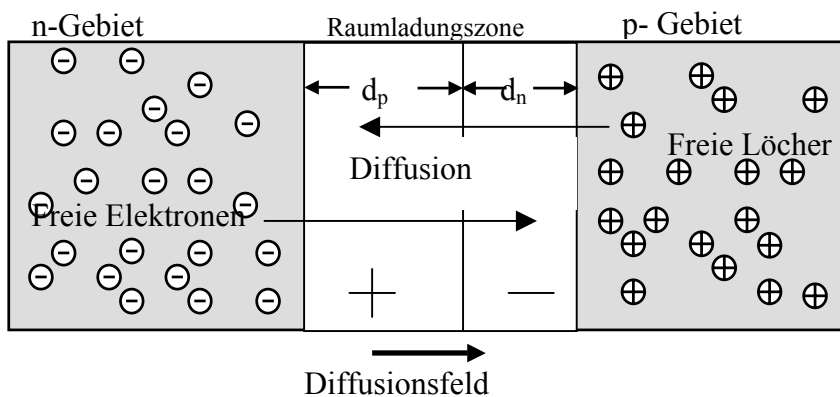


Abb. 3.10: Ausbildung einer Raumladungszone im p-n-Übergang durch Diffusion von Elektronen und Löchern

Aufgrund der Ladungsneutralität gilt für die Breiten  $d_n$  und  $d_p$  der Raumladungszone im jeweiligen Halbleitergebiet:

$$d_n \cdot N_D = d_p \cdot N_A \quad (3.24)$$

Für Gesamtbreite der Raumladungszone ergibt sich

$$d = d_n + d_p = \sqrt{\frac{2\varepsilon_r \varepsilon_0 U_D}{e} \cdot \frac{N_A + N_D}{N_A N_D}} \quad (3.25)$$

Für Silizium die Breite der Raumladungszone wird berechnet bei einer Störstellenkonzentration von  $N_D = 2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  und  $N_A = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Bei einer Temperatur von  $T = 300 \text{ K}$  stellt sich eine Diffusionsspannung von  $U_D = 0,73 \text{ V}$  ein. Mit  $\varepsilon_r = 11,8$  ergeben sich  $d_n = 0,13 \text{ } \mu\text{m}$  und  $d_p = 0,25 \text{ } \mu\text{m}$ .

### 3.4.5 Durchlassrichtung und Sperrrichtung – Betrachtung der Stromstärke

Legen wir nun am Pluspol auf dem p-Gebiet im rechten Teil der . ein positives Potential  $V$  an, so verringert sich hierdurch das gegenläufige Potential um  $V$ . und der Diffusionsstrom vergrößert sich. Der Feldstrom wird hierdurch aber nicht beeinflusst, da er gegenüber der Temperatur wesentlich empfindlicher ist als gegenüber einem äußeren Feld. Somit genügen diese Ladungsträger einer durch die Energie  $kT$

bestimmten Boltzmann-Verteilung. Es scheint plausibel und kann gezeigt werden, dass die Erhöhung des Diffusionsstromes ebenfalls ein exponentielles Boltzmann-Verhalten zeigt. Durch die Vorspannung  $V$  sind Feldströme und Diffusionsströme nicht mehr entgegengesetzt gleich, sondern es fließt ein Strom. Der Diffusionsstrom der Elektronen z.B. ist:  $I_n = eD_n \frac{dn}{dx}$ , hierbei ist  $D_n$  ein Diffusionskoeffizient der Elektronen, der wegen fehlender Erzeugung gemäß  $\frac{1}{e} \frac{dI_n}{dx} = R = \frac{\Delta n}{\tau_n}$  teilweise der Rekombination zum Opfer fällt. Die Differentialgleichung für den Elektronenstrom lautet daher:

$$D_n \frac{d^2 n}{dx^2} = \frac{\Delta n}{\tau_n} \quad (\text{2. Fisches Diffusionsgesetz}) \quad (3.26)$$

mit  $\Delta n = (n_p - n_{p_0})$

Die allgemeine Lösung dieser Differentialgleichung hat die Form:

$$n_p(x) = n_{p_0} + n_{p_0} \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) e^{\frac{-x}{L_n}} \quad (3.27)$$

mit der Diffusionslänge der Elektronen  $L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$ . Aus einer analogen Rechnung folgt die Diffusionsstromdichte der Löcher. Den Gesamtstrom in der Raumladungszone erhält man aus der Summe der Diffusionsströme der Elektronen und der Löcher:

$$I = I_n + I_p = I_o \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \quad (3.28)$$

$$\text{Für den Sättigungsstrom gilt: } I_o = \left( \frac{eD_n n_i^2}{L_n N_A} + \frac{eD_p n_i^2}{L_p N_D} \right) \quad (3.29)$$

Die Gleichung (3.29) beschreibt die bekannte Diodenkennlinie.

## 3.5 Solarzelle

### 3.5.1 Funktionsweise der Solarzelle

Werden in der Raumladungszone nun durch Photonen Elektronen vom Valenzband ins Leitungsband angehoben, also vom Atom gelöst, so werden diese durch das elektrische Feld in das n-Gebiet gezogen. Die entstehenden Löcher wandern ins p-Gebiet. Im Energiebändermodell kann dies durch eine Verbiegung der Bänder in der Raumladungszone veranschaulicht werden. Über einem elektrischen Bauelement lässt sich dann der Stromkreis schließen.

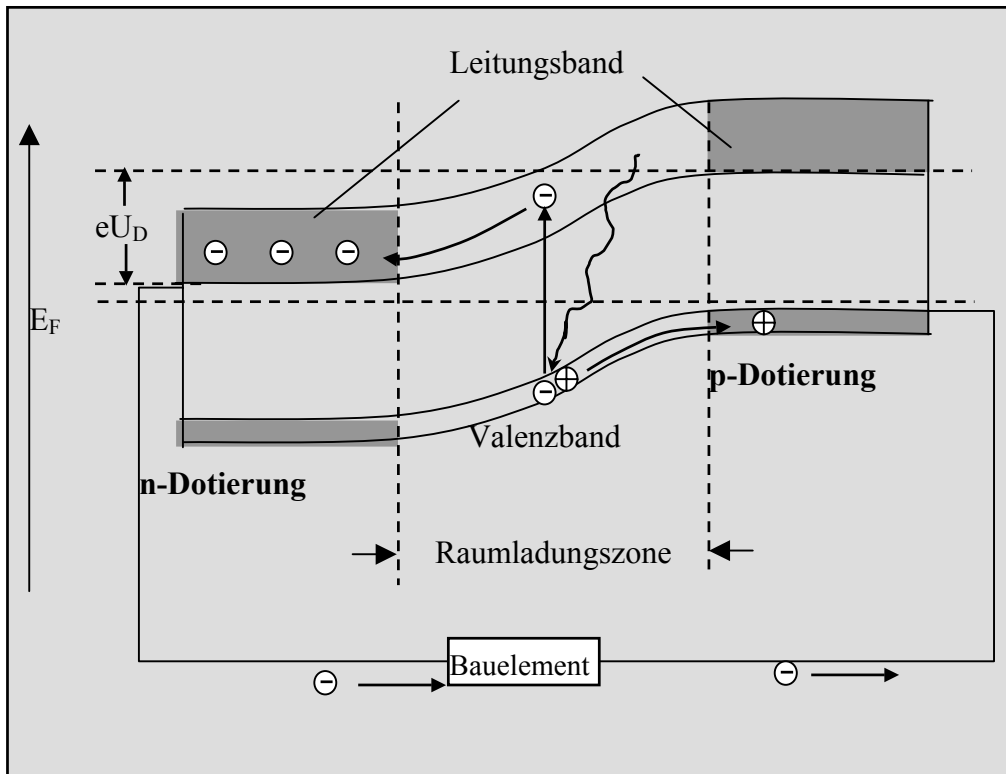


Abb. 3.11: Ablösung von Elektronen vom Valenzband ins Leitungsband in der Raumladungszone durch Einwirkung von Licht

Die Differentialgleichung (3.26) für den Elektronenstrom muss lediglich um die Generation  $G$  (Anzahl der durch das Licht erzeugten Ladungsträger) ergänzt werden:

$$D_n \frac{d^2 n}{dx^2} = \frac{\Delta n}{\tau_n} - G \quad (3.30)$$

Dadurch erhält die Diffusionsstromdichte der Elektronen den Zusatzterm  $-eGL_n \exp(-\frac{x}{L_n})$  und lautet :

$$I_n = \frac{eD_n n_{p0}}{L_n} \left( \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right) \exp\left(\frac{-x}{L_n}\right) - eGL_n \exp\left(\frac{-x}{L_n}\right) \quad (3.31)$$

Wird die Rekombination in der Raumladungszone vernachlässigt, ist der Strombeitrag der Raumladungszone  $I_R = -eGd$ ,  $d$  ist Dicke der Raumladungszone. Für den Gesamtstrom bei Beleuchtung gilt dann:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Solarzelle}} &= I_n + I_p + I_R = \\
 &= I_o \left( \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right) - eG(L_n + L_p + d) = \\
 &= I_o \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) + I_L
 \end{aligned}
 \tag{3.32}$$

$$I_L = eG(L_n + L_p + d) : \text{lichtgenerierter Strom.} \tag{3.33}$$

Wir sehen, dass die Kennlinie (Abb. 3.12) einer beleuchteten Solarzelle im 4. Quadranten eines Kennlinienkoordinatensystems liegt. Zum Vergleich mit dieser Kennlinie ist die Strom-Spannungs-Charakteristik einer unbeleuchteten Solarzelle mit eingezeichnet.

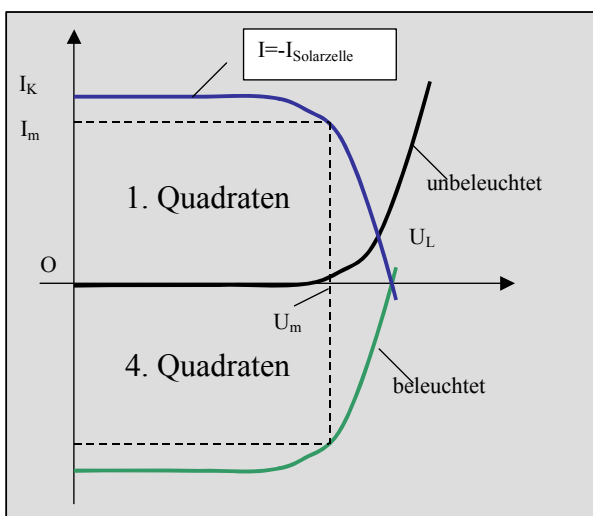


Abb. 3.12: Kennlinien einer Solarzelle

Die Spannungen laufen in beiden Fällen gleichsinnig, während der Strom der beleuchteten Solarzelle negativ ist, d.h. der Solarstrom fließt entgegen der Durchlassrichtung der Diode.

### 3.5.2 Kurzschlussstrom

Wie der Name sagt, erhält man diesen Strom, wenn man die Solarzelle kurzschließt, d.h. wenn an der Zelle kein äußerer Widerstand vorhanden ist. Man bezeichnet diesen Strom mit  $I_K$ .

Aus Gleichung (3.33) ergibt sich dann  $I_K = I_L = eG(L_n + L_p + d)$ , d.h. der Kurzschlussstrom ist gleich dem absoluten Betrag des lichtgenerierten Stromes.

### 3.5.3 Leerlaufspannung

#### a) Allgemeine Gleichung

Die Leerlaufspannung  $U_L$  erhält man, wenn der Solarzelle kein Strom entnommen wird. Sie ergibt sich aus zu ( $I_{\text{Solarzelle}}=0$ ):

$$U_L = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_L}{I_o} + 1\right) \quad (3.34)$$

Da man schon bei recht geringen Stromdichten den Wert 1 gegen  $I_L/I_o$  vernachlässigen kann und  $I_L \approx I_K$  ist, ergibt sich für  $U_L$ :

$$U_L = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_K}{I_o}\right) \quad (3.35)$$

#### b) Temperaturabhängigkeit der Leerlaufspannung

Solarzellen führen nur einen kleinen Teil von den Photonen des absorbierten Energiestroms als elektrische Energie nach außen ab. Den Rest geben sie als Wärme ab, und dazu müssen sie eine höhere Temperatur als die Umgebung haben. Bei voller Sonneneinstrahlung von  $1\text{kW/m}^2$  liegt die Temperaturdifferenz zur Umgebung bei einigen 10 K.

Bei Erwärmung wird der Bandabstand kleiner. Dadurch wird der absorbierte Photonenstrom größer, was zu einem geringen Anwachsen des Kurzschlussstroms  $I_K$  führt. Nachteilig wirkt sich die Erwärmung aber auf die Leerlaufspannung aus. Aus der Gleichung (3.36) erhält man für die Temperaturabhängigkeit der Leerlaufspannung:

$$U_L(\text{max})=U_D = \frac{kT}{e} \exp\left(\frac{N_D N_A}{n_i^2}\right) \quad (3.36)$$

$$\rightarrow \frac{dU_D}{dT} = \frac{k}{e} \ln\left(\frac{N_D N_A}{n_i^2}\right) + \frac{kT}{e} \left[ \frac{1}{N_D} \frac{dN_D}{dT} + \frac{1}{N_A} \frac{dN_A}{dT} - \frac{1}{n_i^2} \frac{d(n_i^2)}{dT} \right] \quad (3.37)$$

Darin ist  $n_i^2 = N_V N_L \exp\left(\frac{-\Delta E}{kT}\right)$  und  $\frac{d(n_i^2)}{dT} = \frac{\Delta E}{kT^2} n_i^2$

Damit wird

$$\frac{dU_D}{dT} = \frac{U_D - \frac{\Delta E}{e}}{T} + \frac{kT}{e} \left( \frac{1}{N_D} \frac{dN_D}{dT} + \frac{1}{N_A} \frac{dN_A}{dT} \right) \quad (3.38)$$

Über die Ausdrücke in der Klammer sind keine allgemeinen Aussagen möglich, außer, dass sie i.a. beide  $< 0$  sind. Die wesentliche Temperaturabhängigkeit rührt von  $\frac{U_D - \frac{\Delta E}{e}}{T}$  her. Für eine Siliziumzelle mit  $U_D = 0,6 \text{ V}$  und  $\Delta E = 1,12 \text{ eV}$  bei  $T = 300 \text{ K}$

ist  $\frac{dU_D}{dT} = -1.7 \text{ mV/K}$ . Das bedeutet, dass die Leerlaufspannung um 0,3% sinkt pro Grad Temperaturerhöhung. In ähnlicher Weise wird der Wirkungsgrad beeinflusst.

### 3.6 Belastete Solarzelle

#### 3.6.1 Aufbau und Ersatzschaltbild einer Solaranlage

Die Leerlaufspannung verschiedener Solarzellentypen variiert zwar in Abhängigkeit von den verwendeten Halbleitermaterialien, bewegt sich aber durchgehend bei Werten von unterhalb von einem Volt. Da dies in der Regel weder bei Inselbetrieb, also der Eigenversorgung von z.B. vom öffentlichen Stromnetz abgelegenen Häusern, noch bei Betrieb in Ergänzung zur Versorgung durch das öffentliche Netz ein wünschenswerter Wert ist, ist es üblich mehrere einzelne Solarzellen in Reihe zu schalten, um eine höhere Spannung zu erzielen. Andererseits sind auch die Stromstärken des Photostroms einzelner Zellen zu gering, um typischen Anwendungen standhalten zu können. Dies wiederum macht die Parallelschaltung mehrerer solcher Reihenschaltungen erforderlich.

Die typische **Solaranlage (Solarmodul)**, auch Photovoltaikmodul genannt, besteht somit aus kombinierten Reihen- und Parallelschaltungen und ist in Abb. 3.13 dargestellt. Dieser Aufbau hat insbesondere den Vorteil, dass beim Defekt einer einzelnen Zelle nicht das ganze Modul, sondern nur einer der parallel geschalteten Äste ausfällt. Die Gesamtleistung des Moduls berechnet sich bei  $n$  Zellen in Reihe und  $m$  parallel geschalteter Reihen nach der Formel

$$P_{\text{Gesamt}} = n \cdot m \cdot P_{\text{Einzelle}} \quad (3.39)$$

Typische Solarmodule für den privaten Nutzer haben Leistungen von ca. 50 – 100 W.

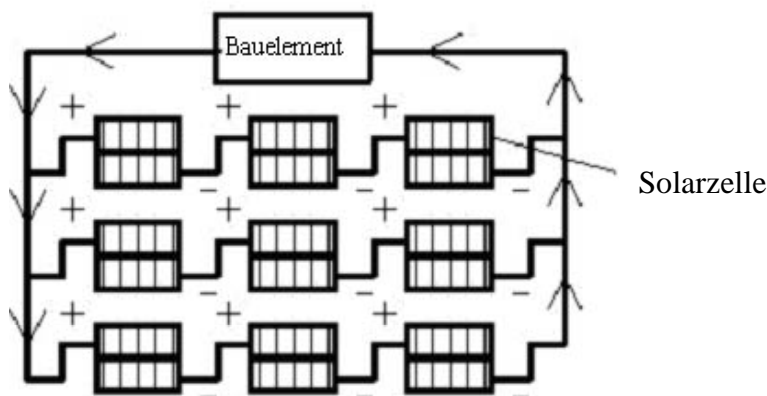


Abb. 3.13: Aufbau eines Solarmoduls durch Reihen- und Parallelschaltungen

Alle bis hierher angestellten Überlegungen zur Leistung gehen davon aus, dass sich die Oberfläche der Solarzelle bzw. des Solarmoduls senkrecht zur Richtung der einfallenden Sonnenstrahlung befindet. Abgesehen von sehr aufwändigen Anlagen, die eine beweglich aufgehängte Zelle automatisch optimal positionieren, ist dies jedoch eine stark idealisierte Vorstellung, da der Einstrahlungswinkel der Sonne a) tageszeitabhängig und b) jahreszeitabhängig variiert. Für die reale Kurzschlussstromstärke gilt für den vom Horizont ab gemessenen Einfallswinkel  $\alpha$ :

$$I_K = I_{K_{\max}} \cdot \sin \alpha \quad (3.40)$$

Es liegt auf der Hand, dass die optimale Ausrichtung in Südrichtung mit einem Neigungswinkel, der dem über den Jahresverlauf gemittelten Einfallswinkel der Sonne entspricht, liegt.

### 3.6.2 Füllfaktor

Wie immer in der Elektrotechnik erfordert ein Optimum an Leistungsentnahme den Abschluss des äußeren Kreises mit einem entsprechend angepassten Arbeitswiderstandes  $R_a$ , der dem Verhältnis  $U_m/I_m$  entspricht.  $U_m$  und  $I_m$  sind definitionsgemäß Spannung und Strom am optimalen Arbeitspunkt und  $P_m$  die maximal erzielbare Leistungsabgabe.

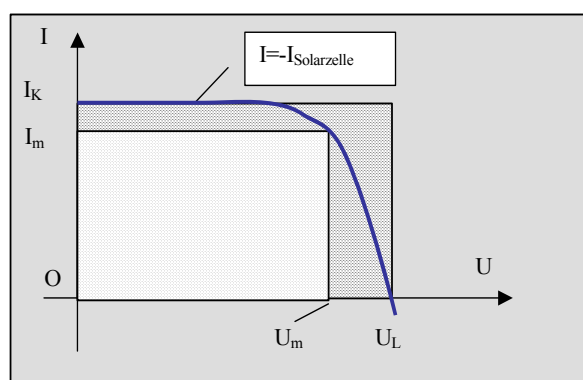


Abb. 3.14: Darstellung des Füllfaktors einer Solarzelle

Man bildet nun den **Füllfaktor** FF einer Solarzelle:

$$FF = \frac{U_m I_m}{U_L I_K} \quad (3.41)$$

Füllfaktor deshalb, weil er bildlich dargestellt angibt, wie viel "Fläche" unter der Kennlinie von dem "Rechteck"  $U_m \cdot I_m$  gegenüber dem "Rechteck"  $U_L \cdot I_K$  ausgefüllt wird. Normalerweise liegt der Füllfaktor in der Größenordnung 0,75 bis 0,85.

### 3.6.3 Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad einer Solarzelle ist definiert als das Verhältnis von der Zelle photovoltaisch erzeugter elektrischer Leistung zur einfallenden Lichtleistung:

$$\eta = \frac{I_m U_m}{P_{\text{Licht}}} = \frac{FF I_K U_L}{P_{\text{Licht}}} \quad (3.42)$$

Zur Zeit liegen die höchsten Wirkungsgrade einer Solarzelle aus monokristallinem Silizium unter Anwendung sehr diffiziler Technologien bei ca. 23-24%.

Wie sind die bis heute erzielten Wirkungsgrade zu beurteilen?

Von der eingestrahnten Sonnenenergie kann in einer Silizium-Solarzelle ein großer Teil der Strahlung nicht in elektrische Energie umgewandelt werden.

- ca. 24 % der Sonnenstrahlung ist zu langwellig ( $\lambda > 1,1 \mu\text{m}$ ) und damit die Energie der entsprechenden Lichtquanten zu gering, um Elektronen vom Valenzband in das Leitungsband zu heben,
- ca. weitere 33 % der Strahlungsenergie gehen als Wärme verloren, da im kurzwelligen Bereich des Sonnenspektrums die zu hohe Energie der Lichtquanten ( $E > 1,1\text{eV}$ ) als Wärme an das Kristallgitter abgegeben wird,
- ca. 15-20 % gehen dadurch verloren, dass die sich eingestellte Leerlaufspannung kleiner ist als es dem Abstand des Fermi-Niveaus im n- und p-Gebiet entspricht.

Lediglich der Rest von 23-28 % des eingestrahnten Sonnenlichtes kann in elektrische Energie umgewandelt werden.



## 4 Konzeption der empirischen Untersuchung

### 4.1 Zum Konzept der didaktischen Rekonstruktion

In seiner „DIDACTICA MAGNA“ stellte COMENIUS bereits 1632 die Forderung auf, dass es möglich sei, allen Menschen alles zu lehren. Jeder Sachverhalt könne so dargestellt werden, dass jeder ihn in Kern verstehen würde [COMENIUS 1954].

Diese Aufgabe der Didaktik stellt eine wesentliche Grundlage für die Gestaltung von Lernprozessen dar und wird als Elementarisierung bezeichnet.

Die zentrale Frage besteht darin, wie findet man den Kern eines Sachverhaltes und wie bringt man ihn auf ein verständliches Anforderungsniveau.

Zur Aufbereitung von komplizierten Zusammenhängen gehören

- die fachwissenschaftliche Analyse,
- die didaktische Reduktion/Elementarisierung,
- die empirische Erhebung zu den Schülervorstellungen und Lernprozessen,
- die methodische Analyse (Abb. 4.1).

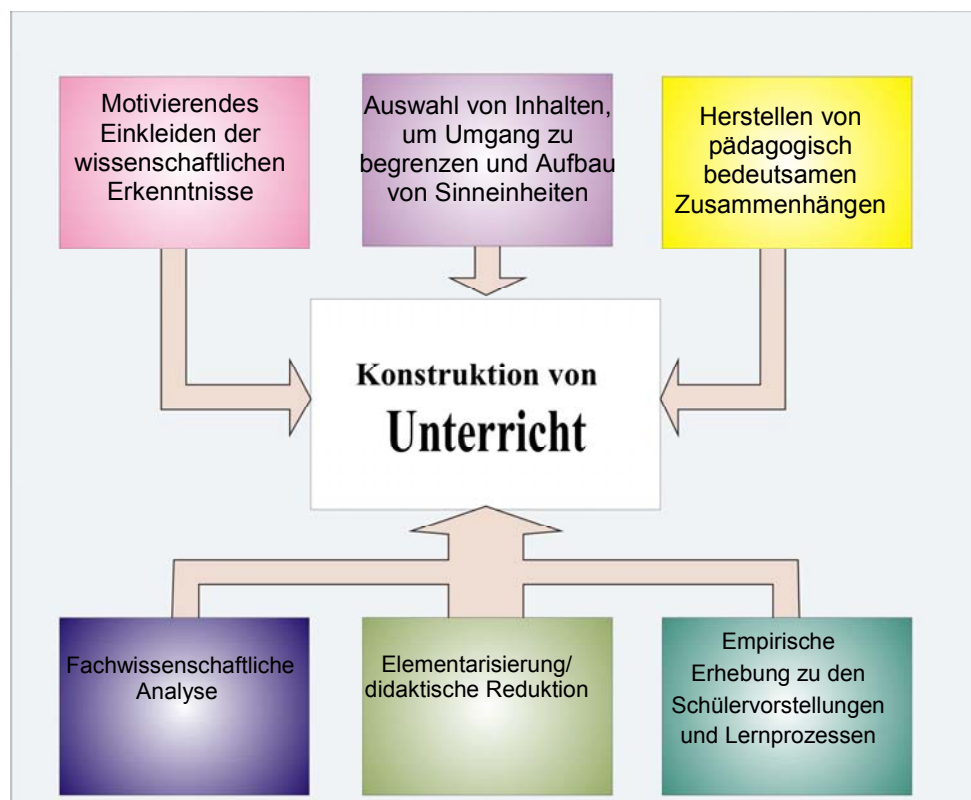


Abb. 4.1: Didaktische Rekonstruktion

Die „Didaktische Rekonstruktion“ beschreibt KIRCHER u.a. [KIRCHER 2002] als den Wiederaufbau von Strukturen aus den Sinneinheiten, die bei der Elementarisierung von Konzepten und komplizierten Zusammenhängen entwickelt wurden.

Die fachwissenschaftliche Analyse photovoltaischer Grundlagen ist im Abschnitt 3 dieser Arbeit dargestellt. Im Abschnitt 2.3.2 wurde eine ausführliche Analyse der Schülervorstellungen der Primarstufe und der Sekundarstufe I vorgenommen.

## 4.2 Elementarisierung photovoltaischer Grundlagen

Durch die Untersuchung der Schülervorstellung über Solarzellen und durch das Studium der Lehrpläne einiger Bundesländer können wir erkennen, dass die Themen „Photovoltaik“ sowie „Halbleitervorgänge“ noch nicht für Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe I angeboten werden.

Eine Ursache für die Nichtbehandlung ist darin zu sehen, dass die fachwissenschaftlichen Grundlagen für das Verständnis des Aufbaus und der Funktionsweise einer Solarzelle sehr komplex sind und die in der Fachliteratur dargestellte modellhafte Beschreibung (z.B. Bändermodell) das kognitive Niveau für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I weit überschreitet.

Folgende Aspekte der Elementarisierung photovoltaischer Grundlagen wurden vorgenommen.

### a) *Elementarisierung als Vereinfachung der Sachstruktur: Teilchenmodell statt Bändermodell*

Anstelle des Bändermodells zur Erklärung des Aufbaus und der Funktionsweise einer Solarzelle wurde das Teilchenmodell für die Bewegung der Ladungsträger eingeführt. Das Modell ist den Schülern am Beispiel der Leitungsvorgänge in Metallen bekannt. Es wurde erweitert für den Ladungstransport in Halbleitern. Durch den Einsatz des Teilchenmodells konnte die Komplexität reduziert und die Anschaulichkeit für das Verständnis des Leitungsmechanismus verbessert werden (Abb. 4.2, und Abb. 4.5.).

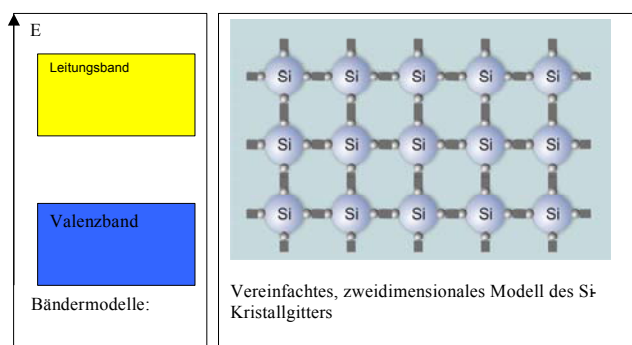


Abb. 4.2: Darstellung im Bändermodell und im Teilchenmodell

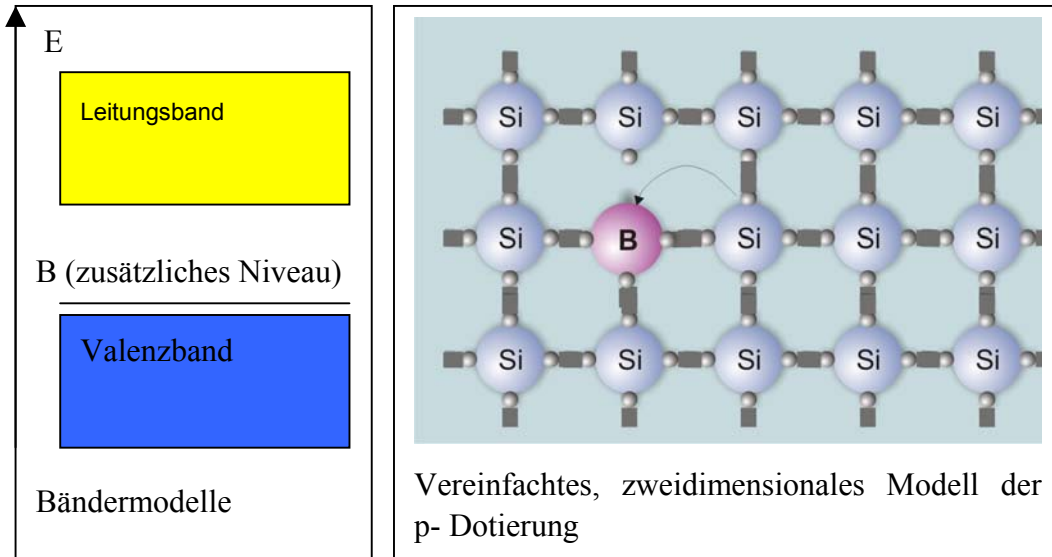


Abb. 4.3: p-Dotierung

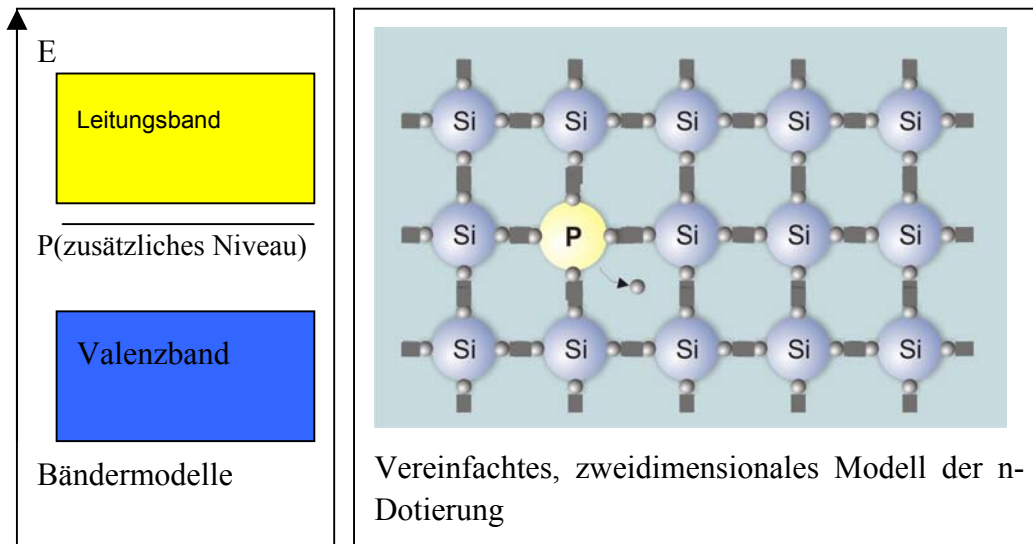


Abb. 4.4: n- Dotierung

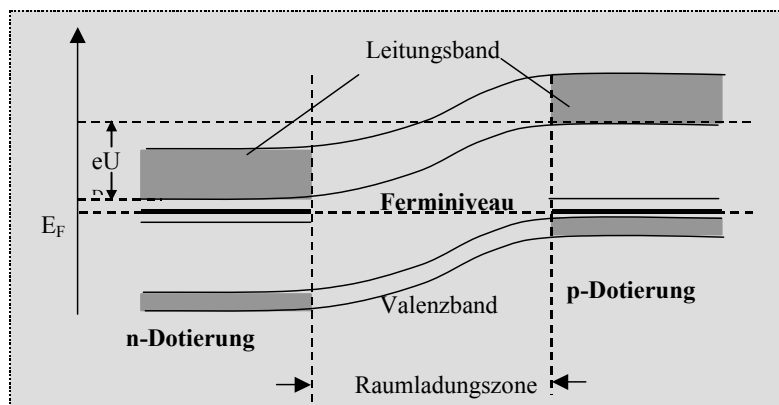


Abb. 4.5: n-p-Übergang in Bändermodell

### b) Elementarisierung durch bildliche Darstellungen

Aus den Theorien zum multimedialen Lernen von MAYER [MAYER 1997] und SCHNOTZ [SCHNOTZ 1999] ist bekannt, dass Lernende bei der Verarbeitung von sprachlichen Informationen automatisch auch konkrete Anschauungen zu diesem Sachverhalt in Form von Bildern oder Modellen erzeugen. Die bildliche (schematische) Darstellung des Leitungsvorganges in der Solarzelle stellt eine Vereinfachung dar, da eine solche Darstellung die Komplexität des Sachverhalts reduziert (Abb. 4.8).

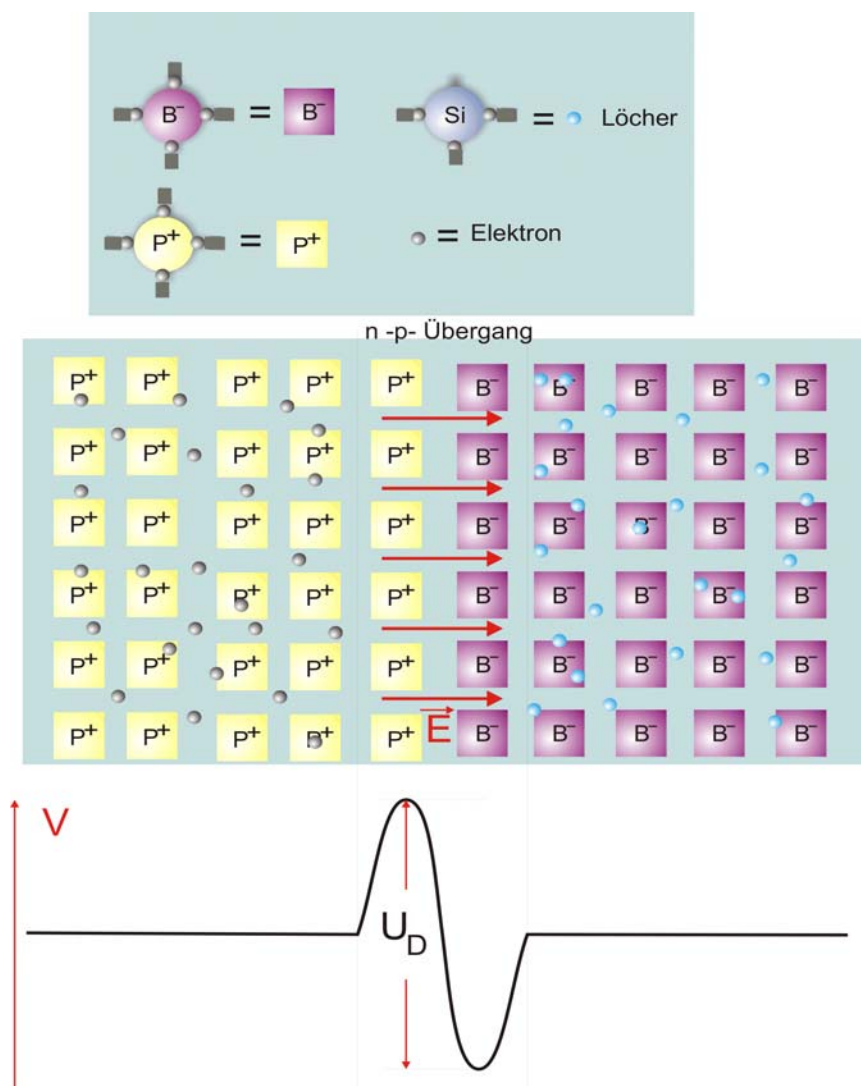


Abb. 4.6: Der n-p-Übergang im Teilchenmodell

- 1. Vereinfachung: 2D statt 3D Darstellung
- 2. Vereinfachung: Verhinderung der neutralen Siliziumatome (Abb. 4.6)

Das unsichtbare Innere einer Solarzelle wird damit den Lernenden zugänglich gemacht.

**c) *Elementarisierung durch Analogien***

Funktionsweisen und Sachverhalte, die der Anschauung nur schwer zugänglich sind, können durch die Betrachtung eines den Lernenden vertrauten und analogen Sachverhalts zugänglich gemacht werden. Am Beispiel der Betrachtung des Leitungsvorganges in einer Halbleiterdiode und einer Solarzelle wird ein anschaulicher Zugang zum Verständnis der Funktionsweise der Solarzelle geschaffen.

**d) *Elementarisierung durch Bestimmung des Elementaren***

Bei der Auswahl und Begründung der Inhalte des Physikunterrichts geht es nicht allein darum, Sachverhalte danach auszuwählen, ob sie sich angemessen vereinfachen lassen [MIKELSKIS 2006]. Es geht auch darum, zu einer naturwissenschaftlichen Grundbildung beizutragen. Das Elementare zu bestimmen bedeutet, den Kern, das Grundlegende oder das Exemplarische herauszuarbeiten. Das Elementare dieser Stoffeinheit besteht in folgenden Aussagen:

- Solarenergie (Licht) lässt sich unmittelbar in elektrische Energie umwandeln (Bestätigung des verallgemeinerten Energieerhaltungssatzes),
- Anwendung des Modells elektrischer Leitungsvorgänge am Beispiel des Aufbaus und der Funktionsweise einer Solarzelle,
  - Voraussetzung für einen elektrischen Leistungsvorgang ist das Vorhandensein eines elektrischen Feldes (Diffusionsfeld einer Solarzelle),
  - Wanderungsfähige Ladungsträger (Elektronen und Defektelektronen) werden bereitgestellt durch die Einstrahlung von Sonnenlicht auf die Solarzelle,
  - Verlauf des elektrischen Leitungsvorganges,
- Umwandlung von Solarenergie in kinetische Energie.

**e) *Elementarisierung durch experimentelle Untersuchungen an der Solarzelle***

Die zahlreichen Abhängigkeiten der von einer Solarzelle bereitgestellten Energie kann den Lernenden dadurch anschaulich und überzeugend nahe gebracht werden, dass sie selbstständig experimentelle Untersuchungen an einer Solarzelle vornehmen wie z.B. die an der Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke zu untersuchen:

- Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke,
- Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Solarstrahlung,
- Abhängigkeit von der Solarzellenfläche,
- Abhängigkeit von der Temperatur der Solarzelle,

- Abhängigkeit vom äußeren Widerstand des Solarzelle,
- Abhängigkeit von den Wellenlängen des Lichtes.

#### **f) *Elementarisierung durch Weglassen komplizierter Zusammenhänge***

Komplexität und Abstraktion lassen sich reduzieren, indem fachwissenschaftlich schwierige Zusammenhänge nicht zum reproduzierbaren Wissen ausgewählt werden. So ist es z.B. mit dem physikalischen Wissen der Sekundarstufe I nicht ausführlich möglich zu begründen, weshalb beim Anstieg der Solarzellentemperatur die Leistung der Solarzelle sinkt. Diese Erscheinung lässt sich durch eine Behandlung des p-n-Überganges erklären. Dies würde das Anforderungsniveau der Sekundarstufe I jedoch übersteigen.

#### **g) *Kriterien zur Beurteilung von Elementarisierungen***

Von JUNG und DUIT [MIKELSKIS 2006] wurden folgende drei wesentliche Kriterien zur Beurteilung von Elementarisierungen hervorgehoben:

- *Fachliche Relevanz:*

Die im Rahmen der Elementarisierung vorgenommenen Vereinfachungen müssen fachlich angemessen sein. Die vorgenommenen Elementarisierungen zum Aufbau und zur Funktionsweise von Solarzellen widersprechen nicht den fachwissenschaftlichen Grundlagen. Die vermittelten Grundkenntnisse sind ausbaufähig und ermöglichen ein Weiterlernen auf Fach- bzw. Hochschuleniveau. Fachliche Differenzierungen wurden weggelassen bzw. vernachlässigt, um die Komplexität zu reduzieren.

- *Angemessenheit für die kognitive Struktur der Lernenden:*

Dieses Kriterium ist entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung einer neuen Stoffeinheit. Es setzt sowohl die Kenntnisse und Erfahrungen über Schülervorstellungen zur Stoffeinheit (Kapitel 2.3.2) voraus, als auch die Vorstellungen über die kognitive Entwicklung der Schülervorstellungen im Lernprozess. Dieses Kriterium wurde durch die empirische Untersuchung (Abschnitt 5) überprüft.

- *Entwicklungsfähigkeit:*

DUIT hebt hervor, dass die Elementarisierung nicht nur fachlich relevant sein muss, für die kognitive Entwicklung der Lernenden, sondern muss sie auch für das weiteres Lernen entwicklungsfähig sein. Die vorgenommenen Elementarisierungen ermöglichen ein Weiterlernen auf einer höheren Entwicklungsstufe. Sie ermöglichen einen nahtlosen Übergang zum Energiestufenmodell und zu physikalischen Betrachtungen in der Festkörperphysik. Ein Umlernen ist durch Elementarisierungen nicht notwendig.

<b>Leistungsfähigkeit und Grenzen</b>	
Bändermodell (quantitativ-kausale Zusammenhänge)	Teilchenmodell (qualitative Zusammenhänge)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- erklärt die Voraussetzungen für elektrische Leistungsvorgänge in Festkörpern,</li> <li>- erklärt Leitungsvorgänge in Metallen, Halbleitern und Isolatoren,</li> <li>- erklärt und veranschaulicht Energiezustände und Energieaustauschprozesse von Elektronen in Festkörpern (Grundzustand, Valenzband, Leitungsband, verbotene Zone).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- beschreibt die Voraussetzungen für die elektrische Leistungsvorgänge in Metalle und Halbleitern,</li> <li>- veranschaulicht grafisch den Leitungsvorgang in Metallen und Halbleitern,</li> <li>- beschreibt und erklärt nicht das Verhalten der Ladungsträger bei Energieaustauschprozessen an p-n-Übergang.</li> </ul>

Tab. 4.1: Leistungsfähigkeit und Grenzen

### 4.3 Entwicklung einer Konzeption für den Frontalunterricht mit Schülerexperimenten

Die Konzeption des Frontalunterrichts basiert auf einem lehrerzentrierten Unterricht unter starker Einbeziehung von Schülerexperimenten, die durch den Lehrer eingeleitet werden.

Folgende allgemeine Ziele werden in der Unterrichtseinheit „Photovoltaik“ angestrebt:

Die Schülerinnen und Schüler sollen lernen:

- Wie die Physik Aspekte der Natur und Technik durch geeignete Begriffsbildungen quantitativ beschreibt (Beispiele: p-n-Übergang, Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom, Beleuchtungsstärke, usw.).
- Wie empirisch Gesetze gewonnen werden (Untersuchung der funktionalen Abhängigkeiten der durch die Solarzelle gewonnenen elektrischen Energie von der Beleuchtungsstärke, von Einfallswinkel der Solarstrahlung, von der Temperatur der Solarzelle, vom Außenwiderstand der Solarzelle).
- Wie man in der Physik mit Modellen arbeitet (Erklärung der Umwandlung der solaren Energie in elektrische Energie mit Hilfe des Teilchenmodells).
- Welche ökologischen Schädigungen durch die Produktion und die Anwendung von Solarzellen auftreten können.
- Wie Vorurteile gegenüber erneuerbaren Energien offengelegt werden können.

In den Unterrichtsplanungen werden die Aktionsformen der Lehrer- und Schülertätigkeiten sowie die vorbereiteten Medien dargestellt. Darüber hinaus werden die Schwerpunkte der Unterrichtsthemen unter Berücksichtigung der Zeitplanung hervorgehoben.

Das Tafelbild, die Arbeitsblätter für die Schülerinnen und Schüler sowie die Musterlösungen für den Lehrer sind im Anhang A2 (S.200) dargestellt.

### Ziel der 1. und 2. Stunde

#### Die Schülerinnen und Schüler

- wissen, dass die elektrische Leitfähigkeit der Halbleiter zwischen der von dem metallischen Leiter und der von Isolatoren liegt,
- wissen, dass die elektrische Leitfähigkeit in Halbleitern auf der Eigenleitung und Störstellenleitung beruht,
- wissen, dass die Störstellenleitung in Halbleitern durch Einbau von Fremdatomen ermöglicht wird,
- wissen, dass die Leitfähigkeit in Halbleitern durch Beleuchtung beeinflusst werden kann,
- können den Aufbau und die Funktionsweise einer Halbleiterdiode erläutern.

<i>Unterrichtsschritte</i>	<i>Aktionsformen Lehrertätigkeiten, Schülertätigkeiten</i>	<i>Medien</i>	<i>Zeit</i>
<b>2.1 Einführung in die Unterrichtseinheit</b> - Reserven der fossilen Energieträgern - Energiequellen des neuen Jahrtausends - Solare Energie - Photovoltaik	LV, UG	Folien, Handout	10'
<b>2.2. Leitungsvorgang in Halbleitern</b> - Aufbau eines Halbleiters - Leitungsvorgänge in Halbleitern; Beeinflussung der Leitungsvorgänge durch Lichteinstrahlung, - Qualitative Erklärung mit Hilfe des Teilchenmodells	LV, UG Experiment zur Beeinflussung des Stromflusses im Halbleiter durch Erwärmung und Beleuchtung	Folien, Tafelbild, Overheadprojektor, - Thermistor - Photowiderstand - Amperemeter - Lampe - Kerze - Netzgeräte	15'
<b>2.3. Die Halbleiterdiode</b> - Aufbau der Halbleiterdiode - Sperr- und Durchlassrichtung	LV, UG	Folien, Overheadprojektor	15'
<b>2.4. Zusammenfassung</b>	UG		5'

Tab. 4.2: Planung der 1. und 2. Stunde



## Hinweise zur 1. und 2. Stunde: Einführung in die Grundlagen der Photovoltaik

### Zu 2.1. Einführung in die Unterrichtseinheit

In diesem Unterrichtsabschnitt kommt es darauf an, den Schülern die Notwendigkeit einer Energiewende überzeugend darzustellen. Es ist hervorzuheben, dass nach neusten wissenschaftlichen Schätzungen der Energievorrat an fossilen Energieträgern nur noch 50 bis 100 Jahre ausreichen wird (Folie 1, Anhang A2). Der Preis für Erdöl ist in den letzten 30 Jahren gestiegen (Folie 3). Die Bereitstellung von anderen Energiequellen ist zwingend notwendig (Folie 2 und 4). Die Ölkrise in den 1970er Jahren verhalf der solarelektrischen Form der Energiebereitstellung zum Durchbruch. Die Photovoltaik hat in den letzten Jahren in Deutschland einen enormen Aufschwung erfahren. Sie wird dazu beitragen, den Energiebedarf der Zukunft mit anderen regenerativen Energiequellen (Geothermie, Biomasse, Windenergie, Meeresenergie) zu decken.

### Zu 2.2. Halbleitermaterialien als Grundlage für die Photovoltaik

- Halbleitermaterialien bilden die Grundlage für die Umwandlung der Solarenergie in elektrische Energie.
- Folgende Erkenntnisse sind herauszuarbeiten:
  - a) Halbleiter sind Stoffe, deren Leitfähigkeit zwischen der von Metallen und Isolatoren liegt! (bei tiefen Temperaturen haben Halbleiter Isolatoreigenschaften und bei höheren Temperaturen ist eine messbare elektrische Leitfähigkeit nachweisbar.)

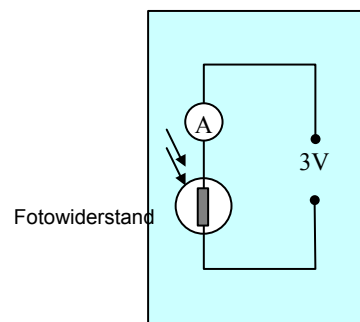


Abb. 4.7: Beeinflussung des Stromflusses in einem Halbleiter durch Beleuchtung

- b) Reines Silizium (Basismaterial für Solarzellen) ist bei Raumtemperatur ein Isolator. Es stehen keine wanderungsfähigen Ladungsträger zur Verfügung. In Siliziumkristall liegt eine Elektronenpaarbildung vor (Folie 5. Experiment Halbleiter und Kerze).

#### Erkenntnis:

Der elektrische Strom im Halbleiter kommt bei Eigenleitung durch die Wanderung von Elektronen und Löchern zustande. Der Stromfluss kann in Halbleiter durch Beleuchtung beeinflusst werden. Dazu können folgende Experimente durchgeführt werden.

***Zu 2.3. Die Halbleiterdiode***

- Im Unterrichtsgespräch ist zunächst der Aufbau einer Halbleiterdiode zu erläutern (siehe Infoblatt siehe Anhang A2), anschließend ist die Funktionsweise der Halbleiterdiode zu erklären.
- Es sind die Begriffe Sperrrichtung, Durchlassrichtung einzuführen und Experimente vorzuführen.

***Zu 2.4. Zusammenfassung:***

- Beschreibe den Aufbau einer Halbleiterdiode!
- Erläutere den Leistungsmechanismus einer Halbleiterdiode!
- Was versteht man unter Durchlassrichtung und Sperrrichtung einer Halbleiterdiode?
- Wie entsteht das Diffusionsfeld in einer Halbleiterdiode?

**3. Stunde: Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle**

Die 3.Stunde ist Kernpunkt der Unterrichtsreihe. In dieser werden die Schülerinnen und Schüler in die Lage versetzt, den Aufbau und die Funktionsweise der Solarzelle mit Hilfe der Schülerexperimente unter Anleitung des Lehrers zu erlernen.

**Ziele der 3. Stunde*****Die Schülerinnen und Schüler***

- können den Aufbau einer Solarzelle beschreiben,
- wissen, dass bei Bestrahlung des p-n-Übergangs einer Halbleiterdiode mit Licht freibewegliche Ladungsträger entstehen,
- wissen, dass durch das Diffusionsfeld eine gerichtete Bewegung der Ladungsträger (Elektronen, Defektelektronen) in der Halbleiterdiode erfolgt,
- können den Aufbau der Solarzelle beschreiben und ihre Funktionsweise erläutern.

<b>3. Stunde: Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle</b>			
<i>Unterrichtsschritte</i>	<i>Aktionsformen Lehrertätigkeiten, Schülertätigkeiten</i>	<i>Medien</i>	<i>Zeit</i>
<b>3.1. Motivation</b>	UG, Problemstellung	Tafel, Folie	3'
<b>3.2. Aufbau der Solarzelle</b>	UG	Folien, Overheadprojektor,	10'
<b>3.3. Funktionsweise der Solarzelle</b>	UG		12'
<b>3.4. Schülerexperiment zur Untersuchung der Funktionsweise ein Solarzelle</b>	Selbstständige Schülerarbeit	Arbeitsblätter, - 15 Solarzellen - 15 Multimeter - 15 Lampe - 15 Batterie 1,5V	15'
<b>3.5. Zusammenfassung</b>	UG	Tafel	5'

Tab. 4.3: Planung der 3. Stunde

### **Hinweise zur 3. Stunde: Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle**

#### ***Zu 3.1. Motivation /Problemstellung:***

Mit einer Solarzelle kann die Energie des Lichts direkt in elektrische Energie umgewandelt werden. Wir wollen herausfinden, wie eine Solarzelle aufgebaut ist und wie diese funktioniert.

#### ***Zu 3.2. Aufbau der Solarzelle:***

Im Unterrichtsgespräch wird mit Hilfe der Folie bzw. durch eines Tafelbildes herausgearbeitet, dass die Solarzelle eine spezielle Halbleiterdiode mit großer Oberfläche ist, die n-Schicht ist sehr dünn und lichtdurchlässig (Abb. 4.8). Zwischen der p-n- Grenzschicht breitet sich ein elektrisches Feld (Diffusionsfeld) aus. Es wird durch die positiven und negativen Ionen (Atomrümpfe) gebildet.

#### ***Zur 3.3. Funktionsweise der Solarzelle:***

Durch die Lichteinstrahlung werden in der Grenzschicht des n-p-Überganges Elektronen freigesetzt und es entstehen Löcher. Diese Ladungsträger werden durch das Diffusionsfeld beeinflusst. Es wandern die negativen Ladungsträger in das n-Gebiet und die Löcher ins p-Gebiet. Dadurch entsteht zwischen den beiden Enden des Halbleiterkristalls eine Spannung, die bis auf 0,6V ansteigen kann. Die Halbleiterdiode wirkt als Spannungsquelle.

**Teilzusammenfassung:**

**Photovoltaischer Effekt:** Im Unterrichtsgespräch wird zusammenfassend der photovoltaische Effekt beschrieben.

Der photovoltaische Effekt bewirkt die Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie in einem Halbleiterbauelement (Solarzelle).

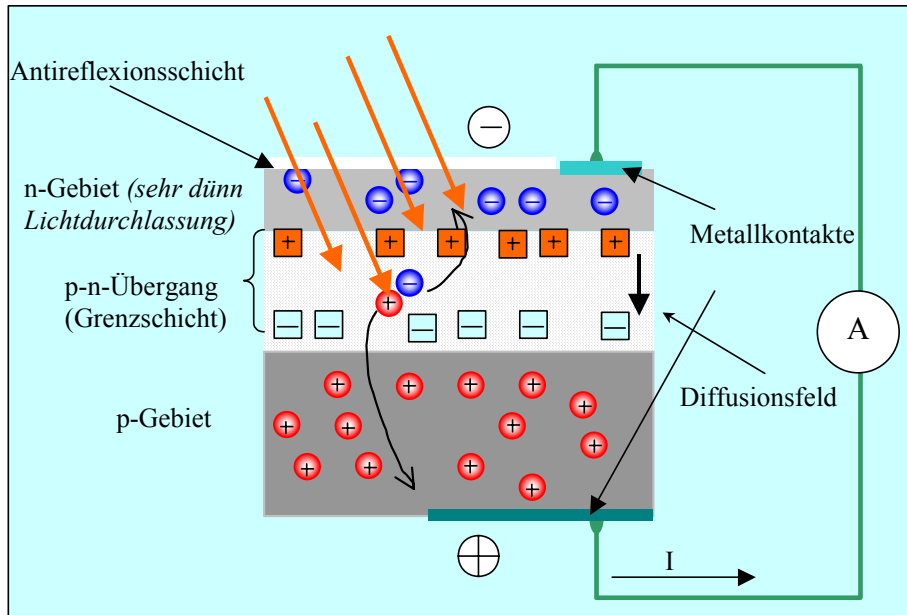


Abb. 4.8: Schnittdarstellung einer Solarzelle

**Zu 3.4. Schülerexperiment zur Untersuchung der Funktionsweise einer Solarzelle**

Anhand eines Arbeitsblattes (Anhang A2) ist in einem Schülerexperiment die Funktionsweise einer Solarzelle nachzuweisen.

**Aufgabenstellung**

- a) Schalte eine Solarzelle mit Spannungsquelle in Durchlassrichtung und miss die Stromstärke!

**Hinweis:** Eine Solarzelle wird in Durchlassrichtung geschaltet, wenn der + Pol der Gleichspannungsquelle (1-3V) mit den als (+) bezeichneten Anschluss der Solarzelle (p-Gebiet), der – Pol der Gleichspannungsquelle mit den als (-) bezeichnet Anschluss (n-Gebiet) verbunden wird.

$$I_{\text{Durchlassrichtung}} = 1,74 \text{ A}$$

- b) Schalte die Solarzelle in Sperrrichtung und miss I!

$$I_{\text{Sperrrichtung}} = 0 \text{ A}$$

- c) Bestrahle eine in Sperrrichtung geschaltete Solarzelle mit Licht und miss  $U_L$  und  $I_K$ !

$$U_L = 0,52 \text{ V}$$

$$I_K = 0,3 \text{ A}$$

$U_L$  nennt man die Leerlaufspannung der Solarzelle,

$I_K$  nennt man die Kurzschlussstromstärke der Solarzelle.

### ***Zu 3.5. Zusammenfassung***

Die Ergebnisse der Unterrichtsstunde:

- Aufbau einer Solarzelle,
- die Funktionsweise einer Solarzelle,
- Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen dem Aufbau und der Funktionsweise von Solarzelle und Halbleiterdiode.

## **Die 4. Stunde: Stromstärke- und Spannungsmessung an der Solarzelle**

### **Ziele der 4. Stunde**

#### ***Die Schülerinnen und Schüler***

- können die elektrischen Kenngrößen einer Solarzelle (Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom, Klemmenspannung, Innenwiderstand) formulieren, benennen und erklären,
- können die Gesetze für die Leerlaufspannung und Kurzschlussströme bei Parallel- bzw. Reihenschaltung von Solarzellen erläutern,
- können Vermutungen über den Zusammenhang von Beleuchtungsstärke und messbarer Leerlaufspannung an Solarzellen formulieren.

<i>Unterrichtsschritte</i>	<i>Aktionsformen Lehrertätigkeiten, Schülertätigkeiten</i>	<i>Medien</i>	<i>Zeit</i>
<b>4.1. Motivation</b> <b>4.2. Einführung der elektrischen Kenngrößen einer Solarzelle</b> - <i>Leerlaufspannung</i> - <i>Klemmenspannung</i> - <i>Kurzschlussstromstärke</i>	UG	Tafel,	10'
<b>4.3. Spannungen und Kurzschlussstromstärke von Solarzellen in Reihenschaltung</b>	Schülerexperiment	Arbeitsblätter, 15 x Jede Gruppe: - 2 Solarzellen - 1 Multimeter	15'
<b>4.4. Spannungen und Kurzschlussstromstärke von Solarzellen in Parallelschaltung</b>	Schülerexperiment	- 1 Lampe - Netzgeräte	15'
<b>4.5. Zusammenfassung</b>	UG		5'

Tab. 4.4: 4. Stunde : Stromstärke und Spannungsmessung an Solarzellen

### **Hinweise zur 4. Stunde**

#### **Zu 4.1. Motivation:**

Solarzellen werden in der Praxis in Solarmodulen zusammengeschaltet. Welche Gesetzmäßigkeiten gelten für die Reihen-, Parallel- bzw. Mixschaltung?

#### **Zu 4.2. Elektrische Kenngrößen einer Solarzelle**

Im Unterrichtsgespräch werden zunächst wesentliche Kenngrößen einer Solarzelle (Spannungsquellen) mit den Schülern erarbeitet. An der Tafel werden wesentliche Informationen festgehalten.

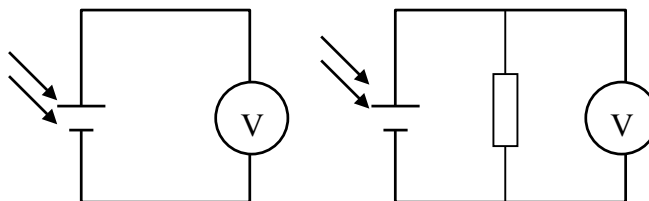


Abb. 4.9: Messung von Leerlaufspannung und Klemmenspannung

- **Leerlaufspannung:** An der Spannungsquelle (Solarzelle) ist kein äußerer Widerstand angeschlossen.

- **Klemmenspannung:** An der Spannungsquelle ist ein äußerer Widerstand (Lastwiderstand) angeschlossen.
- **Kurzschlussstrom:** Wird kein äußerer Widerstand ( $R_L=0$ ) an die Spannungsquelle angeschlossen, so fließt ein Kurzschlussstrom  $I_K$ . Der Kurzschlussstrom wird durch den Innenwiderstand der Spannungsquelle begrenzt.

### **Zu 4.3. Spannungen und Stromstärken von Solarzellen in Reihen- und Parallelschaltungen.**

Im Schülerexperiment sollen die Schüler herausfinden, wie sich die Spannungen und Stromstärken von Solarzellen bei Reihenschaltungen und Parallelschaltungen verhalten. Die Schüler erhalten ein Arbeitsblatt (siehe Anhang A2).

#### **Ergebnis:**

Bei Reihenschaltung gilt:  $U_{ges.} = U_1 + U_2$

Bei Parallelschaltung gilt:  $U_{ges.} = U_1 = U_2$

Bei Reihenschaltung gilt für die Kurzschlussstromstärke:  $I_{ges.} = I_1 = I_2$

Bei Parallelschaltung gilt:  $I_{ges.} = I_1 + I_2$

Bei der Herstellung von Solarmodulen werden vorrangig Mixschaltungen (binäre Schaltung) (Abb. 4.10) verwendet.

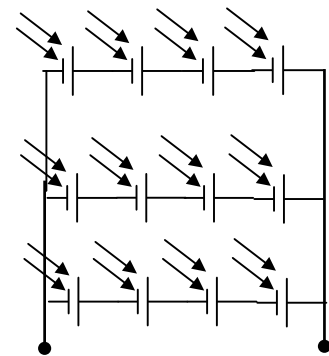


Abb. 4.10: Mixschaltung

### **Zu 4.5. Zusammenfassung**

- Erläutere anhand einer Schaltskizze die Begriffe Leerlaufspannung, Klemmenspannung, Kurzschlussstromstärke!
- Wie lauten die Gesetzmäßigkeiten für die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke bei Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen?
- Wie kann man eine 24V-5A Solaranlage aufbauen? Es stehen nur 0,4V-0,1A Solarzellen zur Verfügung. Wie viele Solarzellen brauchst du?

### **Die 5. Stunde: Einfluss der Beleuchtungsstärke auf Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke einer Solarzelle**

#### **Ziele der 5. Stunde**

#### **Die Schülerinnen und Schüler**

- können Vermutungen über den Zusammenhang von Beleuchtungsstärke und messbarer Leerlaufspannung an Solarzellen formulieren,
- können Vermutungen über den Zusammenhang von Beleuchtungsstärke und messbarer Kurzschlussstromstärke an Solarzellen formulieren,
- können selbstständig ihre Vermutung experimentell überprüfen.

<i>Unterrichtsschritte</i>	<i>Aktionsformen Lehrertätigkeiten, Schülertätigkeiten</i>	<i>Medien</i>	<i>Zeit</i>
<b>5.1. Motivation</b>	UG	Tafel,	5'
<b>5.2. Einfluss der Beleuchtungsstärke auf Leerlaufspannung einer Solarzelle</b>	Schülerexperiment	Arbeitsblätter, 15 x Jede Gruppe: - 1 Solarzelle	20'
<b>5.3. Einfluss der Beleuchtungsstärke auf Kurzschlussstromstärke einer Solarzelle</b>		- 1 Multimeter - 1 Lampe - 1 Lineal - Netzgeräte	15'
<b>5.4. Zusammenfassung</b>	UG		5'

Tab. 4.5: 5. Stunde : Stromstärke- und Spannungsmessung an Solarzellen

### **Zu 5.1. Motivation:**

Zu Beginn dieses Unterrichtsabschnittes wird mit den Schülern erarbeitet, welche Größen einen Einfluss auf die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke haben könnten (Beleuchtungsstärke, Lichtwellenlänge, bestrahlte Solarzellenfläche, Einfallswinkel der Lichtstrahlung, Außentemperatur). In der 4. Stunde erarbeiten die Schülerinnen und Schüler den Zusammenhang zwischen an der Solarzelle gemessener Kurzschlussstromstärke, Leerlaufspannung und Beleuchtungsstärke. Die anderen Zusammenhänge werden in der nächsten Stunde untersucht.

### **Zu 5.2. Der Einfluss der Beleuchtungsstärke auf die Kurzschlussstromstärke einer Solarzelle**

- Die Schüler werden aufgefordert, eine Vermutung über einen möglichen Zusammenhang von Beleuchtungsstärke und der an einer Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung zu formulieren.



**Hypothese:** Je größer die Beleuchtungsstärke ist, um so größer sind die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke an der Solarzelle.

Mit den Schülern wird erarbeitet, wie die Hypothese experimentell überprüft werden kann. Es können zwei Varianten durchgeführt werden:

- Änderung der Entfernung zwischen Solarzelle und Lampe
- Erhöhen der Anzahl von Lampen.

Mit Hilfe des Handouts und der Experimentiergeräte zum Schülerversuch wird von den Schülern die Hypothese überprüft.

### **Zusammenfassung**

Stelle in einem Diagramm die Abhängigkeit der Leerlaufspannung von der Beleuchtungsstärke dar!

**Zu 5.3. Einfluss der Beleuchtungsstärke auf die Kurzschlussstromstärke einer Solarzelle** (Ähnlich wie 5.2)

## **Die 6. Stunde: Einfluss der bestrahlten Solarzellenfläche und des Einfallswinkels auf Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke**

### **Ziele der 6. Stunde**

#### **Die Schülerinnen und Schüler**

- wissen, dass die Leerlaufspannung um so größer ist, je größer die Solarzellenfläche ist,
- wissen, dass bei senkrechtem Einfall auf die Solarzellenfläche die größte Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke gemessen wird,
- können Hypothesen zu den zu untersuchenden Zusammenhängen formulieren
- können selbstständig Experimentieranordnungen zu den untersuchenden Zusammenhängen planen.

<i>Unterrichtsschritte</i>	<i>Aktionsformen Lehrertätigkeiten, Schülertätigkeiten</i>	<i>Medien</i>	<i>Zeit</i>
<b>6.1. Zusammenhang von bestrahlter Solarzellenfläche und Leerlaufspannung, Kurzschlussstromstärke</b>	Schülerexperiment	Arbeitsblätter, 15x jede Gruppe -1 Solarzelle - 1 Multimeter	20'
<b>6.2. Zusammenhang zwischen Einfallswinkel der Lichtstrahlung, Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke</b>	Schülerexperiment	- 1 Lampe - Karton - Netzgeräte	20'
<b>6.4. Zusammenfassung</b>			5'

Tab. 4.6: Zeitplan zur 6. Stunde

**Hinweise zur 6. Stunde:****Zu 6.1. Zusammenhang von bestrahlter Solarzellenfläche und Leerlaufspannung**

Zur Motivation wird auf die Zusammenstellung der Größen, die einen Einfluss auf die elektrischen Größen einer Solarzellen haben können, der letzten Stunde zurückgegriffen. Die Schüler werden zunächst aufgefordert eine Vermutung aufzustellen, welcher Zusammenhang zwischen der Solarfläche und der gemessenen Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke bestehen könnte.

Anhand eines Arbeitsblattes und der Materialien für das Schülerexperiment sollen die Schüler ihre Hypothese selbstständig überprüfen.

**Erkenntnis:** Je größer die bestrahlte Solarzellenfläche ist, um so größer ist die Leerlaufspannung.

**Zu 6.2. Zusammenhang zwischen Einfallswinkel und Leerlaufspannung**

Die Schüler werden aufgefordert, eine Vermutung zu begründen, welcher Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel der Lichtstrahlung und der gemessenen Leerlaufspannung, Kurzschlussstromstärke bestehen könnte.

**Erkenntnis:** Fällt das Licht der Experimentierlampe senkrecht auf die Solarzelle, so wird an der Solarzelle die größtmögliche Leerlaufspannung als auch Kurzschlussstrom gemessen.

**Zu 6.3. Zusammenfassung**

- Welcher Zusammenhang besteht zwischen den elektrischen Größen Leerlaufspannung, Kurzschlussstromstärke und der bestrahlter Solarzellenfläche?
- Bei welchem Einfallswinkel der Lichtstrahlung erreicht die Solarzelle die größten elektrischen Messwerte (Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke)?
- Erläutere den Einfluss der Außentemperatur auf die Leistung einer Solarzelle!

**Die 7. Stunde: Die belastete Solarzelle****Ziele der 7. Stunde****Die Schülerinnen und Schüler**

- kennen den Einfluss des Außenwiderstandes (Belastung) auf die Solarzelle,
- können die maximale Leistung einer Solarzelle bestimmen,
- können den Einfluss der Außentemperatur auf die Leistung einer Solarzelle formulieren,

<i>Unterrichtsschritte</i>	<i>Aktionsformen, Lehrertätigkeiten, Schülertätigkeiten</i>	<i>Medien</i>	<i>Zeit</i>
<b>7.1. Motivation(Problemstellung) Einfluss des Außenwiderstandes (Belastung) auf die Klemmenspannung und den Solarstrom einer Solarzelle</b>	UG, Demonstrations- experiment	1 Solarzelle 2 Multimeters 1 Widerstand	10
<b>7. 2. Ermittlung der maximalen Leistung einer Solarzelle</b>	Demonstrationsexperiment	1 Thermometer Netzgeräte	15'
<b>7.3. Einfluss der Außertemperatur auf die Leistung einer Solarzelle</b>	Demonstrationsexperiment		15
<b>7.4 Zusammenfassung</b>	UG	Tafel	5

Tab. 4.7: 7.Stunde: Die belastete Solarzelle

**Hinweise zur 7. Stunde: Die belastete Solarzelle****Zu 7.1. Problemstellung:**

Betätigt man bei eingeschaltetem Licht den Anlasser eines PKWs, so leuchten die Lampen der Scheinwerfer etwas weniger hell. Der Anlasser benötigt elektrische Energie, die

den Lampen beim Anlassen nicht mehr zur Verfügung steht. Trifft diese Erscheinung auch auf eine Solarzelle zu?

In einem Demonstrationsexperiment wird der Einfluss des Außenwiderstandes auf die Klemmenspannung, den Solarstrom und Leistung einer Solarzelle untersucht.

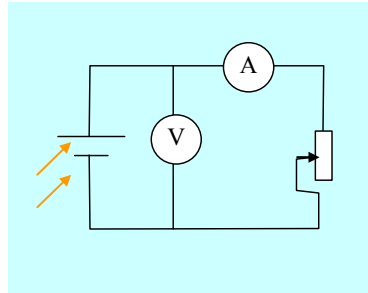


Abb. 4.11: Belastete Solarzelle

**Erkenntnis:** Mit wachsendem Außenwiderstand ändert sich die Klemmenspannung, die Stromstärke und die Leistung der Solarzelle .

### Zu 7.2. Ermittlung der maximalen Leistung einer Solarzelle

Der Begriff der maximalen Leistung (Watt-Peak) hat eine entscheidende Bedeutung für die Errichtung von Photovoltaikanlagen z.B. bei Einfamilienhäusern. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu wissen, wie stark die Anlage bei konstanter Spannung belastet (d.h. wie viele Geräte in Betrieb sind) werden können.

Aus den gemessenen Werten  $U_K$  und  $I$  ist in Abhängigkeit von  $R_a$  die jeweilige Leistung der Solarzelle zu berechnen und in einem  $P$ -  $R_a$ - Diagramm grafisch darzustellen. Es ist die maximale Leistung der Solarzelle zu bestimmen.

### Zu 7.3. Einfluss der Außentemperatur auf die Leistung einer Solarzelle

Ausgehend von der Erkenntnis der Temperaturabhängigkeit des Leitungsvorganges in Halbleitern, wird mit den Schülern eine Hypothese bezüglich des Einflusses der Temperatur auf die Leistung aufgestellt.

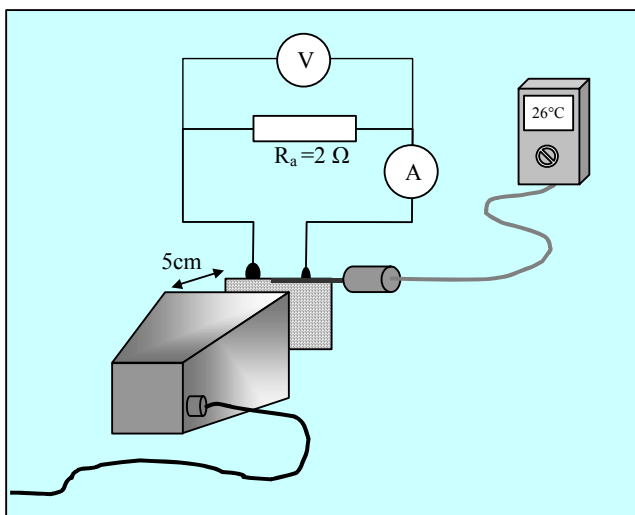


Abb. 4.12: Experimentieranordnung zur Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Leistung einer Solarzelle

In einem Demonstrationsexperiment wird die Hypothese überprüft. Dazu werden folgende Geräte benötigt: Solarzelle, Spannungs- und Strommessgeräte, Lampe, Thermometer. Die Temperatur ist von 20° auf 60° zu erhöhen.

Baue den Versuch nach Schaltplan auf und beleuchte die Solarzelle aus ca. 5cm Entfernung senkrecht zur Halogenlampe. Miss die Temperatur der Solarzellenoberfläche bis 60° C , die Klemmenspannung und den Strom .

$\vartheta$ in °C	20	25	30	35	40	45	50	55	60
I in A	0,27	0,26	0,25	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18
U in V	0,55	0,53	0,50	0,46	0,43	0,41	0,40	0,38	0,37
P in W	2,97	3,45	3,75	3,7	3,78	3,87	4	3,97	4

Tab. 4.8: Gemessene Werte

Die Messwerte sind grafisch darzustellen

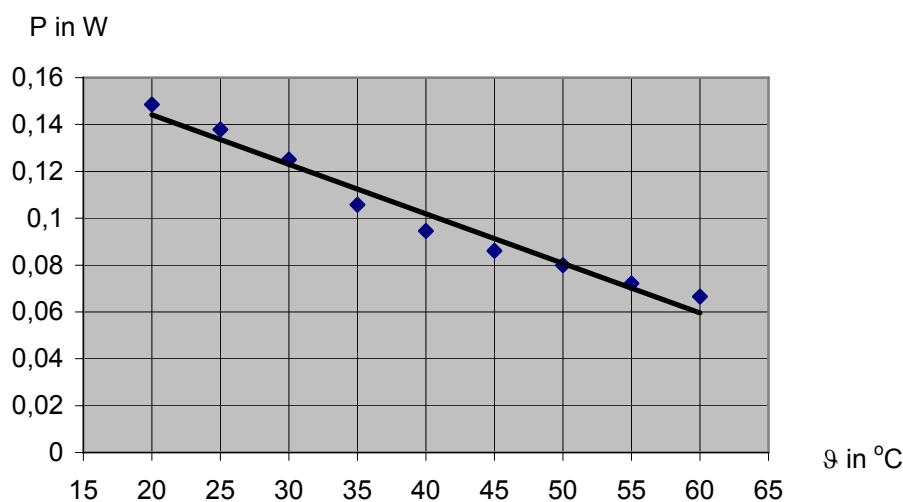


Abb. 4.13: P-  $\vartheta$ -Diagramm

**Ergebnisse:** Je höher die Temperatur einer Solarzelle, desto kleiner die Leistung der Solarzelle.

## Die 8. Stunde: Ökonomische und ökologische Betrachtungen zum Einsatz von Solarzellen

### Ziele der 8. Stunde

#### Die Schülerinnen und Schüler

- können ökonomische und ökologische Betrachtungen zum Einsatz und zur Produktion von Solarzellen durchführen.

<i>Unterrichtsschritte</i>	<i>Aktionsformen, Lehrtätigkeiten, Schülertätigkeiten</i>	<i>Medien</i>	<i>Zeit</i>
<b>8.1. Motivation</b>	UG		5
<b>8.2. Zusammenfassung zum Aufbau und zur Wirkungsweise einer Solarzelle</b>	UG	Tafel, Folie	15'
<b>8.3. Ökonomische und ökologische Betrachtungen zur Produktion von Solarzellen</b>	UG	Handout zur Produktion und zum Einsatz von Solarzellen	20'

Tab. 4.9: 8.Stunde: Ökonomische und ökologische Betrachtungen zur Produktion und zum Einsatz von Solarzellen

### **Hinweise zur 8. Stunde: Ökonomische und ökologische Betrachtungen zum Einsatz von Solarzellen**

#### **Zu 8.1. Motivation:**

Wie viel CO<sub>2</sub> wird von eingespart, wenn die in Aufgabe 2 (siehe Arbeitsblatt im Anhang A2) beschriebene Anlage ein Jahr lang täglich 8 Stunden arbeitet?

#### **Zu 8.2. Ökonomische und ökologische Betrachtungen zur Produktion und zum Einsatz von Solaranlagen**

Anhand eines Handouts werden Berechnungen durchgeführt, die eine ökonomische und ökologische Betrachtung zur Produktion und zum Einsatz der Solarzelle ermöglichen.

#### **Zu 8.3. Zusammenfassung zum Aufbau und zur Wirkungsweise einer Solarzelle**

Folgende Aufgaben sollen von den Schülern beantwortet werden

- Beschreibe den Aufbau einer Solarzelle.
- Erläutere die Wirkungsweise eine Solarzelle.
- Welche Größen haben einen Einfluss auf die elektrischen Größen einer Solarzelle (Solarfläche, Einfallswinkel der Lichtstrahlung, Farbe des Lichts, Außentemperatur, Außenwiderstand).
- Welche Gesetze gelten bei Parallel bzw. Reihenschaltung von Solarzellen für die Leerlaufspannungen und Kurzschlussstromstärke?
- Wie kann die maximale Leistung einer Solarzelle bestimmt werden? Beschreibe eine entsprechende Experimentieranordnung!
- Erläutere die Vorteile und Nachteile des Einsatzes von Solarzellen!

## 4.4 Entwicklung einer Konzeption zur selbstständigen Wissens- und Könnensaneignung

### Methodisch-didaktische Konzeption für die Erprobungsklassen (Lernen an Stationen)

„Lernen an Stationen“ [HEPP 2004] ist eine Form des offenen Unterrichts, bei dem die Schülerinnen und Schüler mehr Eigenaktivität, mehr Eigenverantwortung, größeres dauerhaftes Interesse an der Physik und mehr naturwissenschaftliche Selbstkompetenz entwickeln können.

Das Lernen an Stationen hat seinen Ursprung in der englischen Reformpädagogik zu Beginn des 20. Jahrhunderts und in der Montessoripädagogik. Im Leistungssport wurde 1952 von Morgan und Adamson das Zirkeltraining eingeführt.

Im Physikunterricht haben Lernzirkel einen ähnlichen Charakter wie ein Zirkeltraining im Sportunterricht.

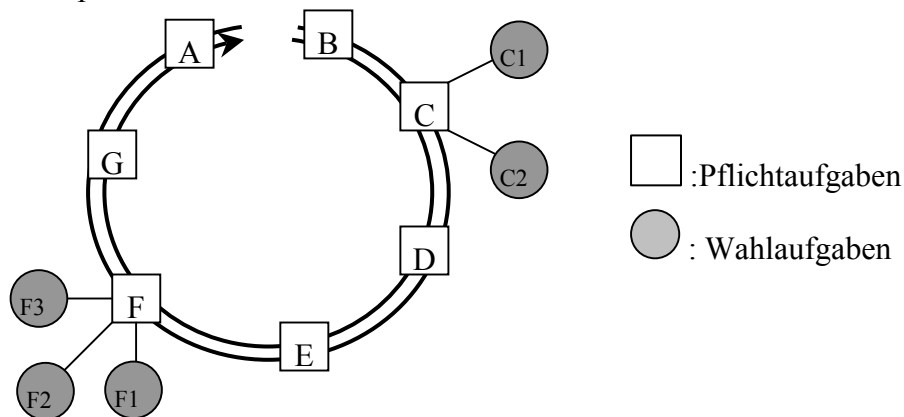


Abb. 4.14: Lernzirkel

Ein Lernzirkel im Physikunterricht besteht aus verschiedenen Stationen. Jede Lernstation beinhaltet einen konkreten Arbeitsauftrag, der verschiedene Aktivitäten beinhalten kann, wie z.B.

- Experimentieren,
- Beobachten,
- Literaturstudium,
- Fragen beantworten,
- Berechnungen anstellen.

Die einzelnen Stationen können Pflicht- und Wahlaufgaben beinhalten. Nach Beendigung des Lernzirkels sollte jeder Schüler alle Stationen bearbeitet haben, wobei die Reihenfolge unwichtig ist.

Für das Lernen an Stationen eignen sich insbesondere experimentelle Methoden. Mit zehn Lernstationen zum Thema "Photovoltaik" sollen die Schüler die folgenden Aufgaben in jeder Station durchführen:

- Problemstellung bzw. Aufgabenstellung,
- Formulierung einer Hypothese (Vermutung),
- Ableiten experimentell prüfbarer Folgerungen aus der Hypothese,
- Planen und Durchführen von Experimenten zur Prüfung der Folgerung bzw. Hypothese
- Deutung der experimentellen Ergebnisse hinsichtlich der Hypothesenbildung.

Im Folgenden werden für den Lehrer Hinweise zur Vorbereitung der Lernstationen, zur Durchführung der Experimente und didaktischen Entscheidungen gegeben.

#### **Allgemeine Hinweise zum Lernstationskonzept:**

- Voraussetzungen für die Durchführung und für den erfolgreichen Einsatz des Lernzirkels „Photovoltaik“ sind Grundkenntnisse über den Leitungsvorgang in Halbleitern, den Aufbau und die Funktionsweise einer Halbleiterdiode.
- Der Lernzirkel „Photovoltaik“ umfasst insgesamt 10 Stationen (Tab. 4.10), d.h. acht Pflicht- und zwei Wahlstationen.

Station	Pflicht/ Wahlstation	Inhalt
01	P_1	Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle
02	P_1	Spannungen an einer Solarzelle
03	P_1	Stromstärke an einer Solarzelle
04	P_2	Einfluss der Beleuchtungsstärke auf eine Solarzelle
05	P_2	Einfluss der Solarzellenfläche auf die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom der Solarzelle
06	P_2	Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom bei unterschiedlichen Einfallswinkeln
07	P_2	Die belastete Solarzelle
08	W_2	Einfluss der Außentemperatur auf die Leistung einer Solarzelle
09	P_2	Anwendung der Solarzelle - ökonomische und ökologische Betrachtungen zur Produktion und zum Einsatz von Solaranlagen
10	W_2	Solaranlagen

Tab. 4.10: Überblick zu den Stationen



Pflichtstation (P): müssen gemacht werden und dienen der Erarbeitung von neuem Stoff bzw. der Festigung und Übung.

Wahlaufgaben(W): dienen der Erweiterung und Vertiefung oder der Wiederholung.

Zu jeder Lernstation existiert für die Schülerinnen und Schüler ein Handout (Anhang A1) sowie eine Musterlösung für die Hand des Lehrers.

### Hinweise zur Einführungsstunde

Für die Einführung in die Photovoltaik eignen sich Gruppendiskussion der Schülerinnen und Schüler über die zukünftige Energiebereitstellung der Menschheit. Wesentliche Argumente für die zukünftige Energiebereitstellung auf Grundlage nichtfossiler Energieträger sind:

- die begrenzten Reserven fossile Energieträger wie z.B. Erdöl, Kohle und Erdgas, (siehe Anhang A2),
- der stetige Anstieg der Weltbevölkerung,
- die Reserven an spaltbarem Uran,
- die Gefährdung des Klimas durch die Verbrennung der fossilen Energieträger.

Als eine nahezu unerschöpfliche Energiequelle steht uns die Sonnenenergie zur Verfügung. Wie ist es möglich, die Energie der Sonnenstrahlung in elektrische Energie umzuwandeln? Als Überraschungsexperiment (Abb. 4.15) und Hinführung zur Photovoltaik eignet sich die Reihenschaltung eines Photowiderstandes, eines Amperemeters und einer Batterie.

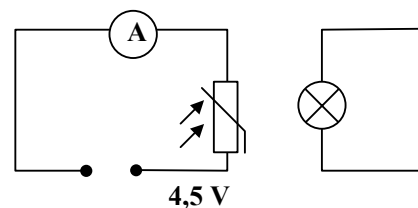
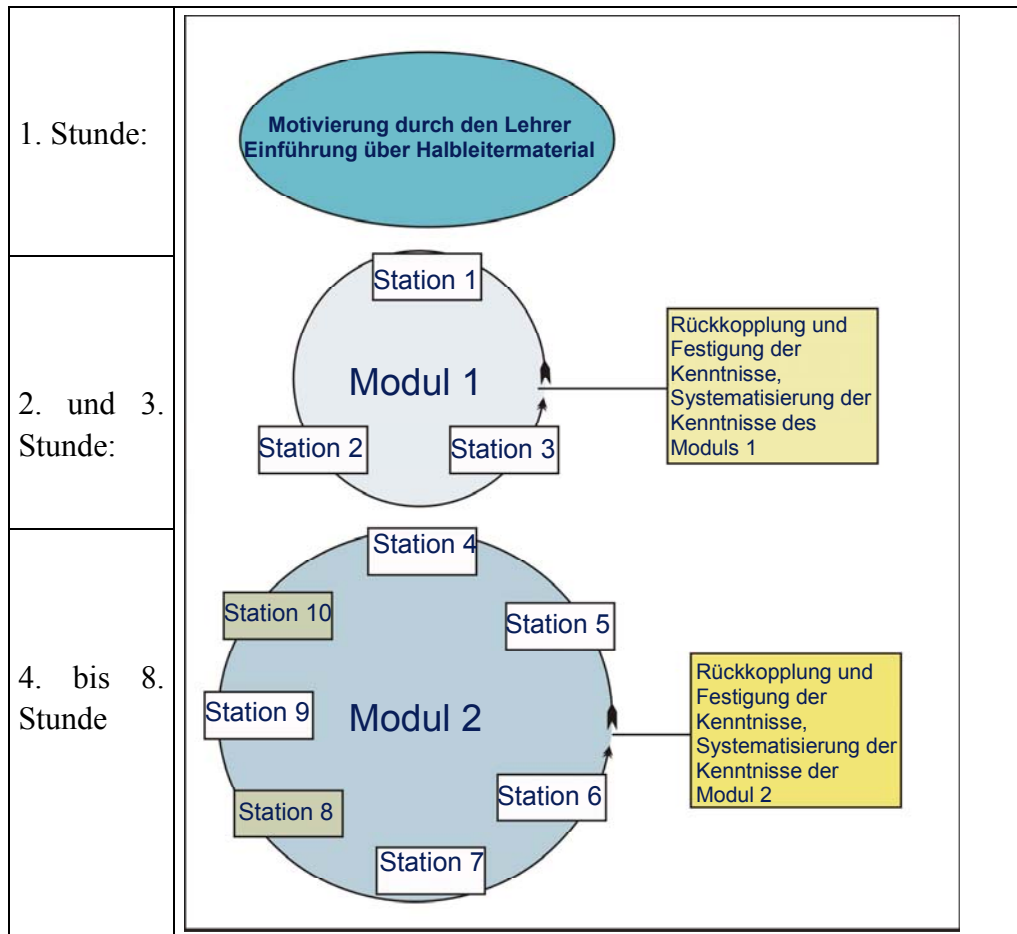


Abb. 4.15: Beeinflussung des Leitungsvorganges in Halbleitern durch Licht

Wird der Photowiderstand beleuchtet, so ein Stromfluss nachweisbar ist, d.h. dass der Leitungsvorgang in Halbleitern ist durch Licht beeinflussbar. Andere Hinweise zur Einführungsstunde wurde in Abschnitt 4.4, Konzeption für den Frontalunterricht (2. Stunde) detailliert beschrieben.

Sollten die Schülerinnen und Schüler über keine Kenntnisse bezüglich des Leitungsvorganges in Halbleitern verfügen, so sind an dieser Stelle zunächst die p- und n-Leitung sowie die Halbleiterdiode zu behandeln. Die Tab. 4.11 gibt einen Überblick über die Reihenfolge der Bearbeitung der 10 Stationen.



Tab. 4.11: Reihenfolge der Bearbeitung der 10 Stationen

## Hinweise zur Station 1: Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle

### Ziele der Station 1

Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig

- Fachtexte zum Aufbau und zur Funktionsweise einer Si-Solarzelle lesen und verstehen,
- Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle beschreiben und darstellen können,
- mit Hilfe der Analogiebetrachtung zwischen einer Solarzelle und einer Halbleiterdiode den Aufbau und die Funktionsweise der Solarzelle experimentell untersuchen,
- Einfache Experimente mit der Solarzelle durchführen mit dem Ziel
  - Eine Solarzelle erfüllt die gleichen Funktionen wie eine Halbleiterdiode.
  - Eine Solarzelle dient als elektrischer Generator (Spannungsquelle).

### Versuch 1: Solarzelle als Halbleiterdiode (Abb. 4.16)

In diesem Versuch funktioniert die Solarzelle wie eine Halbleiterdiode, d.h. die Solarzelle lässt den Strom nur in eine bestimmte Richtung fließen (wenn der Pluspol der Solarzelle mit dem Pluspol der Batterie verbunden ist). Diese Ergebnisse bestätigten den ähnlichen Aufbau von Solarzelle und Halbleiterdiode.

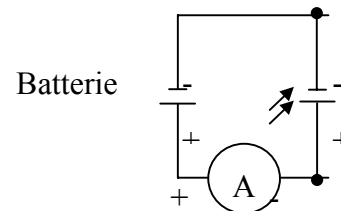
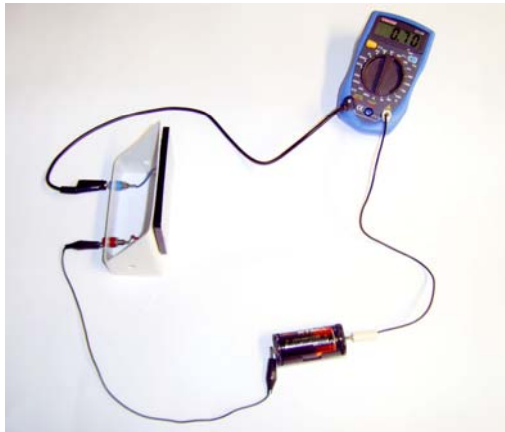


Abb. 4.16: Versuchsaufbau und Schaltkreis

Als Schaltzeichen für eine Solarzelle werden die folgenden Symbole verwendet (Abb. 4.15).

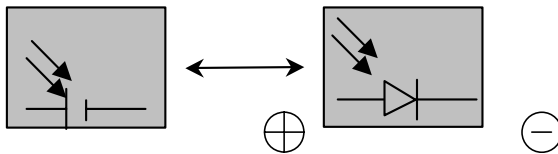


Abb. 4.17: Darstellung einer Solarzelle im Schaltbild

### Informationen für den Lehrer

Für den Fall, dass die Solarzelle in Durchlassrichtung mit der Batterie geschaltet wird, gilt für die gemessene Stromstärke

$$I_{\text{Durchlassrichtung}} = \frac{U_B - U_S}{R_B + R_{SD} + R_M} \quad (4.43)$$

$U_B$ ,  $U_S$  sind Spannungen von Batterie und Solarzelle,

$R_B$ ,  $R_{SD}$  und  $R_M$  sind die Widerstände der Batterie, Solarzelle und Multimeter. Der Widerstand  $R_M$  des Multimeters ist abhängig vom benutzten Messbereich. Es wird empfohlen, den Messbereich 0-10A für die angewendete Multimeter zu nutzen. Die Spannung der in dem Experiment benutzten Batterie  $U_S$  beträgt etwa 1,5- 2 V, während die Spannung der Solarzelle bei normale Licht nur etwa 0,2V beträgt. Auf Grund der Formel 4 erkennen wir, dass die Spannung der Solarzelle in diesem Fall die Nebenrolle spielt. In Sperrrichtung gilt:

$$I_{\text{Sperrichtung}} = \frac{U_B + U_S}{R_B + R_{SP} + R_M} \quad (4.44)$$

Es addieren sich die Spannungen von Batterie und Solarzelle. Der Widerstand  $R_{SS}$  ist in diesem Fall sehr groß. Die Stromstärke in Sperrichtung ist annähernd Null.

### Versuch 2: Solarzelle als Spannungsquelle

In diesem Versuch sollen Schülerinnen und Schüler mit verschiedenen Lichtquellen (z.B. Halogenlampe Abb. 4.18, Sonnenlicht, Neonlicht...) die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke der Solarzelle messen.



Abb. 4.18: Messung von Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung einer Solarzelle

### Hinweise zu Station 2 und Station 3

#### Ziele der Stationen:

Die Schülerinnen und Schüler können selbstständig

- Experimente planen, durchführen und dokumentieren,
- die Gleichungen für die Stromstärke und Spannung bei Parallel- und Reihenschaltung von Solarzellen aus den gemessenen Werten verallgemeinern.

Die Stationen 2 und 3 erlauben ein gleiches methodisches Vorgehen. Die Schülerinnen und Schüler sollen herausfinden, wie Solarzellen einander zu schalten sind, wenn man eine gewünschte Spannung oder Stromstärke braucht.



Abb. 4.19: Richtige Parallelschaltung

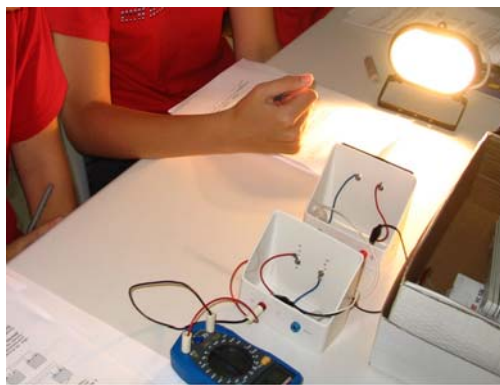


Abb. 4.20: Fehlvorstellung über Parallelschaltung

Mit zwei Solarzellen können die Schülerinnen und Schüler 10 verschiedene Schaltungen (Tab. 4.12) aufbauen und die Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung messen.

Man kann leicht erkennen, dass die Varianten a) und b), c) und f), d) und e) sowie g) und i) ähnlich sind. Die Schülerinnen und Schüler werden bald erkennen, dass bei diesen Varianten die gemessenen Werte gleich sind (nur mit entgegengesetzten Vorzeichen).

Zum Beantworten der Fragestellung brauchen die Schülerinnen und Schüler nur sechs Messungen durchzuführen.

Bei leistungsschwachen Schülerinnen und Schülern können die Schaltkreise für Reihenschaltung c) und Parallelschaltung g) vorgegeben werden.

#### Zusatzinformation für den Lehrer:

Wenn zwei Solarzellen in Reihe geschaltet werden, gelten nach dem Ohmschen Gesetz folgende Zusammenhänge:

$$I = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2 + R_{M1}}, U = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2 + R_{M2}}, R_M = \frac{U_1 + U_2}{\frac{R_1 + R_2}{R_{M2}} + 1} \quad (4.45)$$

Bei der Stromstärkemessung soll der Widerstand des Multimeters  $R_{M1}$  so klein wie möglich ( $R_1 + R_2 \gg R_{M1}$ ) und bei Spannungsmessung  $R_{M2}$  so groß wie möglich ( $R_1 + R_2 \ll R_{M2}$ ) sein.

Die Widerstände der Solarzellen sind fast gleich  $R_1 \approx R_2$ . Es gilt

$$I = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2} \approx \frac{U_1}{2R_1} + \frac{U_2}{2R_2} = \frac{I_1 + I_2}{2} \approx I_1 \approx I_2, \quad (4.46)$$

$$U = \frac{U_1 + U_2}{0+1} = U_1 + U_2$$

$I = I_1 = I_2$  nur wenn  $U_1 = U_2$  und  $R_1 = R_2$ .

Bei der Parallelschaltung:

$$I = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}{1 + \frac{R_{M1}}{R_1} + \frac{R_{M1}}{R_2}}, U = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}{1 + \frac{R_{M1}}{R_1} + \frac{R_{M2}}{R_2}} \cdot R_{M2} = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}{\frac{1}{R_{M2}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \quad (4.47)$$

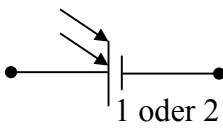
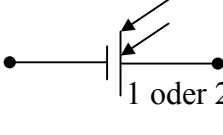
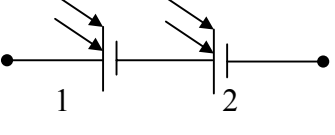
Wenn  $R_{M2} \gg R_1 \approx R_2 \gg R_{M1}$ :

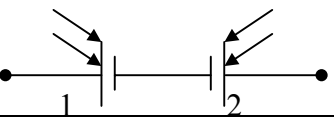
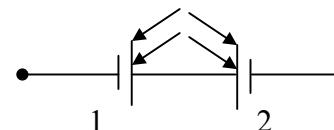
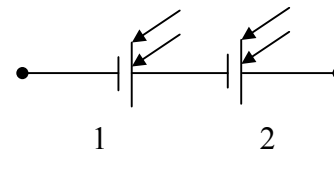
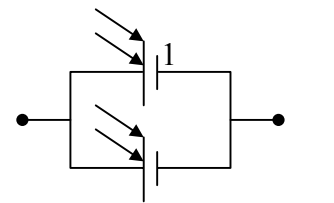
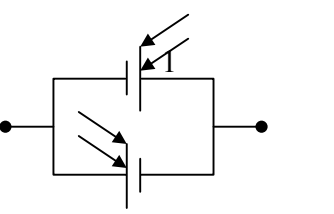
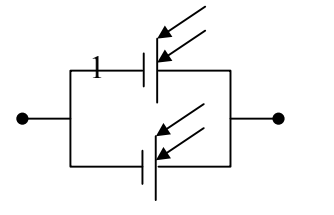
$$I = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}{1 + \frac{R_{M1}}{R_1} + \frac{R_{M1}}{R_2}} \approx \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} = I_1 + I_2, \quad (4.48)$$

$$U = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}{\frac{1}{R_{M2}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \approx \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \approx \frac{U_1 + U_2}{2} \approx U_1 \approx U_2 \quad (4.49)$$

Auf der Grundlage dieser Herleitungen können folgende Hinweise für die Durchführung der Experimente gegeben werden:

- Die Solarzellen müssen in gleicher Entfernung zur Lichtquelle stehen, um  $U_1 = U_2$  zu bekommen,
- Der Messbereich des Strommessers soll groß wie möglich (hier 0-10A) sein.
- Der Messbereich der Spannung soll so klein wie möglich (hier 0-20V) sein.

	Möglichkeiten	Spannungen	Stromstärke
a)		$U = U_1$ $U = U_2$	$I = I_1$ $I = I_2$
b)		$U = -U_1$ $U = -U_2$	$I = -I_1$ $I = -I_2$
c)		$U = U_1 + U_2$	$I = I_1 = I_2$ Oder $I = (I_1 + I_2)/2$

d)		$U =  U_1 - U_2  \sim 0$	$I = 0$ oder $I =  I_1 - I_2  / 2 \sim 0$
e)		$U =  U_1 - U_2  \sim 0$	$I = 0$ oder $I =  I_1 - I_2  / 2 \sim 0$
f)		$U = -U_1 - U_2$	$I = -I_1 = -I_2$ Oder $I = -(I_1 + I_2)/2$
g)		$U = U_1 = U_2$ Oder $U = (U_1 + U_2)/2$	$I = I_1 + I_2$
h)		$U =  U_1 - U_2  \sim 0$	$I = 0$ oder $I = 2 I_1 - I_2  \sim 0$
i)		$U = -U_1 = -U_2$ Oder $U = -(U_1 + U_2)/2$	$I = -I_1 - I_2$

Tab. 4.12: Zusammenfassung der Schaltungen von zwei Solarzellen

**Hinweise zur Station 4****Ziele der Station 4**

Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig

- Hypothesen über den Zusammenhang zwischen Leerlaufspannung, Kurzschlussstromstärke und Beleuchtungsstärke des Lichts an einer Solarzelle formulieren,
- Experimente zur Überprüfung der Hypothese planen, aufbauen und durchführen,
- Ergebnisse der Experimente grafisch darstellen und auswerten.

## Hinweise für den Lehrer zu den experimentellen Untersuchungen

### a) Hinweise zur Beleuchtungsstärkemessung

Für die experimentellen Untersuchungen der Abhängigkeit der elektrischen Eigenschaften von der Beleuchtungsstärke gibt es verschiedene Möglichkeiten. Am einfachsten ist die Veränderung der Entfernung zwischen der Solarzelle und der Lichtquelle [VOLKMER 2003]. Hier wird das Abstandsgesetz

$$E \sim \frac{1}{d^2} \quad (4.50)$$

herangezogen, das für punktförmige Lichtquellen gilt. Die andere experimentelle Möglichkeit wird von DAHNCKE [RAINER 1996] vorgeschlagen, in dem die Beleuchtungsstärke durch die Veränderung der Anzahl der Lampen variiert wird.

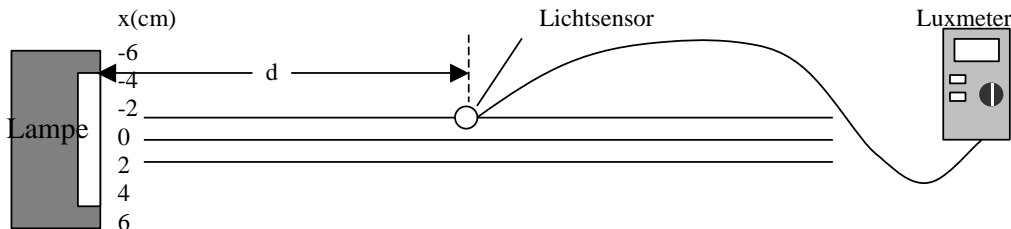


Abb. 4.21: Versuchsskizze zur Messung der Beleuchtungsstärke einer Lampe

Diese Möglichkeit widerspricht der Alltagserfahrung der Schüler, die bereits wissen, dass die Anzahl der Sonnen nicht verändert werden kann.

x\d	8cm	10cm	12cm	14cm	16cm	18cm	20cm	22cm	24cm	26cm	28cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
-6cm	1,38	1,24	1,02	0,93	0,71	0,56	0,50	0,40	0,38	0,37	0,31	0,28	0,27	0,20	0,15	0,15
-4cm	1,68	1,34	1,19	1,00	0,81	0,61	0,50	0,42	0,41	0,38	0,32	0,29	0,28	0,20	0,16	0,16
-2cm	1,98	1,54	1,23	1,03	0,88	0,69	0,53	0,43	0,42	0,38	0,34	0,30	0,29	0,20	0,16	0,16
0cm	1,99	1,51	1,26	1,06	0,82	0,65	0,55	0,47	0,42	0,38	0,33	0,31	0,30	0,21	0,17	0,15
2cm	1,99	1,52	1,27	1,00	0,81	0,65	0,56	0,45	0,42	0,37	0,34	0,30	0,29	0,20	0,16	0,16
4cm	1,69	1,35	1,20	1,05	0,87	0,64	0,55	0,44	0,41	0,35	0,32	0,29	0,28	0,20	0,16	0,16
6cm	1,38	1,25	1,03	0,94	0,72	0,52	0,50	0,40	0,38	0,37	0,31	0,28	0,27	0,20	0,15	0,15

Tab. 4.13: Beleuchtungsstärke, E[in lux] einer Halogenlampe in Abhängigkeit vom Abstand d [in cm]

Beim Lernen an Stationen sollen die Schülerinnen und Schüler selbstständig mit vorgelegten Materialien Versuche planen und durchführen. Die Versuchsdurchführung soll deshalb so einfach wie möglich sein. Als Lichtquelle wurde beim Lernen an Stationen eine Halogenlampe genutzt. Die Halogenlampe ist keine punktförmige



Lichtquelle. Es ist daher notwendig, Messungen zur Beleuchtungsstärke (Abb. 4.21) der Halogenlampe durchzuführen. Die Beleuchtungsstärkemessung wurde mit einem Luxmeter durchgeführt.

Die Auswertung der Messdaten (Abb. 4.22) mit Hilfe des Computers ergab, dass das graphische Abstandsgesetz annähernd für die Halogenlampe gilt. Der Exponent des Abstandes beträgt nicht 2, sondern nur 1,627. Für diese Halogenlampe gilt

$$E \sim \frac{1}{d^{1,627}} \quad (4.51)$$

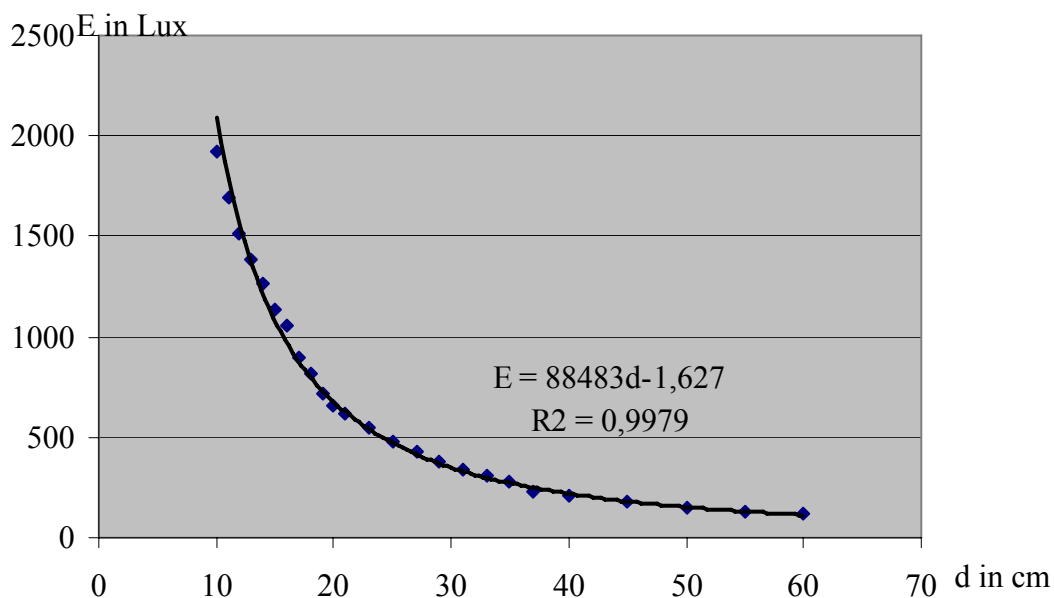


Abb. 4.22: Beleuchtungsstärke-Abstandsgesetz einer Halogenlampe

### b) Hinweise zur Hypothesenbildung

Aufgrund der Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler über Energieumwandlungen sind sie in der Lage, mögliche Zusammenhänge zwischen Beleuchtungsstärke und Leerlaufspannung sowie Kurzschlussstromstärke zu formulieren. Aus den Alltagserfahrungen ist den Lernenden bekannt, dass die Strahlung um so stärker ist, je näher man sich der Lichtquelle annähert.

### c) Hinweise zum experimentellen Nachweis des Zusammenhangs zwischen den elektrischen Größen einer Solarzelle ( $U_L$ , $I_K$ ) und der Beleuchtungsstärke $E$

Die folgenden Messdaten (Tab. 4.14) zeigen den unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke  $E$  und der Kurzschlussstromstärke  $I_K$ .

d(cm)	E (lux)	$U_L$ (V)	$I_K$ (A)
10		0,54	0,75
15	1900	0,52	0,45
20	1200	0,49	0,29
25	808	0,47	0,19
30	621	0,46	0,14
35	478	0,44	0,11
40	375	0,42	0,09
45	307	0,41	0,07
50	260	0,39	0,06
55	229	0,38	0,05
60	201	0,37	0,03

Tab. 4.14: Messwerte zur Beleuchtungsstärke  $E$ , Leerlaufspannung  $U_L$  und Kurzschlussstromstärke  $I_K$

#### d) Hinweise zur Kurzschlussstromstärke als Linearfunktion der Beleuchtungsstärke

Aus Gleichung 3.33 ergibt sich, dass  $I_K = I_L = eG(L_n + L_p + d)$  ist, d.h. der Kurzschlussstrom ist gleich dem absoluten Betrag des lichtgenerierten Stromes. Je mehr Photonen auf die Solarzelle einfallen, desto größer ist die Anzahl der freien Elektronen sowie erzeugte Löcher. Es gilt

$$I \sim \Phi, \text{ mit } \Phi = E \cdot A \quad (4.52)$$

$\Phi$ : Lichtstrom,  $A$ : Oberfläche. Da die Oberfläche der Solarzelle im Experiment konstant bleibt, erhält man eine lineare Funktion  $I_L = f(E)$ . Diese Überlegungen wurden mit Hilfe der Messdaten und einer Excel- Auswertung bestätigt (Abb. 4.23). Es ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$I_L = 2 \cdot 10^{-5} \left( \frac{A}{\text{lux}} \right) \cdot E \quad (4.53)$$

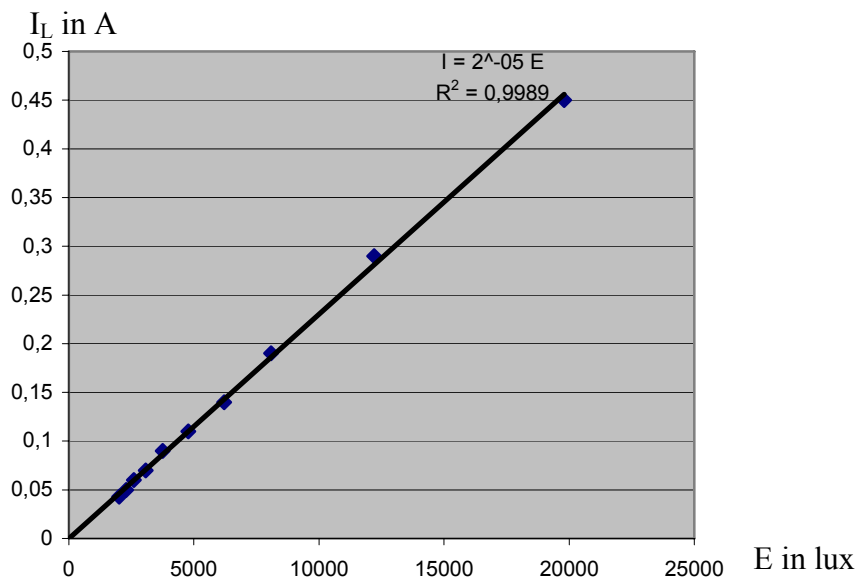


Abb. 4.23:  $I_L - E$  Diagramm

### e) Hinweise zur Leerlaufspannung $U_L$ als logarithmischer Funktion der Beleuchtungsstärke

Allgemein gilt:  $U_L = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_{Li}}{I_o} + 1\right)$  (Gleichung (3.34))

Da der Photostrom  $I_{ph}$  linear von der Beleuchtungsstärke  $E$  abhängig ist, nimmt die Leerlaufspannung  $U_L$  logarithmisch zu. Die Leerlaufspannung  $U_L$  erreicht schon bei geringer Beleuchtungsstärke ihren Maximalwert von annähernd 0,6 V. Die Leerlaufspannung einer beleuchteten Solarzelle verhindert zugleich eine weitere Diffusion von Ladungsträgern, da ihr elektrisches Feld der weiteren Diffusion bei p-n – Übergang entgegenwirkt.

Die mathematische Funktion  $U = f(E)$  kann aus dem Abb. 4.24 mit dem Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,994$  ermittelt werden.

$$U_K = 0,07 * \ln(E) - 0,161 \quad (4.54)$$

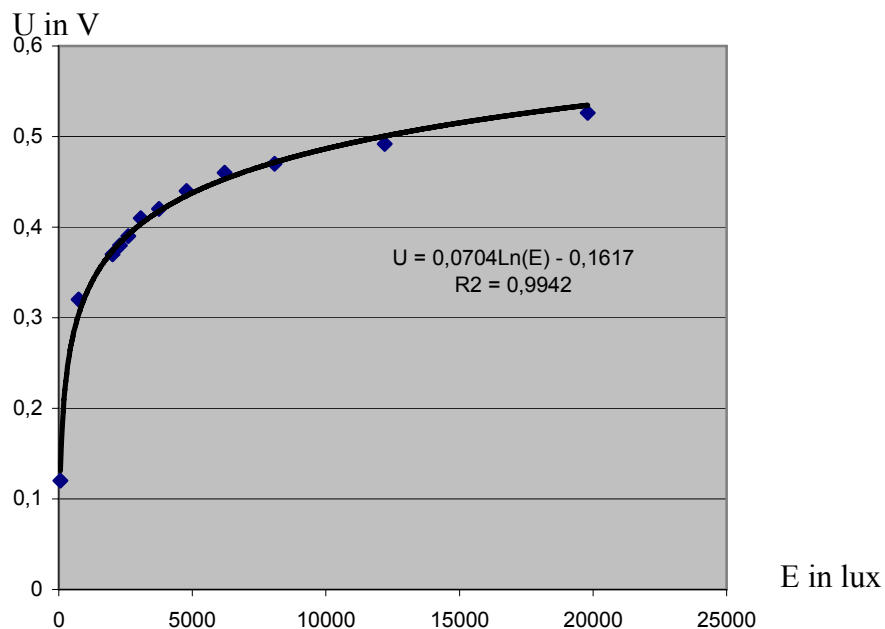


Abb. 4.24:  $U_L - E$  Diagramm

Die Schülerinnen und Schüler sollen die gemessenen Werten nicht als eine Logarithmusfunktion interpretieren, sondern nur halbqualitativ erläutern.

### Hinweise zur Station 5: Einfluss der Solarzellenfläche auf die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom der Solarzelle

#### Ziele der Station 5

Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig

- Hypothesen über den Einfluss der Solarzellenfläche auf die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom der Solarzelle formulieren,
- Experimente planen, aufbauen und durchführen,
- Ergebnisse der Experimente grafisch darstellen und interpretieren.

Der Lichtstrom  $\Phi$  ist proportional zur Oberfläche  $A$ , wenn die Beleuchtungsstärke konstant bleibt (Gleichung (4.52)). Aus der Tab. 4.13 kann man erkennen, dass bei einer Entfernung von etwa 30 cm die Beleuchtungsstärke auf der gesamten Solarzellenfläche konstant ist. Bei dieser Entfernung ist die Abhängigkeit der Leerlaufspannung  $U_L$  und der Kurzschlussstrom der Solarfläche zu untersuchen.

Die bestrahlte Solarzellenoberfläche kann dadurch variiert werden, dass die Solarzelle mit Papier ( $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  und total) bzw. schrittweise in Zentimeterbreite abgedeckt wird.

### Hinweise zur Station 6: Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom bei unterschiedlichem Einfallswinkel

#### Ziele der Station 6

Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig

- Hypothesen über den Zusammenhang zwischen den Einfallswinkeln des Lichtes und dem Kurzschlussstrom, der Leerlaufspannung der Solarzelle formulieren,
- Experimente planen, aufbauen und durchführen,
- Ergebnisse der Experimente grafisch darstellen und interpretieren.

Für den Fall, dass die Lichtstrahlung nicht senkrecht auf die Oberfläche der Solarzelle fällt (Abb. 4.25), ist die Gleichung (4.52) wie folgt zu verändern

$$\Phi = E \cdot A_S = E \cdot A \cdot \sin \alpha \quad (4.55)$$

$\alpha$ : Einfallswinkel,

$A$ : Solarzellenfläche bei senkrechtem Einfall der Lichtstrahlung

$A_S$ : bestrahlte Fläche bei nicht senkrechtem Einfall der Lichtstrahlung

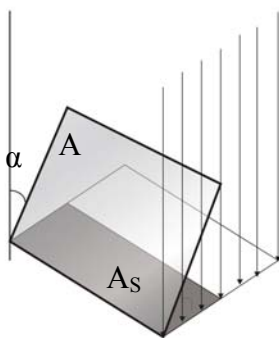


Abb. 4.25: Änderung der bestrahlten Fläche bei nicht senkrechtem Einfall der Strahlung.

In diesem Versuch sollen Beleuchtungsstärke des Lichts und Fläche  $A$  der Solarzelle konstant gehalten werden. Die Abstände zwischen Solarzellen und Halogenlampe sollen

nämlich größer als 30 cm sein. Der Einfallswinkel  $\alpha$  kann mit verschiedenen Methoden verändert werden. Die Schülerinnen und Schüler können entweder die Solarzelle festhalten und die Halogenlampe bewegen oder umgekehrt.

Mit Hilfe der gemessenen Werte (siehe Musterlösung in Anhang A1) sollen die Schülerinnen und Schüler ein Diagramm zeichnen und die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke als eine Sinusfunktion des Einfallswinkels erkennen.

Im Idealfall sollen diese Versuche im dunklen Raum mit parallelem Licht durchgeführt werden, um Störungen von anderen Lichtquellen zu vermeiden.

### Hinweise zur Station 7: Die belastete Solarzelle

#### Ziele der Station 7

Die Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig:

- mit Fachtexten arbeiten,
- Experimente planen, durchführen und dokumentieren, um einen Zusammenhang zwischen der Leistung der Solarzelle und dem Außenwiderstand (Belastung) zu erfassen,

Wenn bei einer normalen Batterie der innere Widerstand  $r$  konstant bleibt und an einem veränderlichen Widerstand  $R$  angeschlossen wird, aus den Gleichungen  $P=U \cdot I= R \cdot I^2$  und  $I = U / (R+r)$  ergibt sich:

$$P = R \cdot \left(\frac{U}{R+r}\right)^2 = U^2 \frac{R}{(R+r)^2} \leq \frac{U^2}{4r} \quad (4.56)$$

Die maximale Leistung beim Außenwiderstand wird erreicht, wenn  $R = r$ .

Da der Widerstand der Solarzelle nicht konstant ist, kann die maximale Leistung einer Solarzelle nicht mit dieser Gleichung hergeleitet werden.

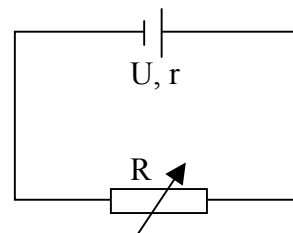


Abb. 4.26: Schaltung mit normaler Batterie

Bei dieser Station sollen die Schülerinnen und Schüler die maximale Leistung der Solarzelle und den entsprechenden Widerstand bestimmen.

Der innere Widerstand der Solarzelle ist abhängig von der Beleuchtungsstärke des Lichts, deshalb muss der Abstand zwischen der Halogenlampe und der Solarzelle konstant bleiben.

Der Außenwiderstand soll im Größenbereich des inneren Widerstandes der Solarzelle (ca. 10  $\Omega$ ) sein.

## **Hinweise zur Station 8: Einfluss der Außentemperatur auf die Leistung einer Solarzelle**

### ***Ziele der 8. Station***

Die Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig:

- Hypothesen über den Einfluss der Außentemperatur auf die Leistung der Solarzelle formulieren,
- Experimente planen, aufbauen und durchführen,
- Ergebnisse der Experimente grafisch darstellen und formulieren.

Bei Formulierung einer Hypothese ergeben sich große Schwierigkeiten, die wie folgt zu begründen sind:

- Die Schülerinnen und Schüler glauben, dass die Temperatur proportional zum Lichtstrom ist.
- Schülerinnen und Schüler haben schon erfahren, dass der Widerstand der Halbleitermaterialien umgekehrt proportional zur Temperatur ist.

Ausgehend von diesen zwei Vorstellungen, vermuten die Schülerinnen und Schüler, dass die Außentemperatur proportional zur Leistung der Solarzelle ist.

Dieser Versuch bietet eine Möglichkeit, solche Vorstellungen durch experimentelle Ergebnisse zu korrigieren. Die grundlegenden Zusammenhänge wurden im Abschnitt 3.5.3 dargestellt.

Die Schülerinnen und Schüler sollen die Leistung der Solarzelle durch die Messungen von Klemmenspannung und Stromstärke bei verschiedenen Temperaturen bestimmen.

Die einfachste Möglichkeit die Temperatur der Solarzelle zu erhöhen besteht darin, die Solarzelle sehr nahe an die Halogenlampe (ca. 5cm) zu stellen. Durch die hohe Leistung der Halogenlampe (150 W) erwärmt sich die Solarzelle sehr rasch. Die Messungen können für etwa 10 Minuten durchgeführt werden.

## **Hinweise zur Station 9: Anwendung der Solarzelle - ökonomische und ökologische Betrachtungen zur Produktion und zum Einsatz von Solaranlagen**

### ***Ziele der Station 9***

Die Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig:

- Kenntnisse über die Solarzelle bei der Lösung von Aufgaben und Problemstellungen anwenden,
- technische Anwendungen der Solarzelle im Alltag aus physikalischer Sicht interpretieren,

- ökonomische und ökologische Daten zur Produktion und zum Einsatz von Solaranlagen auswerten.

Die Station 9 besteht aus sechs verschiedenen Aufgabenstellungen, die die Schülerinnen und Schüler mit Hilfe des Handouts lösen sollen. Danach kontrollieren sie sich selbst mit Hilfe von Musterlösungen.

### Hinweise zur Station 10: Solaranlagen

#### Ziele der Station 10

Die Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig:

- Kenntnisse über die Solarzelle zur Lösung von Aufgaben und Problemen anwenden,
- technische Anwendungen aus physikalischer Sicht erläutern.
- Schaltungen für Solaranlagen entwickeln.

Es werden den Schülerinnen und Schülern folgende konkrete alltagsorientierte Aufgaben gestellt.

**a), „Es stehen nur 6 Solarzellen (0,4V; 0,1A) zur Verfügung. Findet heraus, wie man diese Solarzellen (0,4V; 0,1A) verschalten muss, um eine Solaranlage mit maximaler Stromstärke bzw. Leerlaufspannung zu erhalten?“**

Die Schülerinnen und Schüler sollen ihre Kenntnisse aus den Stationen 2 und 3 verallgemeinern und bei der Lösung der Aufgabenstellung anwenden. Die Lernenden müssen erkennen, dass

- die Solarzellen parallel zu schalten sind, um maximale Stromstärke zu erhalten, und
- um eine maximale Leerlaufspannung zu erreichen, sind die Solarzellen in Reihe zu schalten.

**b) Wie muss man die Solarzellen schalten, um eine Solaranlage (1,2 V; 0,2A) zu erhalten.**

Die Leerlaufspannung der Solaranlage ist dreimal größer als die Leerlaufspannung, die eine Solarzelle liefert. Es sind 3 Solarzellen in Reihe zu schalten. Diese 3 Solarzellen liefern eine Stromstärke 0,1A. Um die Stromstärke zu verdoppeln, sind zwei Stromzweige mit 3 Solarzellen parallel zu schalten (Abb. 4.27).

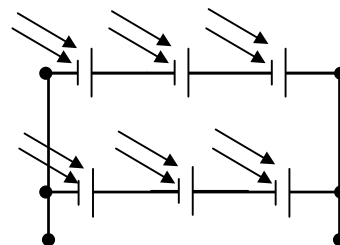


Abb. 4.27: Skizze einer Solaranlage

## 5 Untersuchungsdesign, Testinstrumente Kompetenzdiagnostik

### 5.1 Methodisches Vorgehen zur Entwicklung der Testinstrumente

Ein wesentliches Ziel der Arbeit bestand darin, herauszufinden, ob die Schülerinnen und Schüler in der Lage sind, sich selbstständig Kenntnisse über Aufbau, Funktion und Anwendungsgebiete der Solarzelle anzueignen sowie experimentelle Untersuchungen zu funktionellen Abhängigkeiten einer Solarzelle durchzuführen.

Um diese Fragen zu beantworten, wurden zwei Lernkonzepte (A und B) entwickelt, deren wesentlichen Zielstellungen, Medien und Unterrichtszeiten identisch waren. Der Unterschied zwischen den beiden Konzeptionen besteht in der didaktisch-methodischen Unterrichtsgestaltung.

#### **Konzeption A (Kontrollklassen)**

In der Konzeption A wurde ein traditioneller Frontalunterricht mit Lehrervorträgen, Unterrichtsgesprächen und Schülerexperimenten durchgeführt. Die Wissensaneignung erfolgte vorwiegend rezeptiv. Unter Anleitung des Lehrers wurden die Schülerexperimente durchgeführt und die experimentellen Ergebnisse im Unterrichtsgespräch verallgemeinert.

#### **Konzeption B (Untersuchungsgruppe)**

In der Konzeption B eigneten sich die Schülerinnen und Schüler im Lernstationsbetrieb mit Hilfe von Arbeitsblättern, zugehörigen Handouts und Schülerexperimenten Kenntnisse über die Aufbau, der Funktionsweise und den Anwendungsgebieten der Solarzelle selbstständig an. Dabei festigten sie ihre experimentellen Fertigkeiten. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen werden von den einzelnen Gruppen von der gesamten Klasse präsentiert.

### 5.2 Untersuchungsdesign

#### **Prä-Tests:**

Zu Beginn der Untersuchung wurden sowohl in den Kontrollklassen (Frontalunterricht) als auch in den Untersuchungsklassen (Lernstationsbetrieb) folgende Tests durchgeführt:

- Fachwissenstest
- Interessenstest (Abkürzung: int\_phys)
- Lernwirksamkeitstest schulspezifisch (Abkürzung: sw\_schul)
- Lernwirksamkeitstest physikspezifisch (Abkürzung: sw\_phys) durchgeführt.
- Bewertungstest (Pressetest)



Mit Hilfe des Fachwissenstests, der aus 23 Multiple-choice-Fragen bestand, wurden die vorunterrichtlichen Vorstellungen und das Wissen der Probanden über Photovoltaik analysiert.

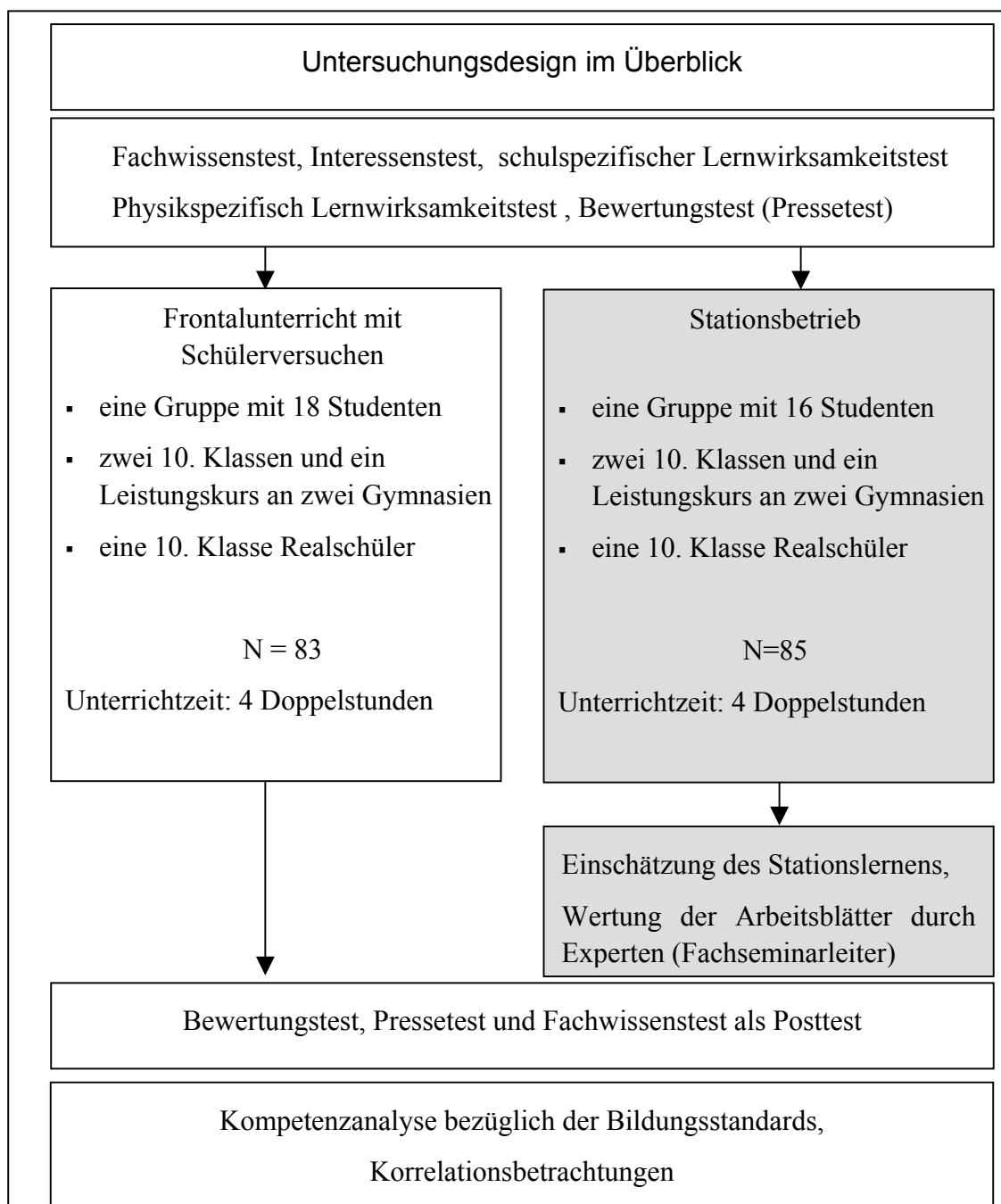
Der Interessenstest und die Selbstwirksamkeitstests haben zum Ziel, Aussagen sowohl über die Interessen der Schülerinnen und Schüler zu liefern als auch über ihre persönliche Einschätzung ihrer Lernwirksamkeit.

### **Post-Tests**

Im Post-Test wurde der Fachwissenstest nochmals eingesetzt um der Lernzuwachs zu messen. Weiterhin wurde eine Kompetenzanalyse der von den Schülerinnen und Schülern ausgefüllten Arbeitsblätter im Lernstationsbetrieb durchgeführt. Mit Hilfe des SPSS-Programms [SPSS 2004] wurden die gewonnenen Daten bezüglich des Lernzuwachses und der möglichen Korrelationen ausgewertet (Abschnitt 6.1). Zum Abschluss dieser Unterrichtseinheit wurden die Einstellungen und Meinungen der Schülerinnen und Schüler zur Photovoltaik getestet (Pressetest), indem sie ihre Bewertung zu authentischen Presseaussagen der Frankfurter Allgemeinen Zeitung [FAZ 2005] abgaben. Die in den Arbeitsblättern gestellten Aufgaben wurden von Experten (Fachseminarleitern) analysiert und die zu den einzelnen Aufgabenstellungen geäußerten Kompetenzen den nationalen Bildungsstandards zugeordnet.

### 5.3 Probandenübersicht und Untersuchungsdesign

Die Untersuchungen in den Kontrollklassen (Frontalunterricht) und in den Untersuchungsklassen (Lernen an Stationen) wurden jeweils an einer Realschule (zwei 10. Klassen) und an zwei Gymnasien (zwei 10. Klassen und ein Leistungskurs 11. Klasse) durchgeführt. Insgesamt nahmen 168 Probanden im Alter von 15 bis 19 Jahren (49% Mädchen, 51% Jungen) an der Untersuchung teil. Es wurden jeweils acht Unterrichtsstunden in den Untersuchungsklassen bzw. in den Kontrollklassen durchgeführt.



## 5.4 Testinstrumente

### 5.4.1 Prä- und Posttests zur Ermittlung des Wissens- und Könnenszuwachses

Der 23 Items umfassende Fachwissenstest ist im Anhang B5 dargestellt. Die Fragen liegen ausnahmslos im Multiple-Choice-Format mit vier Antwortalternativen vor, von denen genau eine die richtige Antwort darstellt. Acht Items (Fragen 1, 3, 4, 9, 11, 15, 20 und 22) sind Textaufgaben, sieben Items (Fragen 2, 5, 10, 14, 16, 17 und 19) enthalten Skizzen oder Diagramme von denen eines einen konkreten Sachverhalt, oder einen Aufbau bzw. Zusammenhang beschreibt, vier Items (Fragen 6, 7, 13 und 21) fragen nach Begriffsdefinitionen, Gleichungen oder Vorwissen und vier Items (Fragen 8, 12, 18 und 23) Berechnungen.

### 5.4.2 Interessentest

Obwohl nicht originaler Bestandteil des Konstrukts der Selbstwirksamkeitserwartung, erschien es ratsam, zusätzlich das Interesse am Unterrichtsfach Physik zu erheben. Während bei der physikbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung erfragt wird, inwieweit ein handlungsleitendes Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten und Fertigkeiten, die mit Physik in Zusammenhang stehen, besteht, geht es bei dem Interesse an Physik zunächst nur um eine Affinität bzw. den Spaß am Unterrichtsfach Physik, ohne dass dies notwendigerweise ein Verhalten, wie vermehrte Anstrengung, aktive Teilnahme am Physikunterricht etc. umgesetzt wird.

### 5.4.3 Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung

Von JERUSALEM und SCHWARZER [JERUSALEM 1981] wurde eine 13 Items umfassende Skala zur schulspezifischen Selbstaufmerksamkeit vorgelegt, die im Anhang B2 (S. 237) dargestellt ist (Kennung, sw\_sc'). Die von JERUSALEM und SCHWARZER berichteten Reliabilität (Cronbachs Alpha als Maß der internen Konsistenz der Skala), die an zwei Stichproben zu verschiedenen Messzeitpunkten erhoben wurden, bewegen sich zwischen 0,71 und 0,77, was als Hinweis auf eine befriedigende Reliabilität des Verfahrens gewertet werden kann.

In der Schülerstichprobe dieser Studie konnte jedoch ein deutlich höherer Wert von  $\alpha = 0,85$ , erreicht werden was zum einen darauf zurückzuführen sein mag, dass an Stelle des von JERUSALEM und SCHWARZER vorgeschlagenen vierstufigen Antwortformats ein sechsstufiges Format (siehe Anhang B2, S. 237) gewählt wurde, zum anderen aber auch darin begründet sein kann, dass die Schülerstichprobe in dieser Untersuchung von der Struktur her sehr homogen war.

In jedem Fall aber kann die Skala schulspezifischer Selbstwirksamkeitserwartung als hinreichend reliabel betrachtet werden.

#### **5.4.4 Physikspezifische Selbstwirksamkeitserwartung**

Während es zumindest im angloamerikanischen Sprachraum eine Reihe von erprobten Instrumenten und Skalen zur Erfassung der mathematikbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung gibt (vgl. STEVENS et al., [STEVENS 2004]; [KENNEY 2006]), liegt ein solches Messinstrument für das Unterrichtsfach Physik bislang nicht vor.

Aus diesem Grund wurde für die aktuelle Studie ein solches Instrument entwickelt. Inhaltlich beziehen sich die 14 Items (siehe Anhang B3, S.238, Kürzel, sw\_ph') auf verschiedene Elemente des Physikunterrichts, wie Umgang mit physikalischen Daten und Experimentieranordnungen, sowie selbst eingeschätzte Fähigkeiten in der Physik allgemein.

Die über die 14 Items berechnete interne Konsistenz der Skala kann mit  $\alpha=0,91$  als sehr gut bezeichnet werden.

#### **5.4.5 Bewertungstest: Aussagen von Schülerinnen und Schülern über Presseveröffentlichungen der Frankfurter Allgemeinen Zeitung [FAZ 2005]**

Die Bewertungsfähigkeit ist einer der vier Kompetenzbereiche der Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss [KMK 2004]. Die Schülerinnen und Schüler sollen in der Lage sein, die physikalische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten zu erkennen und zu bewerten. Dieser Test bietet eine Möglichkeit, die Meinung von Presseveröffentlichungen der Frankfurter Allgemeinen Zeitung (FAZ) von Schülerinnen und Schülern einzuschätzen und kritisieren zu lassen. Die Presseveröffentlichungen bestehen aus 8 Aussagen über Photovoltaik und Perspektiven erneuerbaren Energien (Sonnenenergie, Windenergie...) zu nutzen. Alle den Schülerinnen und Schülern zugänglichen Veröffentlichungen der FAZ haben eine negative Tendenz bezüglich des zukünftigen Einsatzes von Photovoltaikanlagen. Teilweise werden längst überholte Aussichten bzw. konservative Ansichten der Journalisten propagiert.

#### **5.4.6 Einschätzung des Lernens an Stationen**

Zur Einschätzung des Lernens als Stationen wurde ein überarbeiteter Fragekatalog von HEPP, R. [HEPP 2004] über die Planung, Durchführung und Beurteilung von Projekten eingesetzt. Die Schülerinnen und Schüler haben acht Fragestellungen mit ja/nein zu beantworten und ihre eigenen Meinungen darzustellen. Die gesammelten Meinungen sind nicht nur für den Inhalt des Lernzirkels, sondern auch für die Gestaltungen, die Vor- und Nachteile dieser Unterrichtsform aufschlussreich.

#### **5.4.7 Kompetenzermittlung von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen**

Die Arbeitsblätter der Schülerinnen und Schüler wurden von Experten (Fachseminarleitern) analysiert und den nationalen Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss zugeordnet.

## **6 Ergebnisse des Prä- und Posttests zur Ermittlung des Wissens- und Könnenszuwachses**

### **6.1 Fachwissenstest**

Der Fachwissenstest wurde am Anfang der Unterrichtsreihe (im Vortest) durchgeführt und diente der Ermittlung von Vorstellungen und Vorwissen der Schülerinnen und Schüler zur Photovoltaik. Die Ergebnisse des Vortests wurden mit den Untersuchungen zu Schülervorstellungen über Photovoltaik verglichen (Abschnitt 2.3.2). Zum Schluss der Unterrichtsreihe wurde ein Nachtest eingesetzt um den Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler zu ermitteln.

23 Items wurden in fünf Themenbereichen zum Thema Photovoltaik eingeteilt (Anhang B6):

- Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle (5 Items),
- Physikalische Größen einer Solarzelle (3 Items),
- Einfluss der physikalischen Größen auf die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke der Solarzelle (6 Items),
- Belastete Solarzelle ( 4 Items),
- Solaranlage und Anwendung (5 Items).

### **Auswertungsverfahren**

Mit Hilfe des statistischen Computerprogramms SPSS wurden die richtigen Antworten für alle Items, sowie für jeden Themenbereich im Vortest bzw. Nachtest berechnet. Die Berechnung der Mittelwerte der richtigen Antworten innerhalb der verschiedenen Teilgruppen wurde durchgeführt um die Ergebnisse zu vergleichen. Dafür werden die Teilgruppen wie folgt kategorisiert:

- Gruppe: Untersuchungsgruppe und Kontrollgruppe,
- Schulformen: Gymnasium und Realschule,
- Geschlecht: Mädchen und Jungen.

Zwischen den Gruppen wurde untersucht, welche Unterrichtskonzepte (Lernen an Stationen oder Frontalunterricht mit Schülerexperiment) einen besseren Lernzuwachs erreicht. Mit dem Vergleich zwischen den Schulformen wird analysiert, ob das Thema „Photovoltaik“ für Schülerinnen und Schüler an Gymnasien oder für Schülerinnen und Schüler an Realschulen geeignet ist. Weiterhin wurden die Lernzuwächse und die experimentellen Fertigkeiten der Schülerinnen und Schüler analysiert

### 6.1.1 Ergebnisse des Prätests – Ermittlung der Schülervorstellungen über Photovoltaik

Im folgenden werden die Ergebnisse der Schülervorstellungen des Vortestes quantitativ dargestellt.

**Vorstellungen zum Aufbau und zur Funktionsweise einer Solarzelle** (5 Items, siehe Anhang B6)

Items 1. Wozu dient eine Solarzelle ?

Items 2. Welche Skizze gehört zu einer Solarzelle?

Items 3. Welche Beschreibung trifft für den Aufbau einer Solarzelle zu?

Items 4. Welche Beschreibung trifft für die Funktionsweise einer Solarzelle zu?

Items 5. In den folgenden Bildern arbeitet eine Solarzelle als Halbleiterdiode. In welchem Bild leuchtet die Lampe auf?

Die Antworten der Schülerinnen und Schüler sind in dem Anhang C dargestellt. Die richtigen Antworten sind durch Fettschrift hervorgehoben.

	Item 1		Items 2		Item 3		Item 4		Items 5	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Antwort A	12	6,0%	94	46,5%	<b>120</b>	<b>62,8%</b>	12	6,3%	24	12,6%
Antwort B	0	0%	31	15,3%	38	19,9%	<b>83</b>	<b>43,7%</b>	<b>86</b>	<b>45,3%</b>
Antwort C	<b>186</b>	<b>93,5%</b>	7	3,5%	12	6,3%	41	21,6%	59	31,1%
Antwort D	1	,5%	<b>70</b>	<b>34,7%</b>	21	11,0%	54	28,4%	21	11,1%

Tab. 6.1: Häufigkeitstabellen zum Aufbau und zur Funktionsweise der Solarzelle im Vortest

- 90% der Probanden haben die richtige Antwort gegeben, wozu eine Solarzelle dient.
- 6% der Schülerinnen und Schüler sind der Meinung, dass die Solarzelle ausschließlich dazu dient die Wärme der Sonne zu nutzen, um warmes Wasser bereitzustellen (Verwechslung mit dem Begriff Solarkollektor).
- 34,7% der Probanden haben eine Vorstellung, welches Material zum Aufbau der Solarzelle eingesetzt wird.
- Sieben Schülerinnen und Schüler führten eine Analogiebetrachtung zwischen einer Solarzelle und einer Batterie durch.
- 50% der Probanden haben sichere Kenntnisse über die Funktionsweise einer Solarzelle.
- 93,4% der Probanden gaben zum Begriff der Solarzelle (Item 1) eine richtige Antwort. Dieses Ergebnis stimmt mit der Analyse der Fragebogen zur Photovoltaik (Abschnitt 2.3.2) überein. Nur 6% der Schülerinnen und Schüler vermuten, dass die

Solarzelle ausschließlich dazu dient die Wärme der Sonne zu nutzen, um warmes Wasser bereitzustellen.

### **Einfluss der physikalischen Größen auf die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke der Solarzelle (6 Items)**

Item 9. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Beleuchtungsstärke des Lichts und der an der Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke?

Item 10. Welches Diagramm stellt  $U - d$  dar?

Item 11: Welche der folgenden physikalischen Größen haben keinen Einfluss auf eine Solarzelle?

Item 12. Welche der Messreihen kann richtig sein?

Item 13. Welcher Zusammenhang besteht unter idealen Bedingungen zwischen Einfallswinkel der Sonnenstrahlung und der Kurzschlussstromstärke

Item 14. Welches Diagramm beschreibt den Zusammenhang zwischen  $U_L$  und  $\alpha$ ?

	Item 9		Item 10		Item 11		Item 12		Item 13		Item 14	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Antwort A	25	13,2%	26	13,3%	7	3,5%	24	13,0%	46	24,2%	<b>79</b>	<b>41,4%</b>
Antwort B	46	24,2%	38	19,4%	19	9,6%	<b>70</b>	<b>38,0%</b>	31	16,3%	29	15,2%
Antwort C	<b>70</b>	<b>36,8%</b>	<b>82</b>	<b>41,8%</b>	12	6,1%	59	32,1%	<b>84</b>	<b>44,2%</b>	39	20,4%
Antwort D	49	25,8%	50	25,5%	<b>160</b>	<b>80,8%</b>	31	16,8%	29	15,3%	44	23,0%

Tab. 6.2: Häufigkeitstabellen zum Einfluss der physikalischen Größen auf die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke der Solarzelle im Vortest

Die Antworten zu den 6 Items geben einen Überblick darüber, welche Vorstellungen die Schülerinnen und Schüler über den Zusammenhang zwischen den elektrischen Größen einer Solarzelle und den Größen, welche Einfluss auf die Solarzelle haben könnten, wie z.B. Beleuchtungsstärke, Solarfläche, Temperatur usw.

- Nur 36,8 % der Probanden gaben richtige Antworten zum Item 9.
- Über 80% der Probanden vermuten, dass die elektrischen Größen von der Beleuchtungsstärke abhängig sein könnten.

In den Antworten zu den 6 Items stellen die Schülerinnen und Schüler ihre Vorstellungen über den Zusammenhang zwischen den elektrischen Größen einer Solarzelle und den Größen, die einen Einfluss auf die Solarzelle haben (Beleuchtungsstärke, Temperatur...) dar.

Aus der Ergebnistabelle (Tab. 6.2) kann man erkennen, dass über 50% der Schülerinnen und Schüler diese Zusammenhänge nicht richtig kennen. Item 11 stellt eine Ausnahme dar. Über 80% der Schülerinnen und Schüler gaben eine richtige Antwort.

### Belastete Solarzelle (4 Items)

Die Ergebnisse dieser Items belegen überzeugend, dass die Probanden sehr unsichere Vermutungen darüber äußern, wovon die Leistung einer Solarzelle abhängig sein könnte (siehe Anhang B6).

Item 15: Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Temperatur einer Solarzelle und der Leistung der Solarzelle?

Item 16: Welches Diagramm beschreibt den korrekten Zusammenhang zwischen der an einer belasteten Solarzelle gemessenen Klemmenspannung  $U_K$  und der Stromstärke  $I$  einer Solarzelle bei konstanter Beleuchtungsstärke?

Item 17: Welches Diagramm zeigt den korrekten Zusammenhang zwischen der Leistung und dem Außenwiderstand einer Solarzelle?

Item 18: Bei welchem Außenwiderstand erreicht man die maximale Leistung der Solarzelle?

	Item 15		Item 16		Item 17		Item 18	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Antwort A	<b>9</b>	<b>4,7%</b>	93	49,7%	61	32,1%	40	21,1%
Antwort B	72	37,3%	<b>12</b>	<b>6,4%</b>	39	20,5%	27	14,2%
Antwort C	85	44,0%	66	35,3%	<b>62</b>	<b>32,6%</b>	<b>72</b>	<b>37,9%</b>
Antwort D	27	14,0%	16	8,6%	28	14,7%	51	26,8%

Tab. 6.3: Häufigkeitstabellen zur belasteten Solarzelle im Vortest

So haben z.B. fast alle Schülerinnen und Schüler (93,3%) eine falsche Antwort darauf gegeben, welchen Einfluss die Temperatur auf die Leistung einer Solarzelle haben kann. Die Alltagsvorstellung der Probanden steht in diesem Fall im Widerspruch zu den wissenschaftlichen Vorstellungen.

### Solaranlage und Anwendung ( 5 Items)

Item 19. Welche Schaltskizze finden wir bei einer Solaranlage wieder?

Item 20. Wie kann man eine 12V – 5A Solaranlage aufbauen?

Item 21. Für Wie viele Jahre reichen die Energievorräte an fossilen Energieträgern noch, wenn man den heutigen Energiebedarf zugrunde legt?

Item 22. Welche Umweltprobleme kann der Einsatz von Solarenergie reduzieren?

Item 23. Wie viel kg CO<sub>2</sub> werden jährlich durch die Photovoltaikanlage eingespart?



	Item 19		Item 20		Item 21		Item 22		Item 23	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Antwort A	28	14,3%	26	13,9%	13	6,8%	12	6,2%	<b>55</b>	<b>36,9%</b>
Antwort B	74	37,8%	50	26,7%	<b>122</b>	<b>63,9%</b>	<b>136</b>	<b>70,5%</b>	62	41,6%
Antwort C	<b>52</b>	<b>26,5%</b>	<b>79</b>	<b>42,2%</b>	51	26,7%	30	15,5%	14	9,4%
Antwort D	42	21,4%	32	17,1%	5	2,6%	15	7,8%	18	12,1%

Tab. 6.4: Häufigkeitstabellen zur Solaranlage und Anwendung im Vortest

Aus der Ergebnistabelle kann gefolgert werden, dass Schülerinnen und Schüler über gute Vorkenntnisse bzgl. der umweltschonenden Wirkung von Solarzellen verfügen. Über 50% der Schülerinnen und Schüler können Fragen über den Einfluss der Nutzung der Sonnenenergie auf die Umwelt richtig beantworten. (Items 22, 23). Die Beantwortung der Items 19 und 20 bringt zum Ausdruck, dass über 50% der Schülerinnen und Schüler keine Vorkenntnisse über den Aufbau von Solaranlagen haben. Weiterhin weisen die Antworten darauf hin, dass die Probanden über keinen Zusammenhang zwischen den physikalischen Größen einer Solaranlage und der einzelnen Solarzellen verfügen.

### Zusammenfassung

Schulform	N	Mittelwert der Anzahl der richtigen Antworten	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Realschule	43	8,2	2,8	0,5
Gymnasium	125	9,8	2,4	0,2

Tab. 6.5: Mittelwert der richtigen Antworten im Vortest

Obwohl der Mittelwert der richtigen Antworten nicht über 50% der maximalen Punkte liegt, kann festgestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler des Gymnasiums und der Realschule sich mit der Bedeutung und den physikalischen Grundlagen in ihrer Freizeit beschäftigt haben. Das Thema der Nutzung der Solarenergie interessiert die Schülerinnen und Schüler.

Die in diesem Vortest ermittelten Kenntnisse bzw. Schülervorstellungen stimmen weitgehend mit den im Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Ergebnissen überein.

### 6.1.2 Auswertung des Wissenstests zur des Ermittlung Lernzuwachses der Schülerinnen und Schüler

#### a) Lernzuwachs

Die in der Tab. 6.6 dargestellten Abkürzungen werden in den folgenden Diagrammen verwendet.

Abkürzung	Bedeutung
UG	Untersuchungsgruppe
KG	Kontrollgruppe
VT	Vortest
NT	Nachtest
N	Anzahl der Probanden

Tab. 6.6: Bedeutung der Abkürzungen

In Diagramm 6.1 sind die Mittelwerte beider Gruppen (Untersuchungs- und Kontrollgruppe) von Vor- und Nachtest für alle Items dargestellt.

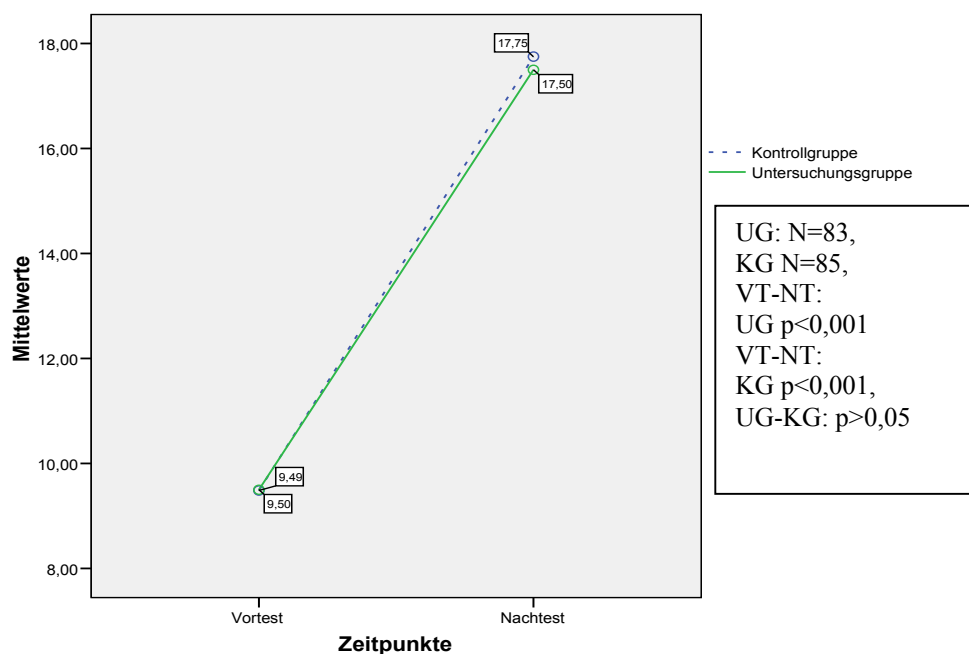


Abb. 6.1: Diagramm der Mittelwerte von Vor- und Nachtest für alle Items

Die Daten belegen überzeugend, dass der Nachtest mit einem großen Effekt ( $part. \eta^2 = .832$ ) signifikant besser ausfällt als der Vortest.

Sowohl im Frontalunterricht, als auch beim Lernen an Stationen, ist ein großer Lernzuwachs bei den Schülerinnen und Schülern nachzuweisen. Dieses Ergebnis belegt, dass die Lernenden der 10. und 11. Klassen in der Lage sind, sich neues Wissen und Können beim Lernen an Stationen (Untersuchungsgruppe) selbstständig zu erarbeiten. Der Lernzuwachs beim Lernen an Stationen, der sich in den ausgeführten Kompetenzen (Literaturstudium, selbstständig durchgeführte Experimente und deren mathematische und grafische Auswertung) widerspiegelt, wurde durch die selbstständige Erarbeitung erreicht.

### b) Vergleich des Wissenszuwachses von Untersuchungs- und Kontrollgruppe

Ein wesentliches Ergebnis der Evaluation besteht darin, dass der erreichte Wissenszuwachs der Schülerinnen und Schüler sich nicht zwischen der Untersuchungsgruppe und der Kontrollgruppe unterscheidet. Das bedeutet, dass die Unterrichtsform für dieses Unterrichtsthema keinen Einfluss auf den Wissenszuwachs hat.

Der Wissenstest gibt keine Auskunft über die von den Probanden gezeigten Kompetenzen. Die Analyse der Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler werden im Abschnitt 7 dargestellt.

### c) Lernzuwachs von Mädchen und Jungen

Aus den Evaluationsdaten (Abb. 6.2) ist erkennbar, dass der Lernzuwachs der Mädchen tendenziell größer ist als der der Jungen.

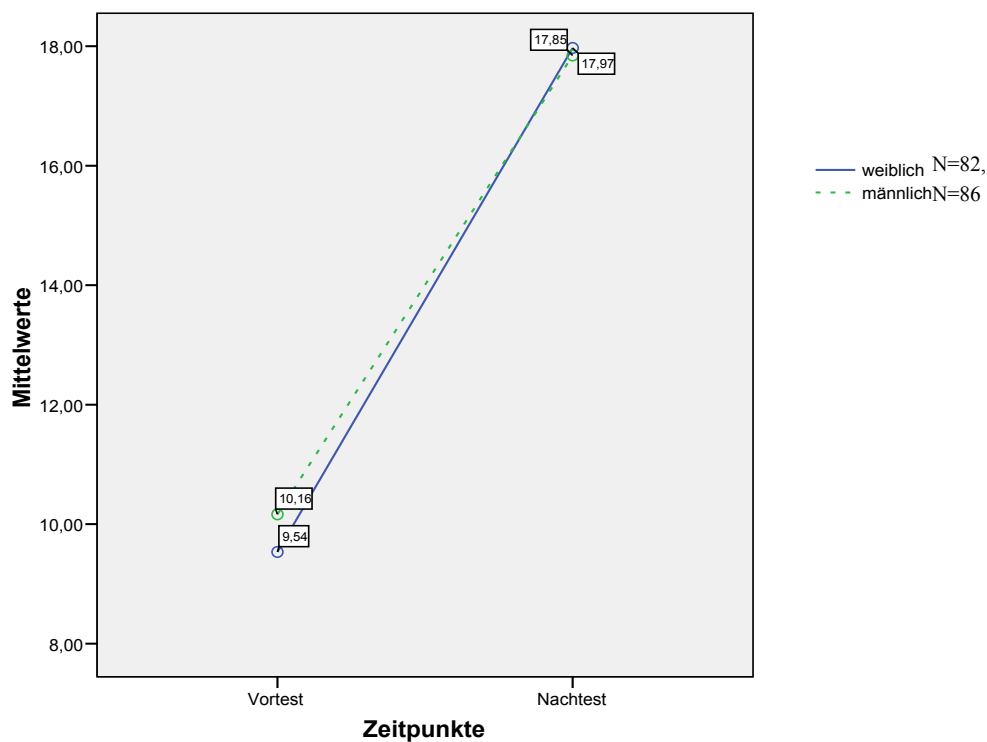


Abb. 6.2: Lernzuwachs Mädchen und Jungen

Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Mädchen sehr gewissenhaft die Handouts studierten und die Experimente sehr sorgfältig durchführten, während die Jungen teilweise oberflächlich arbeiteten. Diese Feststellung lässt sich aus der Bewertung der Arbeitsblätter und aus Beobachtungen während des Unterrichts ableiten.

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse des Vor- und Nachtests der Schülerinnen und Schüler bezüglich einzelner Themenbereiche dargestellt.

#### d) Ermittlung der Erkenntnisgewinnung zum Aufbau und zur Funktionsweise einer Solarzelle

Mit Hilfe von 5 Items (siehe Anhang B6) werden die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler über Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle vor und nach der Unterrichtsreihe untersucht. Die Ergebnisse des Mittelwertsvergleichs der Untersuchungs- und Kontrollgruppe sind in Abb. 6.3 dargestellt.

Im Vortest erreichten beide Gruppen ca. die Hälfte der Maximalpunktzahl. Beide Gruppen konnten im Nachtest bessere Ergebnisse nachweisen.

Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist sowohl im Vortest als auch im Nachtest nicht signifikant ( $p=0,766$  beim Vortest und  $p=0,219$  beim Nachtest). Die Gründe dafür sind wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Einführungsstunden zum Aufbau und zur Funktionsweise der Solarzellen, sowohl in der Untersuchungsgruppe, als auch in der Kontrollgruppe in gleiche Form erfolgte (Siehe Abschnitt 4.).

Wichtig ist, dass im Nachtest in beiden Gruppen optimale Ergebnisse erreicht wurden. Dies bedeutet, dass die Schülerinnen und Schüler sehr gute Kenntnisse zum Aufbau und zur Funktionsweise der Solarzelle verinnerlicht haben.

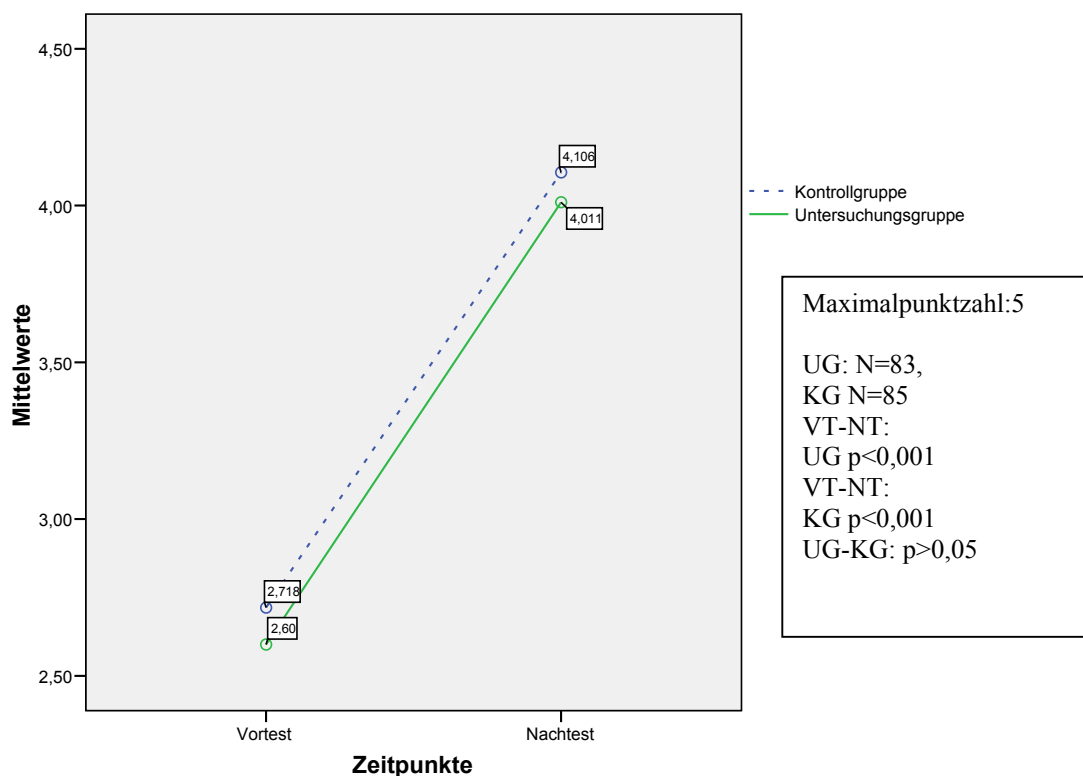


Abb. 6.3: Summe aller Items zum Aufbau und zur Funktionsweise der Solarzelle

#### e) Ermittlung der Erkenntnisgewinnung zum Einfluss der physikalischen Größen auf die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke der Solarzelle

Dieser Themenbereich ist Kernpunkt der ganzen Unterrichtsreihe „Photovoltaik“. Mit sechs Items wird der Zusammenhang zwischen der an der Solarzelle gemessen

Leerlaufspannung, Kurzschlussstromstärke und der Beleuchtungsstärke des Lichts, den Flächeninhalt der Solarzelle und dem Einfallswinkel des Lichts getestet.

Aus der Abb. 6.4 kann man deutlich erkennen, dass die Schülerinnen und Schüler der Untersuchungsgruppe, sowie der Kontrollgruppe einen großen Lernerfolg erzielt haben. Auffällig ist, dass die erreichten Punktzahlen im Nachtest generell sehr hoch sind (Mittelwert insgesamt 4,84 bei KG und 4,72 bei UG von 6 erreichbaren Punkten).

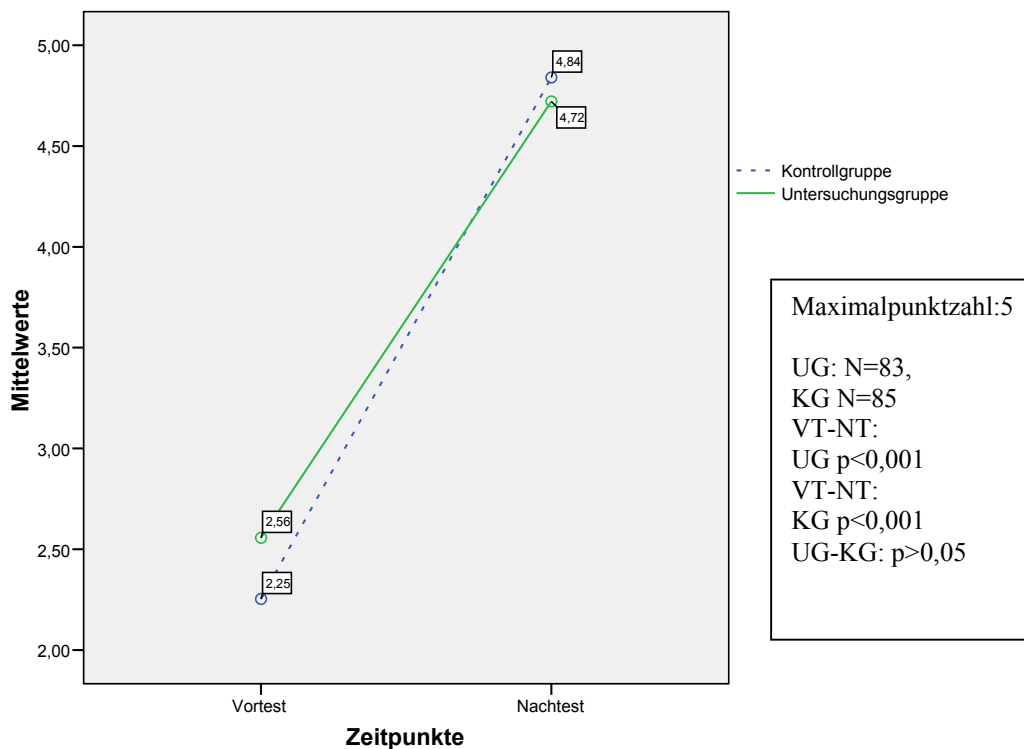


Abb. 6.4: Mittelwertvergleich im Themenbereich „Einfluss der physikalischen Größen auf die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke der Solarzelle“

Das heißt, die Schülerinnen und Schüler sind in der Lage, unabhängig von der Unterrichtsform ( $p = 0,54$  bei Nachtest), den Zusammenhang zwischen den auf die Solarzelle einwirkenden physikalischen Größen (Beleuchtungsstärke, Temperatur, Beleuchtungsfläche, Einfallswinkel) und der Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke auf experimentellem Wege durch Schülerexperimente richtig herauszufinden.

Darüber hinaus können nahezu alle Schülerinnen und Schüler die auf experimentellem Wege ermittelten Daten grafisch darstellen und die daraus gewonnen Diagramme (Item 10,12,14) aus physikalischer Sicht interpretieren.

### f) Ermittlung der Erkenntnisgewinnung zur belasteten Solarzelle und Anwendungen (9 Items)

Mit den Items 14 bis 23 werden die Schülerinnen und Schüler dahingehend getestet, ob sie in der Lage sind, ihre Kenntnisse über den Einfluss der Temperatur und der Belastung auf die Leistung einer Solarzelle anzuwenden.

Außerdem sollten die Probanden die Anwendung der Solarzelle aus ökonomischer und ökologischer Sicht bewerten. Die Ergebnisse der Schülerinnen und Schüler sind im Abb. 6.5 dargestellt.

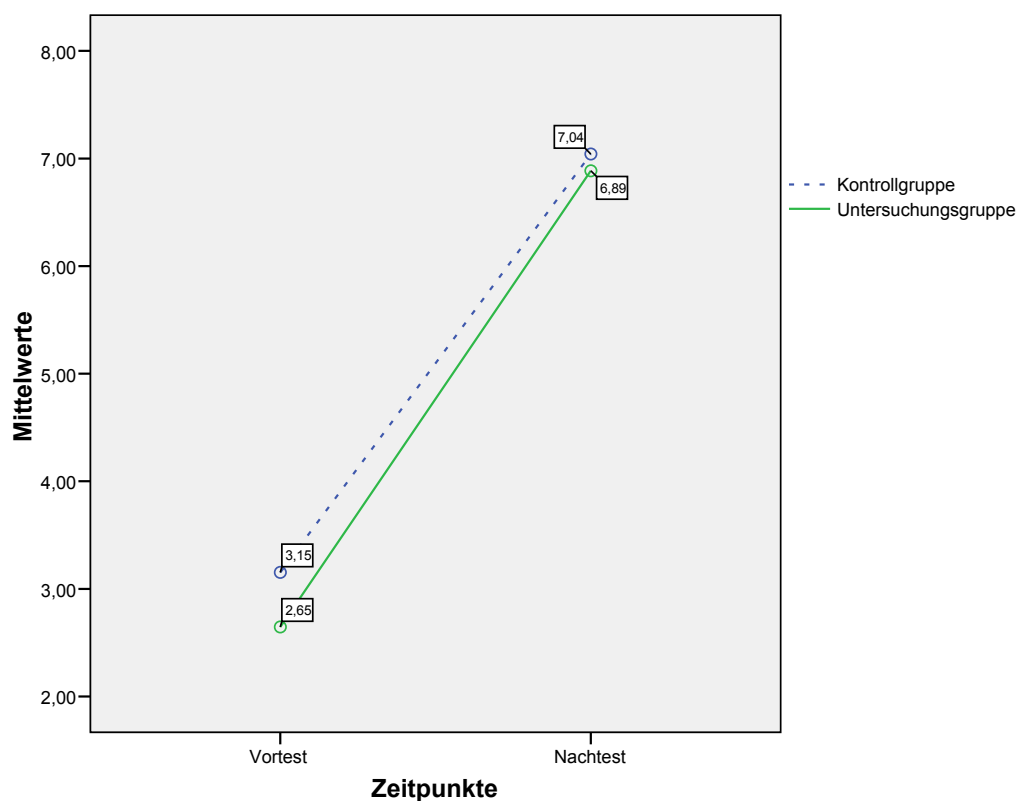


Abb. 6.5: Mittelwertvergleich im Themenbereich „belastete Solarzelle und Anwendungen“

Die Items 14 bis 20 konnten im Vortest mit Hilfe der Alltagserfahrungen nicht beantwortet werden. Bei Item 12 haben z.B. über 90% der Schülerinnen und Schüler falsche Antworten gegeben (Siehe Anhang C). Im Nachtest konnten die Probanden die Testfragen gut beantworten. Die Fehlvorstellungen konnten durch die Unterrichtsreihe in den Untersuchungs- und Kontrollgruppen abgebaut werden.

Die Items 21, 22 und 23 testeten allgemeine Kenntnisse aus fachübergreifender Sicht. Die meisten Schülerinnen und Schüler konnten sowohl im Vortest als auch im Nachtest gute Antworten liefern.

Aus der Abb. 6.5 kann man deutlich erkennen, dass der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler beider Gruppen zum Themenbereich belastete Solarzelle und Anwendungen sehr hoch ist. Es besteht zwischen Untersuchungsgruppe und Kontrollgruppe sowohl im Vortest als auch im Nachtest kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,109$  beim Vortest und  $p = 0,409$  beim Nachtest).

### **Zusammenfassung**

- Die statistische Auswertung belegt überzeugend, dass sowohl im Frontalunterricht als auch beim Lernen an Stationen ein großer Lernzuwachs bei den Schülerinnen und Schülern zu verzeichnen ist.
- Die Schülerinnen und Schülern sind in der Lage, Wissen über die Photovoltaik selbstständig zu erarbeiten.
- Der Wissenszuwachs der Mädchen ist tendenziell größer als der der Jungen.
- Die Schülerinnen und Schüler sind in der Lage, unabhängig von der Unterrichtsform den Zusammenhang zwischen den auf die Solarzelle einwirkenden physikalischen Größen und den elektrischen Größen experimentell zu untersuchen und zu interpretieren.

## **6.2 Binnenstruktur von Selbstwirksamkeitserwartung und Interesse**

Als Prädiktoren für den Lernerfolg wurden bezüglich des Interessentests und der Selbstwirksamkeitstests (Abschnitt 5.4.2 und 5.4.4) hinreichend gute Operationalisierungen in Form reliabler Skalen entwickelt.

Im folgenden Abschnitt wird betrachtet, inwieweit es sich bei den Merkmalen der oben genannten Tests um wechselseitig bedingende Größen handelt, und wie hoch die Skalen untereinander korrelieren. Dazu betrachtet man die Interkorrelationen zwischen den Skalen und führt eine Faktorenanalyse durch.

In Tab. 6.7 sind die Interkorrelationen der Skalen dargestellt. Es fällt auf, dass, die Zusammenhänge der schulbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung zu den physikspezifischen Skalen nur moderat ausfallen. Eine hohe Interdependenz besteht zwischen dem physikspezifischen Interesse und der physikspezifischen Selbstwirksamkeitserwartung.

		sw_schul	sw_phys
<b>Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung</b> (sw_schul)			
<b>Physikbezogene Selbstwirksamkeitserwartung</b> (sw_phys)	Pearson Correlation N	0,27(**) 165	
<b>Interesse an Physik (int_phy)</b>	Pearson Correlation N	0,17(*) 164	0,79(**) 164

Tab. 6.7: Interkorrelationen zwischen Prädiktoren (Anmerkungen: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ )

Der Eindruck, dass sich die beiden physikspezifischen Skalen nicht inhaltlich voneinander separieren lassen, wird auch durch die gemeinsame Faktorenanalyse (Hauptachsenanalyse mit Varimaxrotation) der Items aller drei Skalen gestützt.

Der Eigenwertverlauf in Abb. 15 lässt zunächst nicht eindeutig erkennen, ob eine Lösung mit zwei oder drei Faktoren angemessen ist. Die kumulierte Varianzaufklärung durch zwei rotierte Faktoren beträgt 39,3% und durch drei rotierte Faktoren 43,9%, sodass der durch einen dritten Faktor gewonnene Zuwachs verhältnismäßig gering ist.

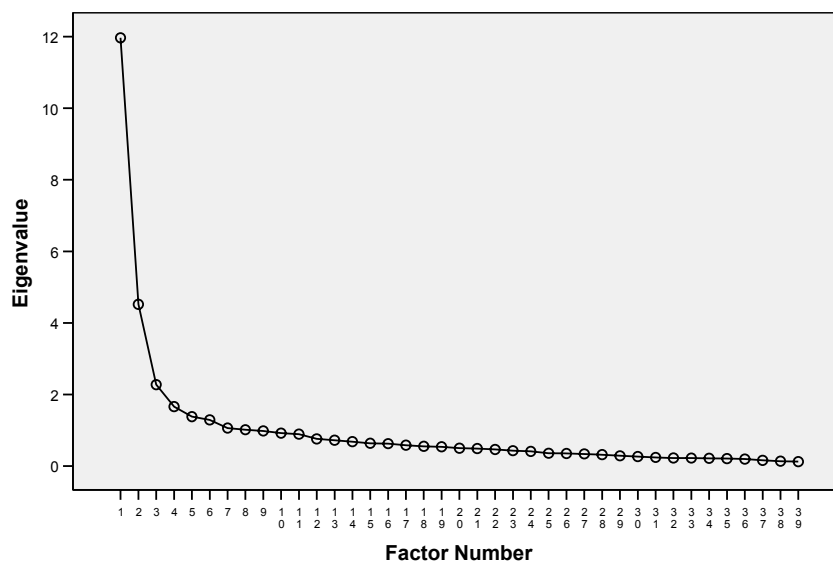


Abb. 6.6: Eigenwertverlauf (Scree-Diagramm) der gemeinsamen Faktorenanalyse mit allen Items

Das letztlich überzeugende Argument für eine Entscheidung zugunsten einer zweidimensionalen Faktorstruktur ist die Sichtung der rotierten Faktorladungsmatrizen der beiden Lösungen (Tab. 6.8.a und Tab. 6.8.b). Während in der Zwei-Faktoren-Lösung deutlich wird, dass die Items der physikbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung und die des Interesses an Physik in untrennbarer Weise einen Faktor bilden, führt die Drei-Faktoren-Variante nicht etwa zu einer Aufspaltung des ersten Faktors in physik-



bezogene Selbstwirksamkeitserwartung einerseits und Interesse an Physik andererseits, sondern zu einer nicht sinnvoll interpretierbaren Abspaltung einiger Items der Skala Schulbezogener Selbstwirksamkeitserwartung hin zu einem eigenen Faktor. In der zweifaktoriellen Lösung hingegen lagen alle Items der schulbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung auf einem Faktor, auf dem sich andererseits kein Item einer anderen Skala findet. Obwohl die beiden physikbezogenen Skalen inhaltlich durchaus unterschiedlich akzentuiert sind, gibt die Faktoranalyse einen klaren Hinweis darauf, dass sich diese Binnendifferenzierung in der Wahrnehmung bzw. Selbsteinschätzung der Schüler nicht abbilden lässt. Damit ist gezeigt, dass es sich bei den beiden physikbezogenen Skalen im strengen Sinne um ein und dasselbe Merkmal handelt. In der Folge soll dennoch versucht werden, beide Skalen als Prädiktoren des Lernerfolgs zu verwenden. Dabei ist es unwahrscheinlich, dass beide Prädiktoren in einem gemeinsamen Modell statistisch signifikant werden.

Dieser Tatsache kann nur so interpretiert werden, dass die physikbezogene Selbstwirksamkeitserwartung und das Interesse an Physik so eng untereinander verwoben sind, dass eine empirische Trennung kaum möglich ist (Nachweis durch Faktoranalyse).

a) 2 Factors			b) 3 Factors			
Item	1	2	Item	1	2	3
sw_ph_28	0,860		sw_ph_28	0,838		
iphn_01r	0,780		iphn_01r	0,801		
iphn_02r	0,757		iphn_03r	0,752		
iphn_03r	0,751		iphn_02r	0,750		
sw_ph_15	0,742		sw_ph_15	0,736		
sw_ph_18	0,702		iphn_05r	0,694		
iphn_04r	0,700		iphn_07r	0,687		
iphn_07r	0,676		iphn_04r	0,678		
iphn_12r	0,674		sw_ph_16	0,677		
sw_ph_16	0,670		iphn_12r	0,674		
iphn_08r	0,668		sw_ph_18	0,672		
iphn_05r	0,645		iphn_08r	0,658		
sw_ph_23	0,635		sw_ph_26	0,635		
sw_ph_24	0,616		sw_ph_25	0,620		
sw_ph_25	0,616		sw_ph_24	0,619		
sw_ph_26	0,614		sw_ph_23	0,606	0,295	
sw_ph_20	0,596		sw_ph_20	0,596		
iphn_06r	0,575		sw_ph_21	0,564		
sw_ph_19	0,570		sw_ph_19	0,538		
sw_ph_21	0,555		iphn_06r	0,535		
iphn_10r	0,535		sw_ph_14	0,532		
sw_ph_14	0,526		sw_ph_17	0,506		
sw_ph_22	0,507		sw_ph_22	0,483		
sw_ph_17	0,499		iphn_10r	0,477		-0,391
iphn_09r	0,482		iphn_09r	0,440		
iphn_11r	0,408		sw_sc_11		0,757	
sw_sc_11		0,715	sw_sc_02		0,696	
sw_sc_06		0,696	sw_sc_05		0,682	
sw_sc_10		0,673	sw_sc_06		0,679	
sw_sc_13		0,651	sw_sc_01		0,629	
sw_sc_05		0,645	sw_sc_13		0,628	
sw_sc_01		0,635	sw_sc_10		0,612	0,304
sw_sc_02		0,586	sw_sc_04		0,540	
sw_sc_04		0,570	sw_sc_03		0,538	
sw_sc_03		0,536	sw_sc_12		0,467	
sw_sc_12		0,433	sw_sc_08			0,682
sw_sc_07		0,381	sw_sc_09			0,637
sw_sc_09		0,362	sw_sc_07		0,255	0,550
sw_sc_08		0,350	iphn_11r	0,344		-0,378

Tab. 6.8: Rotierte Ladungsmatrix für die Zwei- und die Dreifaktorenlösung

**Anmerkungen:** Ladungen < 0,25 sind nicht dargestellt; sw\_sc – schulspezifische Selbstwirksamkeitserwartung, sw\_ph – physikspezifische Selbstwirksamkeitserwartung, iphn – Interesse an Physik

### 6.3 Modellierung des Lernerfolgs anhand psychologischer Variablen in multiplen Regressionsmodellen

Der Vorhersage des Lernerfolgs im Anschluss an die achtstündige Unterrichtsreihe, gemessen als Leistung (Punktwert) im Wissenstest nach Abschluss der Unterrichtsreihe, ist folgende Überlegung voranzustellen: Da davon ausgegangen werden kann, dass das Vorwissen zur Photovoltaik, auf welches schon vor der Unterrichtsreihe zurückgegriffen werden konnte, einen oder möglicherweise sogar den größten Einfluss auf die Testleistung nach dem Unterricht hat, ist zur Kontrolle eben dieses Vorwissens der entsprechende Testscore in jedem Fall als Prädiktor in das Regressionsmodell aufzunehmen. Dabei fungiert er als eine Art Kovariat, was bedeutet, dass die Prädiktionsgüte des Nachtests durch den Vortest nicht originär von Interesse ist. Es ist davon auszugehen, dass der Vortest ein signifikanter Prädiktor für den Nachtest ist, was aber hier nicht Gegenstand der Betrachtung sein soll.

Im Hinblick auf die Fragestellung und die Hypothesen dieser Studie ist vielmehr die zentrale Frage, ob die drei psychologischen Merkmale *zusätzlich* zur Vortestleistung einen signifikanten Beitrag zur Erklärung der Leistung im Nachtest erbringen.

Um eine differenzierte Betrachtung der Güte der drei Prädiktoren im gemeinsamen linearen Regressionsmodell vornehmen zu können, wird zur Analyse die Methode der schrittweisen Regression gewählt. Bei diesem Vorgehen wird zunächst eine untere Grenze dafür festgelegt, ab welchem Signifikanzniveau ein Prädiktor in das Regressionsmodell aufgenommen wird. Da diese Studie einen explorativen Charakter hat, wird ein wenig strenges Signifikanzniveau von 0,08 gewählt.

In der Folge werden schrittweise die Prädiktoren geordnet nach der Vorhersagegüte der Signifikanz in das Modell aufgenommen. Das Verfahren bricht dann ab, wenn kein weiterer der noch zur Verfügung stehenden Prädiktoren die Signifikanzgrenze überschreitet. Da die Prädiktoren üblicherweise nicht unkorreliert sind, ist es bei diesem Verfahren auch möglich, dass der sich der prädiktive Gehalt eines Prädiktors, der bereits in das Modell aufgenommen wurde, dadurch relativiert, dass weitere Prädiktoren hinzukommen. Im Extremfall kann dies dazu führen, dass dieser Prädiktor in späteren Schritten wieder aus dem Modell entfernt wird. Auch für diesen Ausschluss wird eine Signifikanzgrenze festgelegt, in dieser Studie 0,16. Würde also die Signifikanz eines schon im Modell befindlichen Prädiktors durch das Hinzukommen weiterer Prädiktoren auf unter 0,16 sinken, so würde dies zum Ausschluss führen.

Für die gegebene Fragestellung (Erklärung des Kriteriums, Nachtestleistung) stehen folglich folgende Prädiktoren zur Verfügung: Vortestleistung (s.o.), schulspezifische Selbstwirksamkeitserwartung, physikspezifische Selbstwirksamkeitserwartung und Interesse an Physik.

A				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,347(a)	0,120	0,114	2,207
2	0,379(b)	0,144	0,131	2,185

B					
Model	R Change	Square F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	0,120	19,514	1	143	0,000
2	0,023	3,884	1	142	0,051

Tab. 6.9: A) Zusammenfassung der schrittweisen Regressionsanalyse  
B) Statistiken zur Änderung zwischen Modellen

**Anmerkungen:**

- Predictors: (Constant), Vortestleistung
- Predictors: (Constant), Vortestleistung, Physikbezogene Selbstwirksamkeitserwartung

In einem ersten Schritt wurde die variable Vortestleistung als stärkster Prädiktor in das Modell aufgenommen. Aus Tab. 6.9.A geht hervor, dass dieser Prädiktor in der Lage ist, 12% der Varianz am Kriterium (Nachtestleistung) aufzuklären. Die Signifikanz dieses Prädiktors beträgt  $p < 0,01$  (Tab. 6.9.B). In einem zweiten Schritt (Model 2) wird zusätzlich die Variable physikbezogene Selbstwirksamkeitserwartung in das Modell aufgenommen, wodurch sich die Varianzaufklärung auf insgesamt 14,4% verbessert (Tab. 6.9 A). Gleichzeitig genügt die Signifikanz des hinzukommenden Prädiktors zur Inklusion nach dem Initial festgelegten Kriterium ( $p < 0,08$ ), wenn auch das übliche 5%-Signifikanzniveau knapp verfehlt wird (Tab. 6.9.B).

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1 (a)	(Constant)	7,508	0,439		17,090	0,000
	fw_vor2	0,474	0,107	0,347	4,417	0,000
2 (b)	(Constant)	6,181	0,802		7,711	0,000
	fw_vor2	0,417	0,110	0,305	3,792	0,000
	sw_phys	0,436	0,221	0,159	1,971	0,051

Tab. 6.10: Standardisierte und unstandardisierte Regressionskoeffizienten

**Anmerkungen:**

- Predictors: (Constant), Vortestleistung (fw\_vor2)
- Predictors: (Constant), Vortestleistung (fw\_vor2), Physikbezogene Selbstwirksamkeitserwartung (sw\_phys)

Da die weiteren potentiellen Prädiktoren die Signifikanzgrenze für die Inklusion verfehlen, ist Modell 2 mit den beiden Prädiktoren Vortestleistung und physikbezogene Selbstwirksamkeitserwartung als das Endergebnis der Analyse anzusehen. Der Tab. 6.10 können die Regressionsgleichungen für die beiden Modelle entnommen werden. Die dafür heranzuziehenden Koeffizienten befinden sich in der Zeile 2 (b)'.

Der Tab. 6.11 kann entnommen werden, welche Prädiktoren nicht in das Modell aufgenommen wurden, da sie die Signifikanzgrenze verfehlt haben. Interessant ist dabei vor allem, ob sich im Modell 2 (Tab. 6.11) ein weiterer Prädiktor angeboten hätte, der die Inklusionsgrenze nur knapp verfehlt hat. Dies ist eindeutig nicht der Fall, wie aus der Spalte ‚Sig.‘ hervorgeht. Die Partialkorrelationen der weiteren potentiellen Prädiktoren mit dem Kriterium Nachtestleistung sind, bereinigt um den Einfluss der im Modell befindlichen Prädiktoren, praktisch gleich Null.

Model		t	Sig.	Partial Correlation
1	sw_schul	0,556	0,579	0,047
	sw_phys	1,971	0,051	0,163
	int_phy	1,114	0,267	0,093
2	sw_schul	0,003	0,997	0,000
	int_phy	-0,654	0,514	-0,055

Tab. 6.11: Nicht in das Modell aufgenommene Prädiktoren

**Anmerkungen:**

*sw\_schul* – schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung,

*sw\_phys* – physikbezogene Selbstwirksamkeitserwartung,

*int\_phy* – Interesse an Physik

Weder das Interesse an Physik, noch die schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung eignen sich folglich zur Prädiktion des Lernerfolgs. Neben dem trivialen Einfluss der Vortestleistung erweist sich einzig die physikbezogene Selbstwirksamkeitserwartung als signifikanter Prädiktor.

## Zusammenfassung und Diskussion

Überraschend deutlich stellt sich heraus, dass unter den drei hypothetisch angenommenen Prädiktoren die physikbezogene Selbstwirksamkeitserwartung als einziger Prädiktor einen Vorhersagebeitrag zum Lernerfolg in der betrachteten Unterrichtsreihe liefert. Die dabei gefundenen Effektgrößen sind zwar absolut gesehen eher klein, dies ist jedoch für die sozialwissenschaftliche Forschung nicht unüblich. Hinzu kommt, dass vor dem Hintergrund der Ergebnisse von PEETSMA et al. (2005) [PEETSMA 2005], die zeigen konnten, dass – für den internationalen Betrachtungsrahmen unüblich – gerade in Deutschland die Selbstwirksamkeitserwartung nicht den stärksten Prädiktor für den Schulerfolg darstellt, in Deutschland möglicherweise eine

Sondersituation anzutreffen ist, so dass bei der Replikation der hier vorgelegten Studie in anderen Ländern möglicherweise ein höherer prädiktiver Gehalt zu erwarten wäre.

Auch für das Verstehen konkreter fachwissenschaftlicher Modellierungen ist, wie hier exemplarisch am Bereich der Photovoltaik aufgezeigt, die fachbezogene Selbstwirksamkeitserwartung eine zentrale Größe. Dies führt direkt zu der Schlussfolgerung, dass ein Hauptaugenmerk der Lehrkraft darauf liegen sollte, einerseits zu diagnostizieren, wie diese Variable beim einzelnen Schüler ausgeprägt ist, um individuellen Förderbedarf zu erkennen, andererseits sollten im Physikunterricht stets flankierende Maßnahmen ergriffen werden, um das **Vertrauen in die eigenen fachlichen Fähigkeiten**, mithin die fachbezogene Selbstwirksamkeitserwartung zu stärken. Als Methode der Wahl bietet sich neben der Wahl von Unterrichtsformen an, die Eigenverantwortlichkeit zu betonen und zu stärken. Auch das – wohldosierte – Vermitteln von Erfolgserlebnissen an, die nicht allgemeiner Natur sein sollten, sondern sich in geeigneter Weise auf sehr konkrete physikalische Inhalte beziehen sollten, müsste Teil des Lehrkonzeptes werden.

Diese Studie konnte zeigen, dass die Selbstwirksamkeitserwartung des Schülers, die sich auf die Ebene der schulischen Umwelt als Ganzes bezieht, wie wohl im allgemeinen wünschenswert, für das Bestehen in konkreten Situationen im Physikunterricht weitgehend konsequenzendlos ist.

In der Summe sollten die Ergebnisse dazu ermutigen, bei fachlich hohem Niveau der Inhalte des Physikunterrichts ein starkes Augenmerk darauf zu legen, dass den Schülerinnen und Schülern im Unterricht *anhand konkreter physikalischer Inhalte* Gelegenheit gegeben wird, sich selbst als kompetent und den Anforderungen des Unterrichts gewachsen zu erleben.

#### 6.4 Aussagen von Schülerinnen und Schülern über Presseveröffentlichungen der Frankfurter Allgemeinen Zeitung [FAZ 2005]

Die Aufgabe der Schülerinnen und Schüler bestand darin, die Veröffentlichungen der FAZ zu bewerten.

Folgende Parameterisierung der FAZ-Veröffentlichungen wurden den Schülerinnen und Schülern zur Wertung der Presseveröffentlichungen zur Verfügung gestellt.

Stimme voll zu=5	Stimme zu=4	Weiß ich nicht/keine Meinung=3	Stimme nicht zu=2	Stimme überhaupt nicht zu=1
---------------------	----------------	-----------------------------------	----------------------	--------------------------------

Geprüft wurde, ob sich im Verlauf der Erarbeitung der Kenntnisse über die Photovoltaik die Urteilsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler verändert hat und ob die Veränderungen der Einstellung der Lernenden mit der Unterrichtsform korreliert. Dazu werden zwei faktorielle Varianzanalysen mit der Zeit als Messwiederholungsfaktor berechnet. Messwerte für zwei Zeitpunkte (Vortest und Nachtest) werden von jeder

Schüleraussage nach der Unterrichtsform (Frontalunterricht versus Lernen an Stationen) getrennt berechnet.

Die Mittelwerte der Variablen in der Untersuchungs- und der Kontrollgruppe für die einzelnen Zeitpunkte werden grafisch dargestellt. Die Anzahl der Schüler werden durch Häufigkeiten in der Tabelle darstellt.

**Presseinformation der FAZ: „Der zusammenhängende Flächenbedarf für Photovoltaikanlagen ist zu groß!“ (Aussage 1)**

Die Tab. 6.12 zeigt, dass die Schülerinnen und Schüler sowohl in der Untersuchungs- als auch der Kontrollgruppe nach dem Unterricht die negative Einschätzung der FAZ ablehnen. Sie haben verstanden, dass der benötigte Flächenbedarf nicht zu Ungunsten von wertvollem Acker bzw. Forstland anfällt. Die kovarianzanalytische Auswertung lässt ebenfalls keine großen Unterschiede in den Mittelwerten der Untersuchungs- und der Kontrollgruppe erkennen. Aus der Tab. 6.12 ist erkennbar, dass im Vortest die Schülerinnen und Schüler in den Versuchs- und Kontrollklassen nur wenige Kenntnisse über den Flächenbedarf von Photovoltaikanlagen hatten (45,8 %). Nach dem Unterricht treffen 86,3% der Schülerinnen und Schüler eine positive Entscheidung der Photovoltaikanlagen und lehnen damit die Aussage der FAZ ab.

		Vortest		Nachtest	
		Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Gültig	1,00	5	3,0	<b>96</b>	57,1
	2,00	50	29,8	<b>49</b>	29,2
	3,00	<b>77</b>	<b>45,8</b>	7	4,2
	4,00	25	14,9	0	0
	5,00	2	1,2	4	2,4
	Gesamt	159	94,6	156	92,9
Fehlend	System	9	5,4	12	7,
Gesamt		168	100,0	168	100

Tab. 6.12: Zur Aussage 1: Zusammenhängender Flächenbedarf für Photovoltaikanlagen ist zu groß!

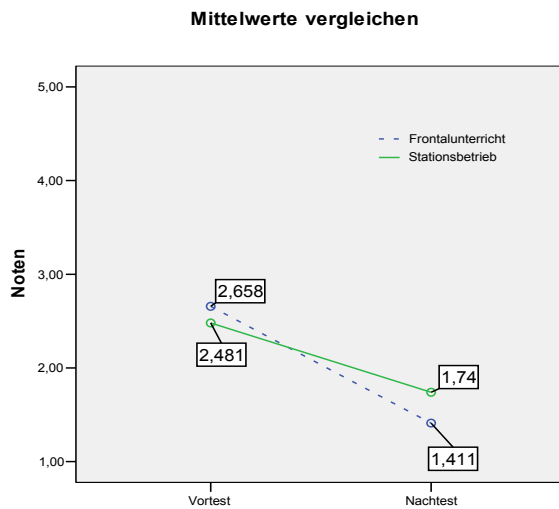


Abb. 6.7: Mittelwertvergleich der Bewertung von Schülerinnen und Schüler zur Aussage 1

### Presseinformation der FAZ: „Der Energieaufwand für die Herstellung ist höher als die später gelieferte Energie!“ (Aussage 2)

Im Vortest stimmen 79 Schülerinnen und Schüler (47%) der Versuchs- und Kontrollklassen nicht den Aussagen der FAZ-Journalisten zu, 50 Schülerinnen und Schüler (29,8%) enthielten sich einer Bewertung, da sie keine Kenntnisse über die Zusammenhänge hatten (Tab. 6.13).

Nach dem Unterricht lehnen 140 Schülerinnen und Schüler (83,3%) die Aussage der FAZ ab. Der Unterricht in den beiden Gruppen hat die fachlich gesicherte Urteilsfähigkeit gestärkt.

		Vortest		Nachtest	
		Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Gültig	1,00	22	13,1	<b>87</b>	51,8
	2,00	<b>57</b>	33,9	<b>53</b>	31,5
	3,00	<b>50</b>	29,8	11	6,5
	4,00	27	16,1	3	1,8
	5,00	4	2,4	2	1,2
	Gesamt	160	95,2	156	92,9
Fehlend	System	8	4,8	12	7,1
Gesamt		168	100	168	100

Tab. 6.13: Zur Aussage 2: „Der Energieaufwand für die Herstellung ist höher als die später gelieferte Energie!“



**Presseinformation der FAZ: „Solarstrom ist für die Elektrizitätswirtschaft wertlos, weil er nur anfällt, wenn die Sonne scheint. Photovoltaik kann kein konventionelles Kraftwerk ersetzen.“ (Aussage 3)**

		Vortest		Nachtest	
		Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Gültig	1,00	20	11,9	<b>92</b>	54,8
	2,00	<b>72</b>	42,9	<b>47</b>	28,0
	3,00	29	17,3	8	4,8
	4,00	35	20,8	4	2,4
	5,00	4	2,4	3	1,8
	Gesamt	160	95,2	154	91,7
Fehlend	System	8	4,8	14	8,3
Gesamt		168	100	168	100

Tab. 6.14: Zur Aussage 3: „Photovoltaik kann kein konventionelles Kraftwerk ersetzen.“

Aus der Tab. 6.14 ist zu erkennen, dass 92 Schülerinnen und Schüler bereits im Vortest die FAZ-Aussage ablehnen. Die Häufigkeit im Nachtest belegt, dass der Unterricht die positive Einstellung zur Photovoltaik wesentlich verbessert hat. Beim Vergleich des Nachtests von Versuchs- und Kontrollklassen kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

**Mittelwerte vergleichen Behauptung 03**

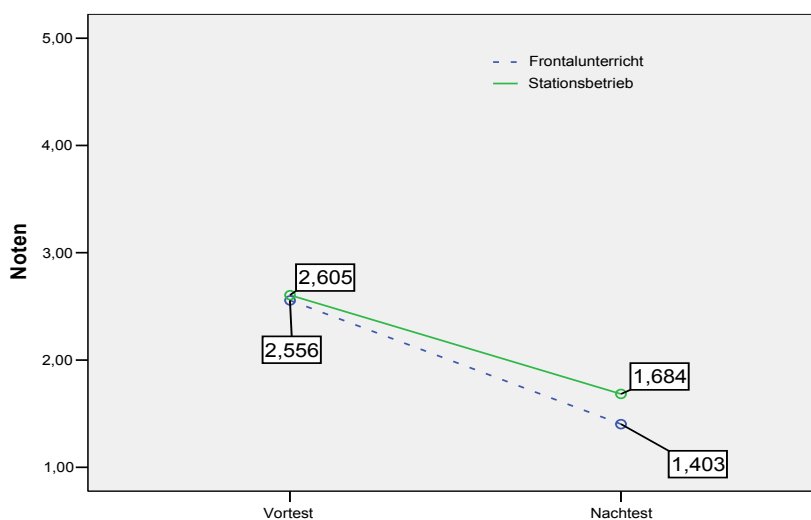


Abb. 6.8: Mittelwertvergleich der Schülerinnen und Schüler zur Aussage 3

**Presseinformation der FAZ: „Kernenergie löst das CO<sub>2</sub> -Problem besser als Photovoltaikanlagen!“ (Aussage 4)**

		Vortest		Nachtest	
		Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Gültig	1,00	32	19,0	<b>74</b>	44,0
	2,00	43	25,6	44	26,2
	3,00	<b>64</b>	38,1	19	11,3
	4,00	16	9,5	12	7,1
	5,00	3	1,8	6	3,6
	Gesamt		158	94,0	155
Fehlend	System	10	6,0	13	7,7
Gesamt		168	100	168	100

Tab. 6.15: Zur Aussage 4: Kernenergie löst das Problem besser als Photovoltaikanlagen!

64 Schülerinnen und Schüler (38 %) konnten im Vortest mit den Aussagen nichts anfangen, da ihnen die fachlichen Grundlagen für den Vergleich fehlten. Nach dem Unterricht lehnten über 70% die Aussage der FAZ ab (Tab. 6.15).

**Mittelwerte vergleichen**

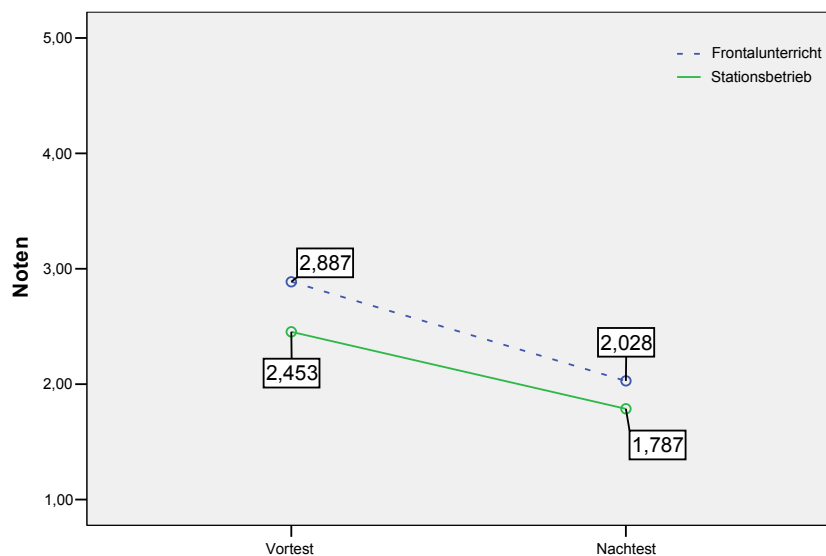


Abb. 6.9: Mittelwertvergleich der Schülerinnen und Schüler zur Aussage 4

**Presseinformation der FAZ: „Energiesparen zur CO<sub>2</sub>-Verringerung ist billiger, deshalb sollte man zunächst alle Energiesparmöglichkeiten nutzen, bevor man die Photovoltaik einsetzt.“ (Aussage 5)**

		Vortest		Nachtest	
		Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Gültig	1,00	8	4,8	54	32,1
	2,00	53	31,5	72	42,9
	3,00	55	32,7	21	12,5
	4,00	37	22,0	6	3,6
	5,00	4	2,4	3	1,8
	Gesamt	157	93,5	156	92,9
Fehlend	System	11	6,5	12	7,1
Gesamt		168	100	168	100

Tab. 6.16: Bewertung der Schülerinnen und Schüler zur Aussage 5

36% der Probanden lehnten die Behauptung der FAZ-Journalisten im Vortest ab, 33% der Schülerinnen und Schüler enthielten sich der Stimme, da ihnen Informationen zum Vergleich fehlten. Nach dem Unterricht entscheiden sich 75% der Schülerinnen und Schüler gegen die FAZ-Aussage und nur noch 12% enthalten sich der Stimme. Es kann ein starkes Umdenken nachgewiesen werden.

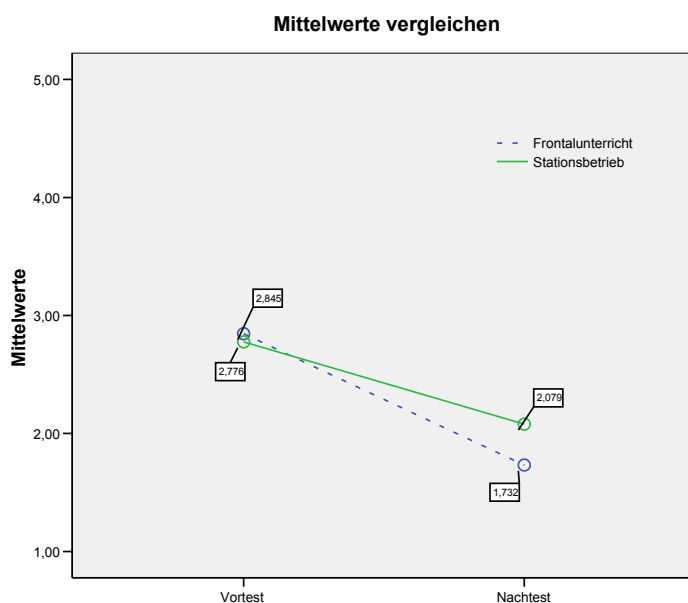


Abb. 6.10: Mittelwertvergleich der Bewertung der Schülerinnen und Schüler zur Aussage 5.

### Presseinformation der FAZ: „Die Leistung von Photovoltaikanlagen reicht nicht für Großverbraucher!“ (Aussage 6)

		Vortest		Nachtest	
		Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Gültig	1,00	5	3,0	<b>38</b>	22,6
	2,00	32	19,0	<b>76</b>	45,2
	3,00	<b>53</b>	31,5	25	14,9
	4,00	<b>56</b>	33,3	13	7,7
	5,00	11	6,5	4	2,4
	Gesamt	157	93,5	156	92,9
Fehlend	System	11	6,5	12	7,1
Gesamt		168	100	168	100

Tab. 6.17: Zur 6. Aussage „Die Leistung von Photovoltaikanlagen reicht nicht für Großverbraucher!“

40% der Probanden enthielten sich der Stimme und werteten im Vortest die Aussagen der FAZ positiv.

Im Nachtest hat sich das Meinungsbild der Schülerinnen und Schüler verändert. 68% lehnten nun die Aussagen der FAZ ab. Nur noch 15% enthielten sich der Stimme.

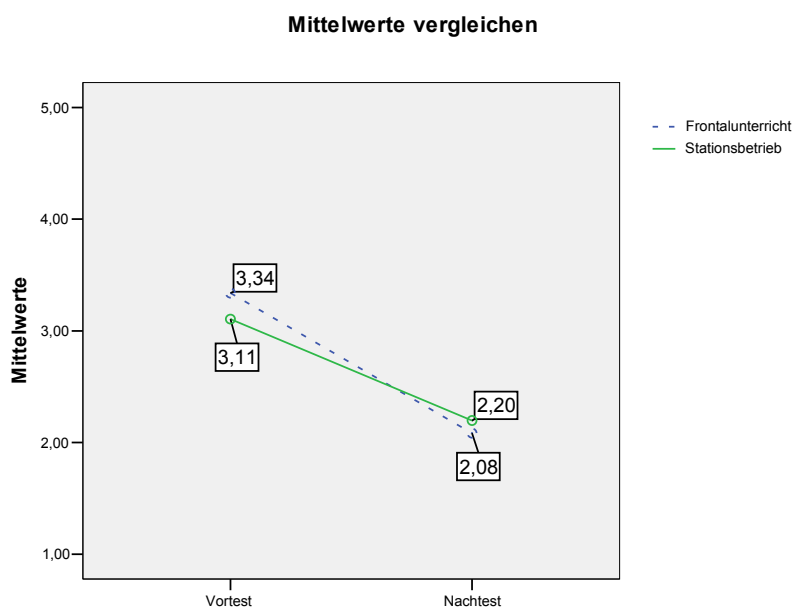


Abb. 6.11: Mittelwertvergleich zur Aussage 6.

**Presseinformation der FAZ: „Nur in südlichen Ländern scheint genug Sonne, um Solaranlagen effektiv zu nutzen!“ (Aussage 7)**

		Vortest		Nachtest	
		Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Gültig	1,00	18	10,7	<b>76</b>	45,2
	2,00	<b>70</b>	41,7	<b>67</b>	39,9
	3,00	20	11,9	7	4,2
	4,00	38	22,6	5	3,0
	5,00	10	6,0	2	1,2
	Gesamt		2	1,2	157
Fehlend	System	158	94,0	11	6,5
Gesamt		168	100	168	100

Tab. 6.18: Zur Aussage 7 „Nur in südlichen Ländern scheint genug Sonne, um Solaranlagen effektiv zu nutzen!“

64% der Probanden lehnten bereits im Vortest die Aussage der FAZ ab bzw. enthielten sich der Stimme. Durch den Unterricht konnte das Meinungsbild der Schülerinnen und Schüler beeinflusst werden. Im Nachtest lehnten 84% der Befragten die Aussagen der FAZ ab.

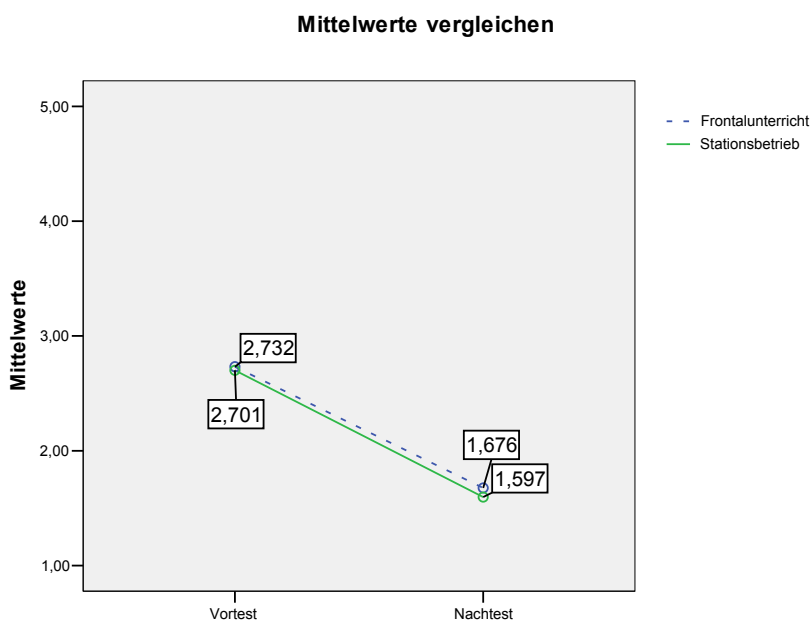


Abb. 6.12: Mittelwertvergleich zur Aussage 7

**Presseinformation der FAZ: „Die Umweltbelastung durch Chlorchemie und Probleme bei der Entsorgung machen den Einsatz von Photovoltaikanlagen fragwürdig!“ (Aussage 8)**

		Vortest		Nachtest	
		Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Gültig	1,00	5	3,0	<b>41</b>	24,4
	2,00	31	18,5	<b>54</b>	32,1
	3,00	<b>101</b>	60,1	<b>44</b>	26,2
	4,00	18	10,7	13	7,7
	5,00	1	,6	2	1,2
	Gesamt		1	,6	154
Fehlend	System	157	93,5	14	8,3
Gesamt		168	100	168	100

Tab. 6.19: Meinung der Schülerinnen und Schüler zur Aussage 8.

Im Vortest enthielten sich über 60% der Probanden einer Bewertung der FAZ-Aussage, da es den Schülerinnen und Schülern an entsprechendem Fachwissen fehlte.

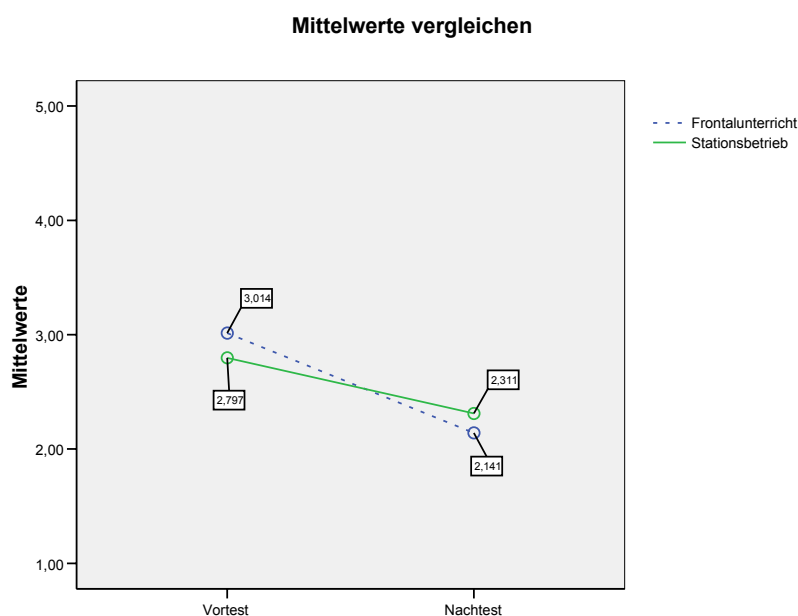


Abb. 6.13: Mittelwertvergleich der Bewertung von Schülerinnen und Schüler zur Aussage 8

Im Nachtest ist eine positive Wandlung des Meinungsbildes der Probanden zu erkennen. Über 57% der befragten Schülerinnen und Schüler lehnten die FAZ-Aussage ab. Es ist jedoch zu registrieren, dass 26,2% der Schülerinnen und Schüler keine Wertung vor-

nahmen. Es ist anzunehmen, dass bezüglich dieser Fragestellung beide Unterrichtsformen keine ausreichende Informationen für eine eindeutige Meinungsbildung lieferten.

**Zusammenfassung:**

Aus der Tab. 6.20 ist zu erkennen, dass die Urteilsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler im Nachtest statistisch signifikant überzeugender (Nutzung von wissenschaftlich gesicherten Argumenten) als im Vortest (partielles  $\eta^2 = 0,70$ ) ist.

Effekt		Wert	F	Hypothese df	Fehler df	Signifi- kanz	Partielles Eta- Quadrat
zeit	Pillai-Spur	,700	325,093(a)	1,000	139,000	,000	,700
	Wilks-Lambda	,300	325,093(a)	1,000	139,000	,000	,700
	Hotelling-Spur	2,339	325,093(a)	1,000	139,000	,000	,700
	Größe charakteristische Wurzel nach Roy	2,339	325,093(a)	1,000	139,000	,000	,700
zeit * u_form	Pillai-Spur	,053	7,841(a)	1,000	139,000	,006	,053
	Wilks-Lambda	,947	7,841(a)	1,000	139,000	,006	,053
	Hotelling-Spur	,056	7,841(a)	1,000	139,000	,006	,053
	Größe charakteristische Wurzel nach Roy	,056	7,841(a)	1,000	139,000	,006	,053

Tab. 6.20: Multivariate Tests(b)

**Ergebnisse:** Aus der Korrelationenmatrix lassen sich folgende Zusammenhänge ablesen:

Die Aussagen der Schülerinnen und Schüler im Vor- (beh\_vor) und Nachtest (beh\_nach) korrelieren mit den Variablen physikbezogene Selbstwirksamkeit (sw\_phys), Interesse an Physik (int\_phys) und schulbezogene Selbstwirksamkeit (sw\_schul).

Die Aussagen der Schülerinnen und Schüler im Vortest korrelierten nicht mit dem Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler. Aber man kann einen starken Zusammenhang zwischen den Behauptungen der Schülerinnen und Schüler im Nachtest und deren Lernzuwachs feststellen.

Abb. 6.14: und Abb. 6.15 zeigten die Mittelwerte der Wertungen der Probanden bezüglich der FAZ-Aussagen, im Vortest und im Nachtest der Versuchs- und Kontrollklassen.

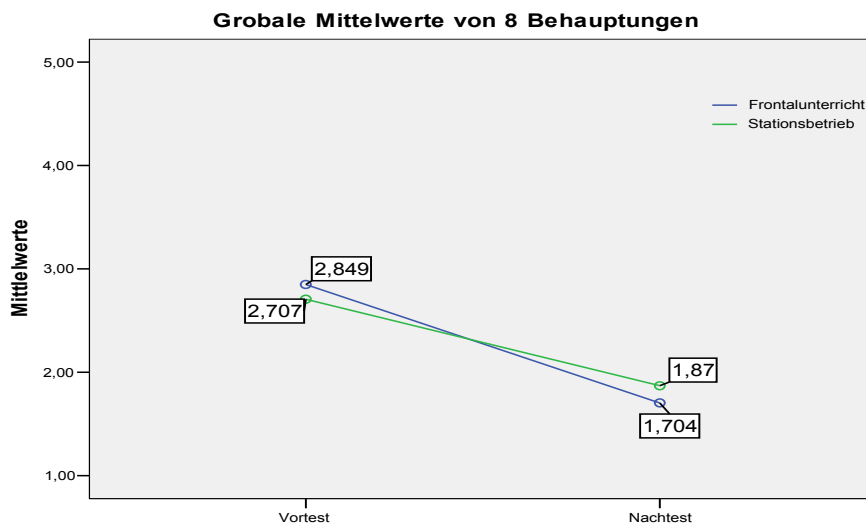


Abb. 6.14: Mittelwertvergleich der Bewertung der Schülerinnen und Schüler zur acht Aussagen

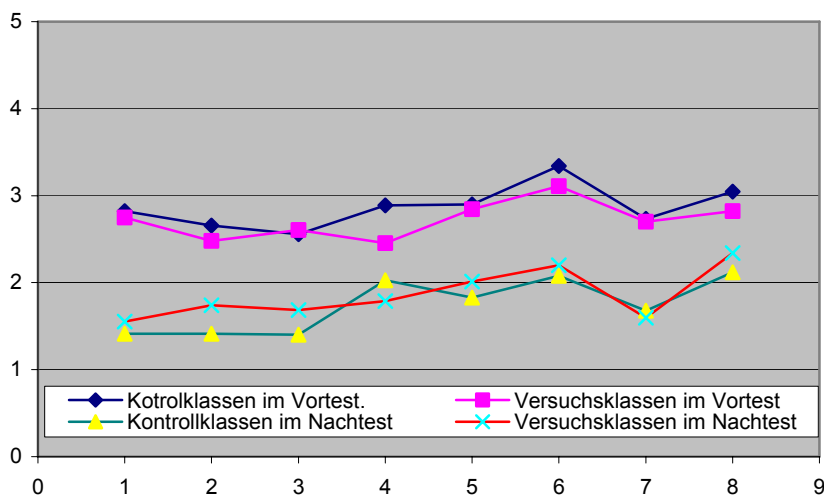


Abb. 6.15: Überblick zur Bewertung der Schülerinnen und Schüler

Die Wertungsänderung in den Kontrollklassen ist etwas stärker als in den Untersuchungsklassen. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant (Tab. 6.20).

Ingesamt hatten die Schülerinnen und Schüler vor dem Unterricht keine ausreichenden Informationen bzw. kein ausreichendes Faktenwissen, um eine Wertung der FAZ-Aussagen vorzunehmen.

Ingesamt sind die Schülerinnen und Schüler durch den Unterricht in den Versuchs- und Kontrollklassen kritischer bezüglich einer Bewertung der Photovoltaik geworden. Entsprechendes Faktenwissen hat zu einer stabileren Meinungsbildung beigetragen.



## 6.5 Einschätzung des Lernens an Stationen

Bei dieser Befragung (siehe Anhang B1) äußerten sich die Schülerinnen und Schüler der Untersuchungsgruppe über die neue Unterrichtsform wie folgt:

### Zur Frage 1 „Was findest du am Lernen an Stationen gut?“

81% der Schülerinnen und Schüler begrüßen diese Unterrichtsform sich „selbstständig neues Wissen zu erarbeiten“.

79% der Teilnehmerinnen und Teilnehmer haben selbst eingeschätzt, dass sie beim Stationslernen ständig Gedanken mit den Schülern, mit denen sie zusammengearbeitet haben, austauschten. Darüber hinaus bestätigen 80% der Lernenden, dass sie beim Stationslernen Experimente selbstständig geplant und durchgeführt haben (Abb. 6.16).

40% der Schülerinnen und Schüler finden den zeitlichen Rahmen für das selbstständige Erarbeiten einer Thematik zu kurz.

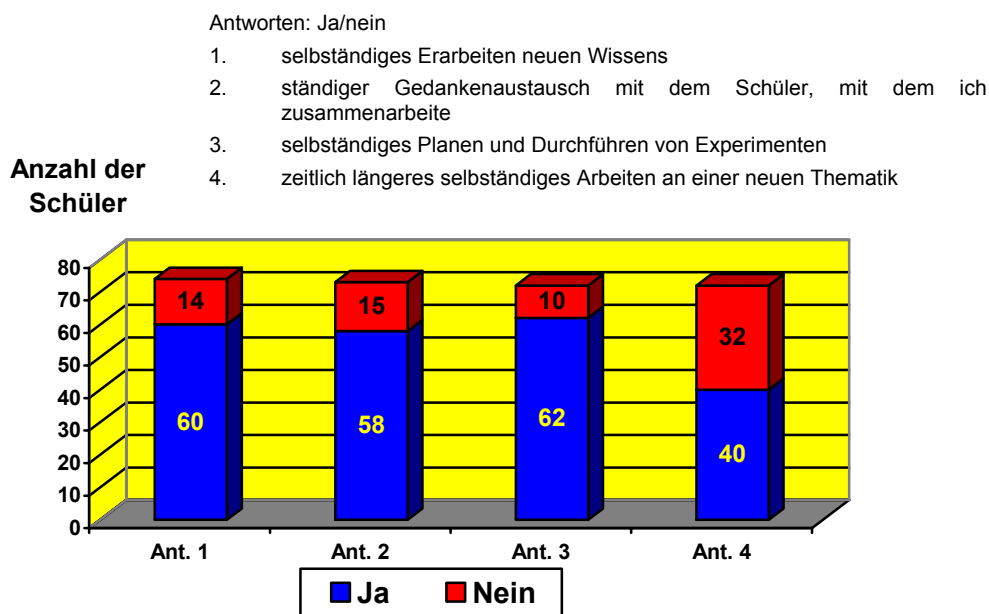


Abb. 6.16: Frage 1: „Was findest du am Lernen an Stationen gut?“

Sie akzeptierten vor allem die „Lockerheit“ der Unterrichtsform im Gegensatz zu den festen Ritualen des konventionellen Unterrichts. Außerdem wird das individuelle selbstbestimmte Lernen sehr geschätzt, bei dem man untereinander Gedanken austauscht, ohne dass der Lehrer regelnd eingreift.

### Zur Frage 2: Nachteile der Stationen „Was findest du am Lernen an Stationen weniger gut?“

Die Meinungen der Schülerinnen und Schüler sind sehr positiv und konstruktiv (Abb. 6.17).

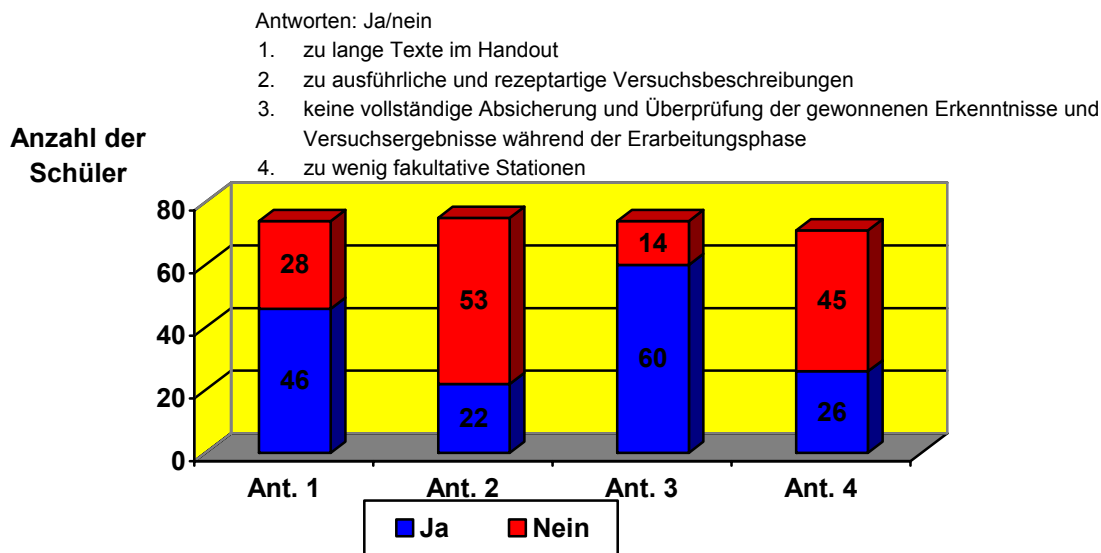


Abb. 6.17: Zur Frage 2: „Was findest du am Lernen an Stationen weniger gut?“

62% der Schülerinnen und Schüler heben hervor, dass die an den Stationen ausgelegten Texte zu lang sind. Der Grund für diese Einschätzung liegt darin, dass die Schülerinnen und Schüler bisher nur mit kurzen Texten gearbeitet haben.

Nur 30% der Lernenden schätzen die Versuchsbeschreibung als zu ausführlich und zu rezeptartig ein.

Als einen großen Nachteil des Stationslernens schätzen 81% der Schülerinnen und Schüler ein, dass eine Absicherung und Überprüfung der gewonnenen Erkenntnisse und Versuchsergebnisse während der Erarbeitungsphase (z.B. durch den Lehrer) aus zeitlichen Gründen nicht immer erfolgt.

Das Stationslernen muss zukünftig auch Zeiteinplanen für Nachfragen und kritische Auseinandersetzungen mit den gewonnen Erkenntnissen.

30% der befragten Probanden wünschten sich ein größeres Angebot an fakultativen Stationen.

### Zur Frage 3: „Hattest du genügend Zeit die einzelnen Aufgaben zu bearbeiten?“

Die Methode „Lernen an Stationen“ ist zeitaufwendig. Man braucht eine oder mehrere Blockstunden. Vor diesen Zeitbedarf sollte man nicht zurückschrecken. Lernen dauert immer länger als Lehren. Das lassen wir im herkömmlichen Unterricht häufig außer Acht. Diese Erfahrung wird auch von 80% der Schülerinnen und Schüler vertreten,

indem sie einschätzen, dass die geplanten Zeitvorgaben zu knapp bemessen waren (Abb. 6.18).

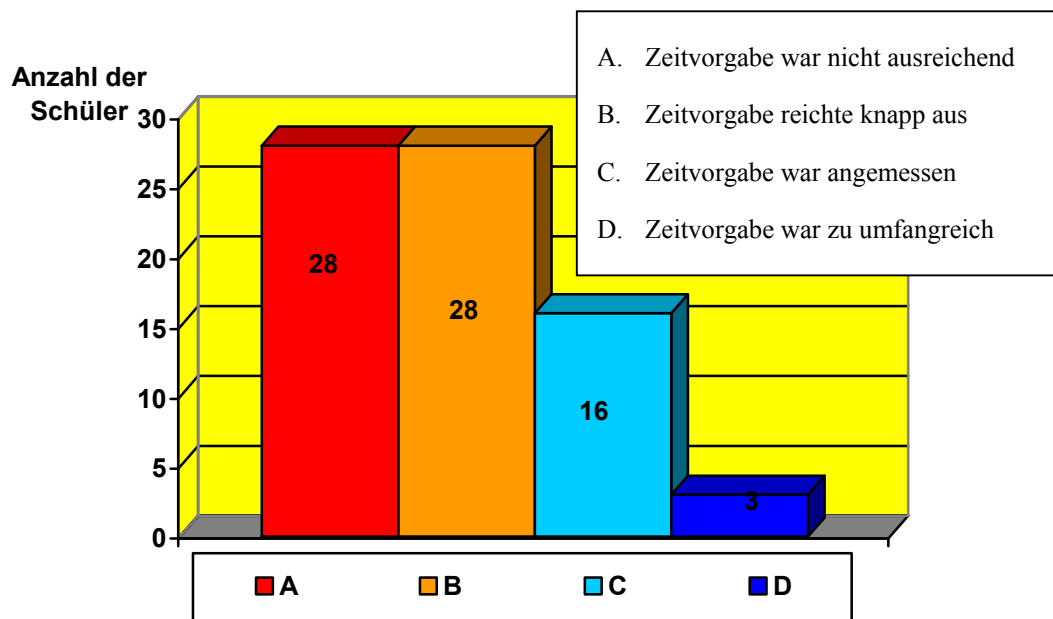


Abb. 6.18: Zur Frage 3: „Hattest du genügend Zeit die einzelnen Aufgaben zu bearbeiten?“

**Zur Frage 4: „Hast du das Gefühl, während des Lernens an Stationen etwas gelernt zu haben?“**

80 % der Schülerinnen und Schüler haben das Gefühl, während des Lernens an den Stationen sehr viel oder etwas gelernt zu haben (Abb. 6.19).

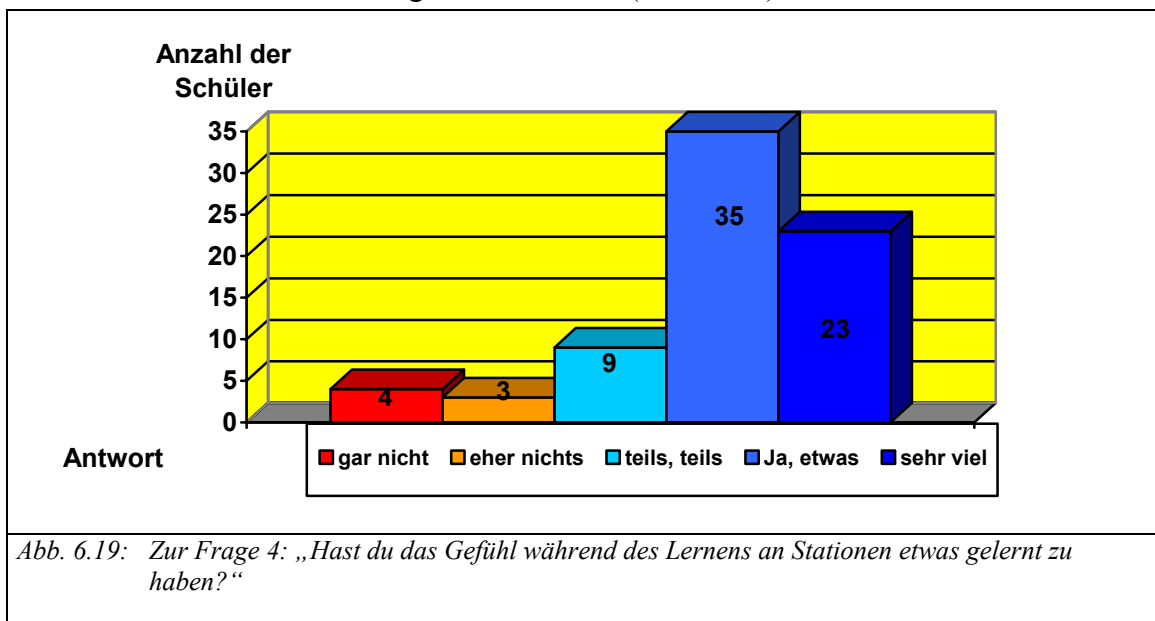


Abb. 6.19: Zur Frage 4: „Hast du das Gefühl während des Lernens an Stationen etwas gelernt zu haben?“

**Zur Frage 5: „Wenn du das Gefühl hast, während des Arbeitens an Stationen etwas gelernt zu haben, worin siehst du die Ursache?“ (Abb. 6.20)**

68% der Schülerinnen und Schüler glauben, dass sie sich beim Stationslernen stärker auf die konkreten Fragestellungen konzentrieren müssen als beim normalen Unterricht (Antwort 5.1).

49% der Schülerinnen und Schüler begründen ihre Entscheidung mit der Antwort 2, indem sie hervorheben, dass sie mehr Sicherheit für das eigene Experimentieren gewonnen haben.

Antworten: Ja/nein

1. ich musste mich stärker auf die konkreten Fragestellungen konzentrieren als beim normalen Unterricht
2. ich habe mehr Sicherheit für das eigene Experimentieren gewonnen
3. ich habe an Selbstvertrauen gewonnen, mich selbständig in eine neue Thematik einzuarbeiten
4. ich halte die Kommunikation mit meinem Experimentierpartner bei der Lösung der Aufgabenstellungen für mich sehr wichtig.

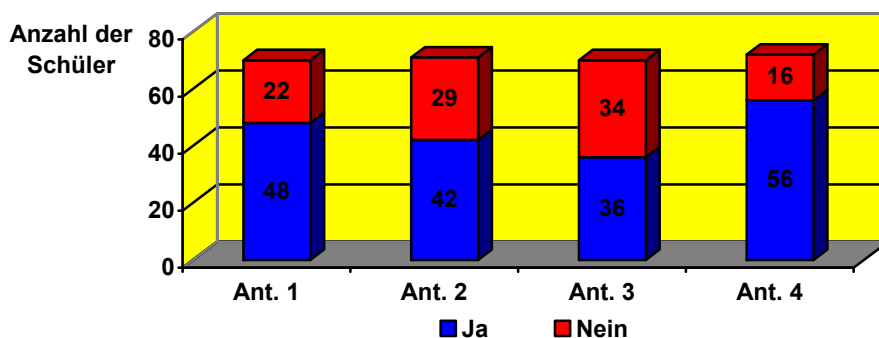


Abb. 6.20: Zur Frage 5. „Wenn du das Gefühl hast während des Lernens an Stationen etwas gelernt zu haben, worin siehst du die Ursache?“

54 % der Schülerinnen und Schüler haben beim Stationslernen an Selbstvertrauen gewonnen, sich selbstständig in eine neue Thematik einzuarbeiten (Antwort 3).

77% der Schülerinnen und Schüler haben sich für folgende Begründung entschieden: „Ich halte die Kommunikation mit meinem Experimentierpartner bei der Lösung der Aufgabenstellungen für sehr wichtig. Diese Kommunikation ist im normalen Unterrichtsablauf nicht möglich“.

**Zur Frage 6: „Lohnt sich deiner Meinung nach überhaupt der Aufwand des Arbeitens an Lernstationen?“**

Die Schülerinnen und Schüler sind davon überzeugt, dass das Lernen an Stationen eine gute Vorbereitung für das spätere Berufsleben bzw. Studium ist, da es wichtig ist, sich selbstständig Wissen anzueignen (Abb. 6.21).

Der Aussage „Lernen an Stationen ist eine gute Möglichkeit das Selbstvertrauen des Lernenden zu stärken“ stimmen 55 % der Schülerinnen und Schüler zu. 44% der Probanden sind der Meinung, dass das Lernen an Stationen kein Ersatz für systematisches Lernen ist.

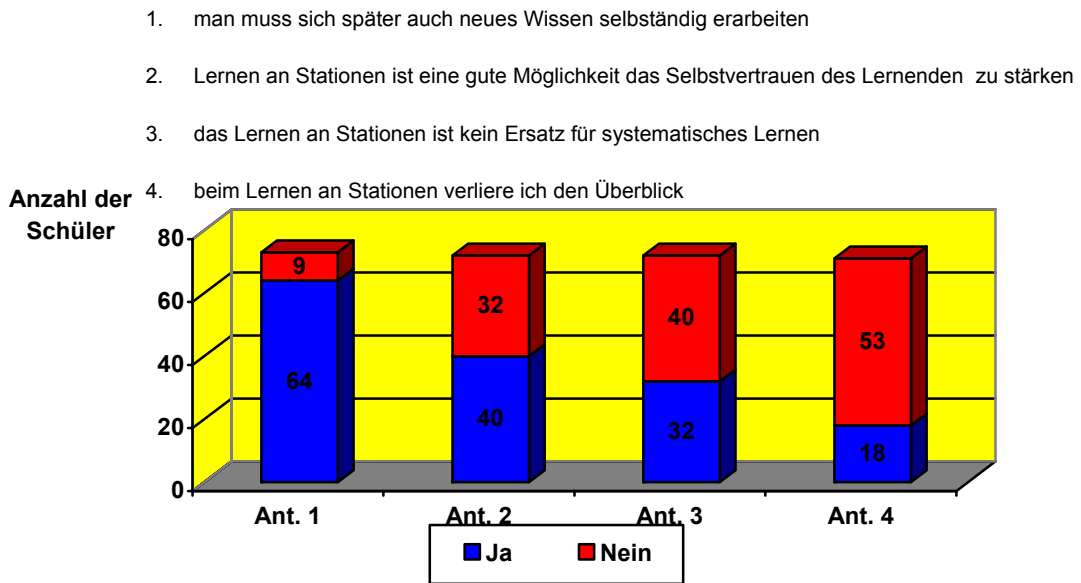


Abb. 6.21: Zur Frage 6: „Lohnt sich deiner Meinung nach überhaupt der Aufwand des Arbeitens an Lernstationen?“

### Zur Frage 7: „Was würdest du an der Organisation oder am Inhalt der Lernstation Photovoltaik ändern?“

Zur Frage nach der Verbesserung der Lernstationen sind die Meinungen der Schülerinnen und Schüler in der Abb. 6.22 dargestellt.

Antwort: Ja/Nein

1. Selbstkontrolle und Ergebniskontrolle nach der Durchführung der Station als Handout verstärken
2. Systematisierungsstationen einbauen, um den Überblick zu behalten
3. mehr Argumentationsmuster zu angebotenen Halbwahrheiten aus der populärwissenschaftlichen Literatur
4. Praktische Bedeutung des erarbeiteten neuen Wissens ist noch zu verstärken

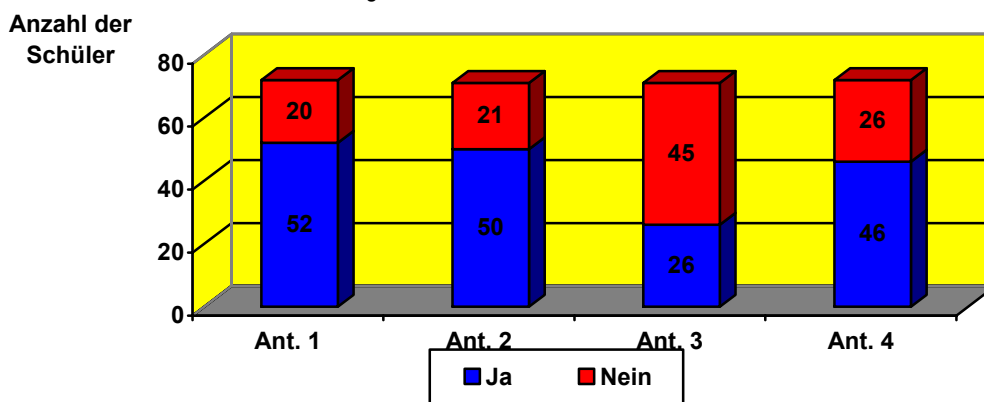


Abb. 6.22: Zur Frage 7: „Was würdest du an der Organisation oder am Inhalt der Lernstation Photovoltaik ändern?“

Die von den Schülerinnen und Schülern gewünschten Änderungen sind: 72% der Schülerinnen und Schüler wünschen eine Selbstkontrolle und Ergebniskontrolle nach der Durchführung der Station in Form eines Lösungshandouts.

70% der Probanden wünschen genannte Systematisierungsstationen, um den Überblick über die untersuchte Gesamthematik zu behalten.

37% der Schülerinnen und Schüler wünschen ausführlichere Argumentationsmuster zu den angebotenen „Halbwahrheiten“, die in der populärwissenschaftlichen Literatur und in der Presse veröffentlicht werden.

64% der Probanden wünschen eine noch stärkere Herausarbeitung der praktischen Bedeutung des erarbeiteten neuen Wissens.

### **Zusammenfassung**

Die Unterrichtsform Lernen an Stationen gefällt den Schülerinnen und Schülern im Allgemeinen gut. Beim Lernen an Stationen werden die Schülerinnen und Schüler stärker an die Anforderungsbereiche der Bildungsstandards herangeführt. Darüber hinaus ist beim Lernen an Stationen unbedingt notwendig, Gelegenheiten im Stationsbetrieb einzubauen, die eine Rückkopplung der Schülerinnen und Schüler bezüglich der Erkenntnissicherung ermöglichen.

## **7 Umsetzung von Basiskompetenzen**

### **7.1 Bildungsstandards**

Im Dezember 2004 hat die Kultusministerkonferenz Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10) in den Fächern Biologie, Chemie, Physik beschlossen.

Diese Bildungsstandards greifen allgemeine Bildungsziele auf und legen fest, welche Kompetenzen die Schülerinnen und Schüler bis zu einer bestimmten Jahrgangsstufe an wesentlichen Inhalten erworben haben sollen. Die Bildungsstandards konzentrieren sich auf Kernbereiche eines Fachs und beschreiben erwartete Lernergebnisse. Die Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz stellen eine Mischung aus Inhalts- und Outputstandards dar. Sie beziehen sich auf das im Durchschnitt erwartete Niveau der Leistungen von Schülerinnen und Schülern am Ende der Jahrgangsstufe 4 (in der Mehrzahl der Länder erfolgt danach der Übergang in die weiterführende Schule), beim Hauptschulabschluss bzw. beim Mittleren Schulabschluss und sind damit Regelstandards [BAUMERT 2000].

## 7.2 Kompetenzbegriff

In einer Überblicksarbeit zeigte der Erziehungswissenschaftler und Psychologe FRANZ WEINERT [WEINERT 1999], dass eine Vielzahl unterschiedlicher Kompetenzbegriffe verwendet werden, die eine weite Spanne abdecken. Von angeborenen Persönlichkeitsmerkmalen (z. B. Begabung, Intelligenz) bis hin zu erworbenem, umfangreichem Wissensbesitz, von fächerübergreifenden Schlüsselqualifikationen bis hin zu fachbezogenen Fertigkeiten. WEINERT hat den Kompetenzbegriff umfassend wie folgt definiert:

*„Kompetenzen sind die bei Individuen verfügbaren sowie die damit verbundenen motivationalen (antriebsorientierten), volitionalen (durch Willen beeinflussbaren) und sozialen (kommunikationsorientierten) Bereitschaften und Fähigkeiten, die Problemlösungen in variablen Situationen nutzen zu können“* [WEINERT 2002].

In den Bildungsstandards wurde der Kompetenzbegriff als Disposition zur Bewältigung bestimmter Anforderungen beschrieben [KMK 2004].

Kompetenz ist nach diesem Verständnis eine Disposition (Verfügungswissen und Können), die Personen befähigt bestimmte Arten von Problemen erfolgreich zu lösen, also konkrete Anforderungssituationen eines bestimmten Typs zu bewältigen. Die individuelle Ausprägung der Kompetenz wird nach Weinert von verschiedenen Facetten bestimmt:

- Fähigkeiten,
- Wissen,
- Verstehen,
- Können,
- Handeln,
- Erfahrung,
- Motivation.

Das Zusammenspiel dieser Facetten soll an einem Beispiel illustriert werden, bei dem die kommunikative Handlungsfähigkeit als Bildungsziel vorgegeben ist. Die so verstandene

Physikkompetenz drückt sich darin aus,

- wie gut man kommunikative Situationen bewältigt (Handeln und Erfahrung),
- wie gut man physikalische Erkenntnisse versteht (Verstehen) und selbst adressatengerecht Alltagsphänomene beschreiben, erklären und untersuchen kann (Können),
- wie gut man fähig ist experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle zu nutzen (Fähigkeit und Wissen), oder den Sinn zu akzeptieren, die Mikro und Makronatur zu erforschen.

### 7.3 Kompetenzmodellierung

Die Kompetenzen kann man in verschiedene Kompetenzmodelle einteilen. SCHECKER gliedert die Kompetenzen in folgende vier Kompetenzmodellarten (Abb. 7.1):

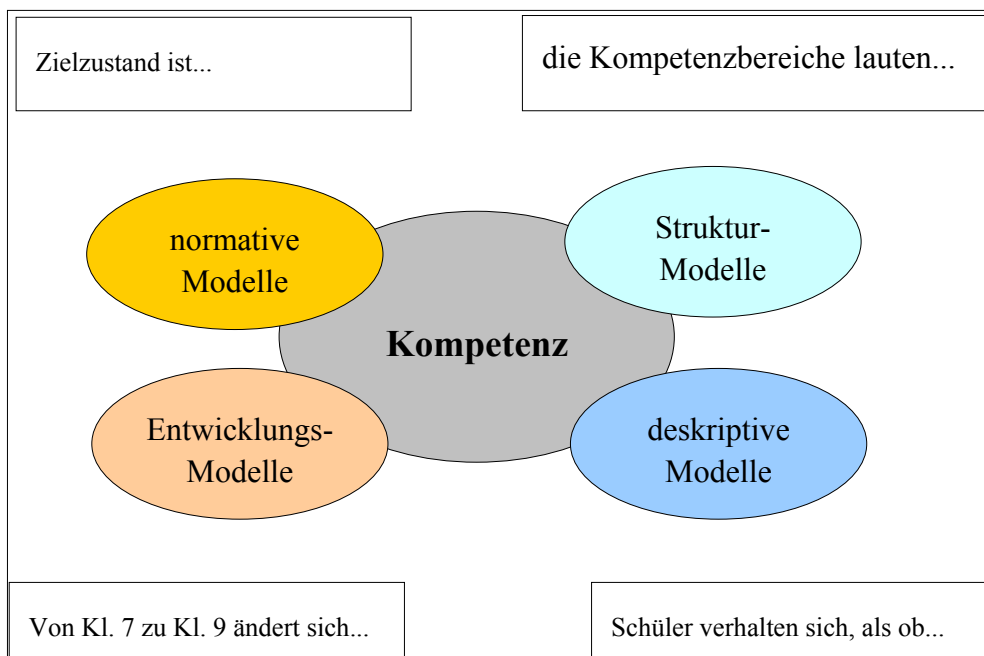


Abb. 7.1: Kompetenzmodellierung [SCHECKER 2006]

1. **normatives Modell:** Beschreibung des Gefüges der Fähigkeiten, über die ein Lernender verfügen soll.
2. **deskriptives Modell:** Beschreibung eines „typischen“ Gefüges von Fähigkeiten, mit dem man die Testleistungen von Lernenden rekonstruieren bzw. erklären kann.
3. **Struktur-Modelle:** Beschreibung der Zuordnung von Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler nach Inhalt des Lernstoffs.
4. **Entwicklungs-Modelle:** Beschreibung der Zuordnung von Fähigkeiten der Schülerinnen und Schülern nach ihrem Schuljahr.

Es handelt sich um die dreistufige Beschreibung von Kompetenzerwartungen in vier Bereichen: Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung.



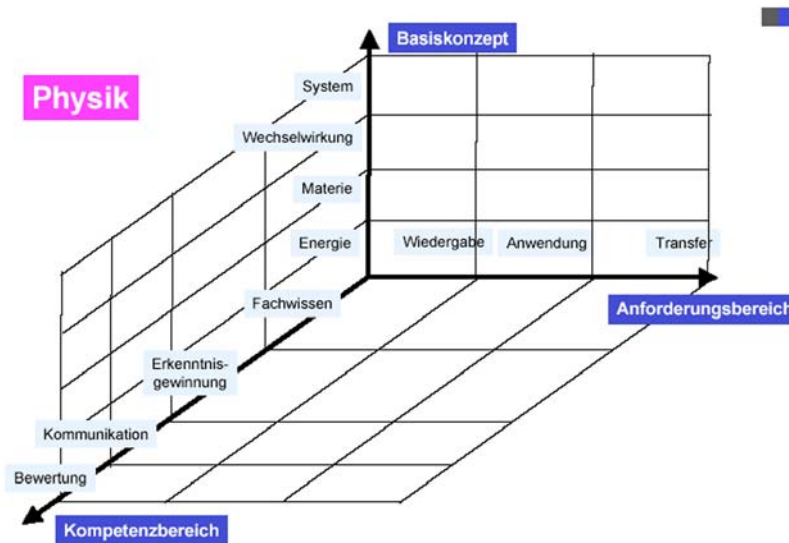


Abb. 7.2: Darstellung der Kompetenzen in einem drei Dimensionen Koordinator [SCHECKER 2006].

Der Kompetenzbereich „Fachwissen“ wurde in ein drei Stufenniveau gegliedert: Wiedergabe, Anwendung und Transfer. Darüber hinaus wurde das Fachwissen in vier wesentliche Basiskonzepte eingeteilt: System, Wechselwirkung, Materie und Energie.

#### 7.4 Einschätzung der Aufgabenstellungen der 10 Lernstationen bezüglich der Bildungsstandards durch Experten

In den Untersuchungsklassen ist zu analysieren, in wieweit die Schülerinnen und Schüler normgerechte Kompetenzen der nationalen Bildungsstandards erreicht haben. Dazu ist es zunächst notwendig zu wissen, welche Kompetenzen beim Lernen an Stationen der Themeneinheit „Photovoltaik“ Berücksichtigung finden.

Zur Umsetzung der Bildungsstandards wurden zunächst die Aufgabenstellungen aller 10 Stationen nach den Bildungsstandards des Faches Physik für den Mittelschulabschluss untersucht. Die Arbeitsblätter der Schülerinnen und Schüler wurden von zehn Experten (Fachseminarleitern und Gymnasiallehrer) analysiert und den nationalen Bildungsstandards zugeordnet.

Danach wurden zu ausgewählten Kompetenzen die Anforderungsstufen für jede Aufgabenstellung analysiert und mit einer Mustertabelle verglichen.

An den Stationen wurden anhand der Aufgabenstellungen unterschiedliche Kompetenzen von den Lernenden gefordert. Im Mittelpunkt standen Aufgaben, die typische Kompetenzen der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen fördern wie z.B.

- Hypothesenbildung (Formulierung von Hypothesen)
- Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothesen
- Deuten der experimentellen Ergebnisse

- Messergebnisse dokumentieren, auswerten und präsentieren.

In folgenden werden die Wertungen der Experten zu ausgewählten typischen Kompetenzen aus den 10 Lernstationen vorgestellt.

**Hypothesenbildung:** Formuliere eine Hypothese (Vermutung) für einen möglichen Zusammenhang von zwei physikalischen Größen. Diese Kompetenz wird bei folgenden Aufgabenstellungen gefordert (siehe Anhang A1):

Station	4,5,6,8	7
Aufgabe	1	2.1

Anhand dieser Aufgaben sollen die Schülerinnen und Schüler mit der Hilfe ihrer Kenntnisse und Erfahrungen eine Vermutung formulieren.

Der Vergleich dieser Aufgabenstellungen zeigt eine Übereinstimmung mit den Bildungsstandards der Physik Fachwissenskompetenz F4 (Stufe I), Kompetenz Erkenntnisgewinnung E6 (Stufe II) und Kompetenz Kommunikation K2 (Stufe II)

(siehe Anhang A1).

Die Einschätzungen sind der Experten bezüglich dieser Aufgabenstellung sind in Tab. 7.1 dargestellt. Aus dieser Tabelle ist zu erkennen, dass die Einschätzungen der Experten nicht übereinstimmen.

Es treten insbesondere Abweichungen bei der Zuordnung der Anforderungsstufen auf.

	I	II	III
<b>F</b> (Fachwissen)	1F5 4F4*	1F5 1F3	
<b>E</b> (Erkenntnisgewinnung)	2E6	7E6	
<b>K</b> (Kommunikation)	2K1 1K7	3K2	
<b>B</b> (Bewertung)			

Tab. 7.1: Kompetenzen der Aufgabenstellungen, Hypothesen zu formulieren. Anzahl der Experten steht ganz vorn.

**Anmerkung: 4F4\***

4: die Anzahl der Experten

F4: die Kompetenz nach KMK 2004

### Durchführung von Experimenten zur Prüfung einer Hypothese

Diese Kompetenz ist in den folgenden Aufgaben gefordert (siehe Anhang A1):

Station	4,5,6,8	7
Aufgabe	2	2.2

Die Aufgabestellung gliedert sich in folgende drei Teilaufgaben:

- Entwirf eine Skizze für die Experimentieranordnung zur Prüfung deiner Hypothese. Welche experimentelle Folgerung leitest du aus deiner Hypothese ab? Welche Messgeräte benötigst du?

- b) Aufnahme von Messreihen
- c) Grafische Auswertung

Diese Aufgaben stellen den Schwerpunkt der Kompetenzentwicklung in den Lernstationen „Photovoltaik“ dar.

Die Schülerinnen und Schüler sollen mit vorgegebenen Materialien selbstständig arbeiten, um ihre Hypothese zu prüfen. Die Aufgaben stimmen mit der Kompetenz Erkenntnisgewinnung E8 der Bildungsstandards Physik überein.

*E8: Die Schülerinnen und Schüler planen einfache Experimente, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse.[KMK 2004]*

Diese Aufgabenstellung wurde bis auf eine Ausnahme von den Experten einheitlich der Kompetenz E8 zugeordnet (siehe Tab. 7.2). Die Anforderungsstufung wurde unterschiedlich eingeschätzt.

Darüber hinaus fordert diese Aufgabenstellung die Schülerinnen und Schüler auf, die Versuchsplanung in den Arbeitsgruppen zu diskutieren und das Experiment selbstständig durchzuführen. Über 50% der Experten ordneten diese Kompetenz F3 (Stufe II) und K5 (Stufe II) zu (Tab. 7.2).

	I	II	III
<b>F</b>		<b>7F3, 2F2</b>	
<b>E</b>	<b>1E8</b>	<b>2E8</b>	<b>7E8</b> 1E9
<b>K</b>	<b>1K1</b>	<b>5K5</b>	<b>1K5</b>
<b>B</b>			

*Tab. 7.2: Kompetenzen der Aufgabenstellung: Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese*

### Deuten der experimentellen Ergebnisse

Diese Kompetenz ist in den folgenden Aufgaben gefordert:

Station	4,5,6,8	7
Aufgabe	3	2.3

Die Aufgabenstellung gliedert sich in zwei Bereiche:

- a) Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung!
- b) Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

Um die Hypothese selbst zu prüfen, müssen die Schülerinnen und Schüler folgende Tätigkeiten ausführen:

- Verallgemeinern der gemessenen Daten,
- Vergleichen der experimentellen Ergebnisse mit der aufgestellten Hypothese,
- Diskutieren und Präsentieren der Ergebnisse mit anderen Schülern.

Diese Kompetenzen entsprechen F3 (Stufe II), E9 (Stufe II) und K7 (Stufe 7).

Aus der Tab. 7.3 ist jedoch zu erkennen, dass die Einschätzungen der Experten sehr weit auseinander gehen.

- Nur 40% der Experten sind der Meinung, dass diese Aufgaben zur Kompetenz Fachwissen Physik F3 gehören.

Für die Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung und Kommunikation sind die Wertungen etwas besser. 50% der Experten ordnen diese Aufgabenstellung dem Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung zu.

Zwei Experten sind der Meinung, dass diese Aufgaben zum Kompetenzbereich Bewertung B1 zugeordnet wird.

	I	II	III
<b>F</b>	2F1	<b>4F3</b>	
<b>E</b>	2E1	<b>5E9</b>	
<b>K</b>	1K7	<b>2k7 5K1</b>	
<b>B</b>		<b>2B1</b>	

Tab. 7.3: Kompetenzen der Aufgabenstellungen Deuten der experimentellen Ergebnisse

### Festigungs- und Anwendungsaufgaben

Damit die Schülerinnen und Schüler ihre Kenntnisse festigen und anwenden können, wurden in den folgenden Stationen Übungsaufgaben eingesetzt.

Station	1,4,5,6,8	7	10
Aufgabe	4	3.1, 3.2, 3.3	4,5

50% der Experten haben diese Aufgaben der Fachkompetenz F2 zugeordnet (Tab. 7.5). Es wurden jedoch auch von den Experten andere Kompetenzbereiche gewählt (siehe Anhang A1).

	I	II	III
<b>F</b>	1F2	<b>4F2 1F3</b>	
<b>E</b>	1E2	1E4	
<b>K</b>			1k1
<b>B</b>			

Tab. 7.4: Kompetenz beim Lösen der Festigungs- und Anwendungsaufgaben

### Bewertungsaufgaben

An der Station 9 hatten die Schülerinnen und Schüler ökologische und ökonomische Probleme auf Grundlage fachlicher Kenntnisse kritisch zu werten. Die Experten ordneten jedoch diese Aufgaben den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung E4 und Fachwissen F3 zu (Tab. 7.5).

	I	II	III
<b>F</b>		<b>3F3</b>	
<b>E</b>		<b>2E4 1E2</b>	<b>E9</b>
<b>K</b>			
<b>B</b>			

Tab. 7.5: Kompetenz der Bewertungsaufgaben

### Zusammenfassung

Die Aufgabenstellungen der einzelnen Stationen (1-10) wurden hinsichtlich der Kompetenzanforderungen vom Autor und von den Experten analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass die Zuordnung der Aufgabenstellungen zu den vier Kompetenzbereichen (Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung) von den meisten Experten einheitlich erfolgte.

Große Unterschiede treten bei der Zuordnung der Aufgabenstellungen zu den Anforderungsbereichen auf. Die Hauptursachen sieht der Autor in den unzureichenden Erläuterungen der Bildungsstandards zu den Anforderungsbereichen und den Erfahrungen der Experten bei der Bewertung von Kompetenzen. Zukünftig müssen den Lehrerinnen und Lehrern eindeutige Kriterien zur Verfügung gestellt werden. Ein Ausweg könnte darin bestehen, dass die in den Aufgaben gestellten Tätigkeiten in Anforderungsniveaus gestuft werden.

### 7.5 Messung der angeeigneten Kompetenzen anhand der Arbeitsblattanalyse

In diesem Abschnitt werden die Kompetenzen hinsichtlich ihrer qualitativen Umsetzung analysiert, die in den Aufgabenstellungen der Arbeitsblätter gefordert werden.

Nach Einschätzung der Experten (Fachseminarleiter) werden in den Aufgabenstellungen der Arbeitsblätter alle vier Kompetenzbereiche der Bildungsstandards angesprochen.

#### Kompetenzbereich Fachwissen

In den Aufgabenstellungen der Arbeitsblätter überwiegen die Kompetenzen F2 und F3:

*Die Schülerinnen und Schüler*

*F2: geben ihre Kenntnisse über physikalische Grundprinzipien, Größenordnungen, Messvorschriften, Naturkonstanten sowie einfache physikalische Gesetze wieder,*

*F 3 nutzen diese Kenntnisse zur Lösung von Aufgaben und Problemen [KMK 2004]*

Diese Kompetenzen werden bei folgenden Aufgabenstellungen gefordert (siehe Anhang A1):

Station	1,4,5,6,8,	7	10
Aufgabe Nr.	4	3.1, 3.2, 3.3	4,5

Die Lösungen dieser Aufgaben der Schülerinnen und Schülern der Untersuchungsgruppe wurden ausgewertet. Die gesamte Punktzahl der Aufgaben wurde in der Abb. 7.3 dargestellt.

Für die Lösungen dieser Aufgaben 4 (Stationen 1,4,5,6,8), 3.1, 3.2, 3.3 (Station 7) und 4,5 (Station 10) wurden insgesamt 11 Punkte vergeben. Die von den Schülerinnen und Schülern erreichten Punktzahlen sind in der Abb. 7.3 dargestellt.

Einen stark signifikanten Unterschied ( $p < 0,01$ ) zeigt auch der Vergleich der erreichten Punktzahlen im Kompetenzbereich Fachwissen von Schülerinnen und Schülern der Realschule und des Gymnasiums. Aus der Tab. 7.6 ist deutlich zu erkennen, dass die Schülerinnen und Schüler des Gymnasiums deutlich bessere Ergebnisse im Kompetenzbereich Fachwissen F2 erreichten als die Schülerinnen und Schüler der Realschule.

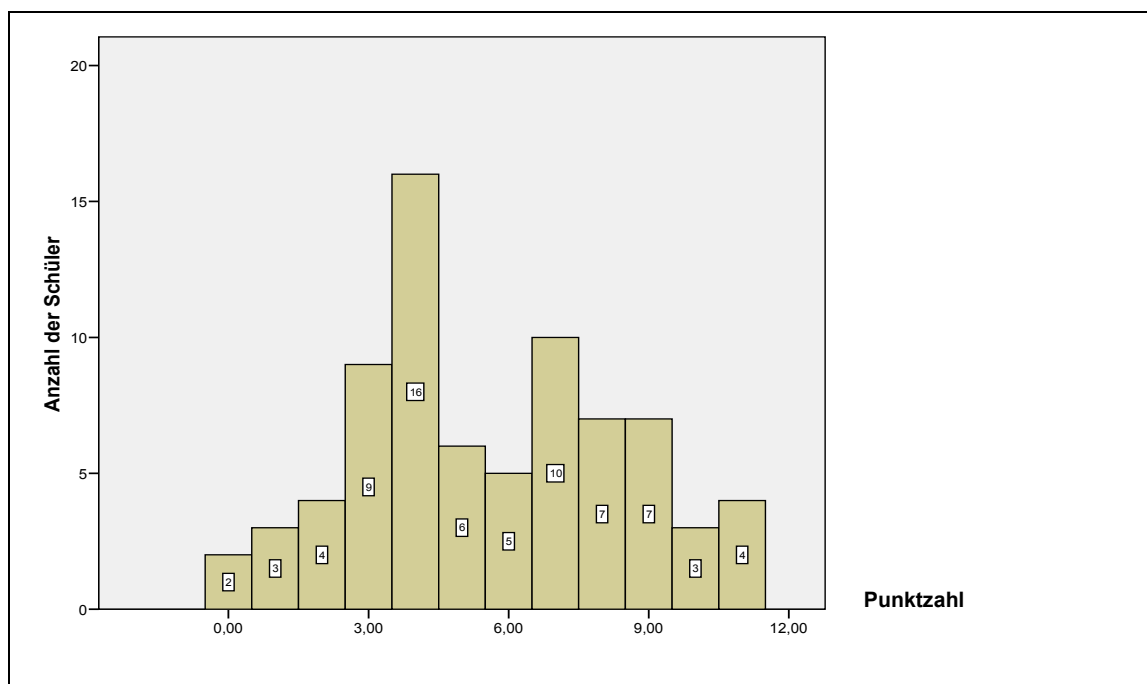


Abb. 7.3: Gesamte Noten der Schülerinnen und Schülern zu den Kompetenzen F2, F3

Die Ursache für diesen Leistungsunterschied kann darin gesehen werden, dass die Schülerinnen und Schüler der Realschule bisher wenig physikalische Aufgaben gelöst haben. Die Kompetenz F2 ist in der Realschule wenig gefordert worden.

Schulform	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Realschule	18	3,61	2,40	0,57
Gymnasium	58	6,20	2,67	0,35

Tab. 7.6: Vergleich der Mittelwerte der erreichten Punktzahlen von Schülerinnen und Schülern der Realschule und des Gymnasiums

## Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung

### Die Schülerinnen und Schüler

#### E 6 stellen an einfachen Beispielen Hypothesen auf, [KMK 2004]

In den 10 Lernstationen trifft die Kompetenz E6 der Erkenntnisgewinnung in folgenden Aufgabenstellungen auf:

Station	4,5,6,8,	7
Aufgaben Nr.	1	2.1

Pro sinnvoller Hypothese wurde ein Punkt zugeordnet. Der Mittelwert der erreichbaren Punktzahlen ist in Abb. 7.4 dargestellt. Die Schülerinnen und Schüler beider Schulformen erreichten über 50% der maximalen Punktzahl, wobei die gymnasialen Probanden aussagekräftigere Hypothesen formulierten.

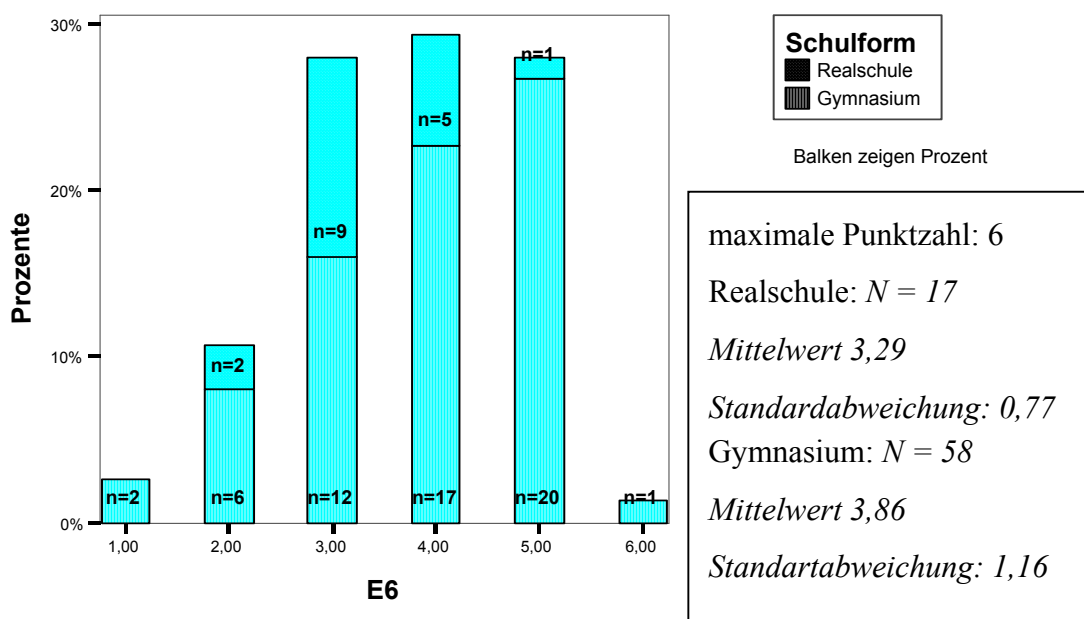


Abb. 7.4: Gesamte Noten zum Kompetenz E6 im Vergleich der Schulform

### Die Schülerinnen und Schüler

E 8 planen einfache Experimente, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse, [KMK 2004]

Die Kompetenz E8 wurde in folgenden Aufgabenstellungen mit entsprechend maximalen Punktzahlen ausgewertet:

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	10	Summe	
Aufgaben Nr.	2.1	2.2	3	3	2	2	2	2.2	2	3	
Punktzahlen	2	2	2	2	6	4	3	4	2	1	<b>28</b>

Der Mittelwert der erreichten Punktzahlen (Tab. 7.7) der Realschülerinnen und Realschüler (17,7) ist etwas größer als der von den gymnasialen Probanden (17,2). Daraus kann gefolgert werden, dass die Aufgabenstellungen der Lernstationen Photovoltaik sowohl für die gymnasiale Schule als auch für Realschulen geeignet sind.

	Schulform	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
E6	Realschule	17	3,29	0,77	0,19
	Gymnasium	58	3,86	1,16	0,15
E8	Realschule	17	17,76	5,83	1,41
	Gymnasium	58	17,21	4,67	0,61
E9	Realschule	17	12,24	4,52	1,09
	Gymnasium	58	10,72	4,22	0,55
E10	Realschule	17	6,71	2,39	0,58
	Gymnasium	58	6,47	3,19	0,42

Tab. 7.7: Mittelwertvergleich der erreichten Punktzahlen

### Die Schülerinnen und Schüler

E9: werten gewonnene Daten aus, ggf. auch durch einfache Mathematisierungen [KMK 2004]

Die Kompetenz E9 wurde in folgenden Aufgabenstellungen gefordert:

Station	2	3	4	5	6	7	8	10	Summe
Aufgaben Nr.	5	5	3	3	3	2.3	3	3	
Punktzahlen	2	2	2	2	2	2	2	1	<b>15</b>

Die Schülerinnen und Schüler beider Schulformen erreichten gute Ergebnisse bei dieser Aufgabenstellung und wiesen damit nach, dass sie die Kompetenz E9 beherrschen. Die Schülerinnen und Schüler der Realschule erreichten einen größeren Mittelwert als die Probanden des Gymnasiums. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant mit  $p=0,23$  (Tab. 7.8).



			T-Test für die Mittelwertgleichheit								
			T		df	Sig. (2-seitig)		Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
			Untere	Obere	Untere	Obere	Untere	Obere	Untere	Obere	
E6	Varianzen gleich	sind	-1,893	73	,062	-,56795	,30009	-	,03013		
	Varianzen nicht gleich	sind	-2,352	39,420	,024	-,56795	,24144	-	-,07975		
E8	Varianzen gleich	sind	,409	73	,684	,55781	1,36364	-	3,27553		
	Varianzen nicht gleich	sind	,362	22,363	,721	,55781	1,54015	-	3,74889		
E9	Varianzen gleich	sind	1,279	73	,205	1,51116	1,18192	-	3,86672		
	Varianzen nicht gleich	sind	1,230	24,748	,230	1,51116	1,22842	-	4,04244		
E10	Varianzen gleich	sind	,288	73	,774	,24037	,83552	-	1,90555		
	Varianzen nicht gleich	sind	,336	34,357	,739	,24037	,71517	-	1,69321		

Tab. 7.8: Mittelwertvergleichstest des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung  
Die Schülerinnen und Schüler

E 10: beurteilen die Gültigkeit empirischer Ergebnisse und deren Verallgemeinerung [KMK 2004]

Diese Kompetenz wurde in folgenden Aufgabenstellungen gefordert:

Station	1	2	3	5	6	7	8	10	Summe
Aufgaben Nr.	3	4	4	4	4	2.4	4	3	
Punktzahlen	3	1	1	1	1	1	1	1	<b>10</b>

Aus der Tab. 7.7 ist erkennbar, dass die Schülerinnen und Schüler beider Schulformen über 50% der maximalen Punktzahlen erreichten. Der Unterschied beim Vergleich der Schulformen ist nicht signifikant.

### Kompetenzbereich Kommunikation

Die Schülerinnen und Schüler

K 5 dokumentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit [KMK 2004],

Die Kompetenz K5 wurde in allen Aufgabenstellungen verlangt. Die maximale Punktzahl betrug 44.

#### Die Schülerinnen und Schüler

K 7 diskutieren Arbeitsergebnisse und Sachverhalte unter physikalischen Gesichtspunkten [KMK 2004]

Diese Kompetenz wurde in folgenden Aufgabenstellungen gefordert:

Station	2	3	4		5		6		7		8		10	Summe
Aufgaben Nr.	5	5	1	3	3	2,3	3	3	2	2	2	2	2	1
Punktzahlen	2	2	1	3										<b>15</b>

Aus Tab. 7.9 und Tab. 7.10. kann man deutlich erkennen, dass die Schülerinnen und Schüler sowohl der Realschule, als auch des Gymnasiums sehr hohe Punktzahlen im Kompetenzbereich Kommunikation erreichten. Der Unterschied zwischen den Schulformen ist nicht signifikant.

	Schulform	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
K5	Realschule	17	30,00	10,19	2,47
	Gymnasium	58	27,93	8,66	1,14
K7	Realschule	18	18,28	8,11	1,91
	Gymnasium	58	20,79	7,06	0,93

Tab. 7.9: Mittelwertvergleich zum Kompetenzbereich Kommunikation (a)

			T-Test für die Mittelwertgleichheit						
			T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
			Untere	Obere	Untere	Obere	Untere	Obere	Untere
K5	Varianzen sind gleich	sind	,832	73	,408	2,06	2,48	-2,89	7,02
	Varianzen sind nicht gleich	sind	,760	23,20	,455	2,06	2,72	-3,55	7,69
K7	Varianzen sind gleich	sind	-1,275	74	,206	-2,51	1,97	-6,44	1,41
	Varianzen sind nicht gleich	sind	-1,184	25,50	,247	-2,51	2,12	-6,88	1,85

Tab. 7.10: Mittelvergleich zum Kompetenzbereich Kommunikation (b)

## Kompetenzbereich Bewertung

### Die Schülerinnen und Schüler

*B2 vergleichen und bewerten alternative technische Lösungen auch unter Berücksichtigung physikalischer, ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte [KMK 2004],*

Die Kompetenz B2 wurde an der Station 9 gefordert, wobei die Schülerinnen und Schüler sechs qualitative Aufgaben zu lösen hatten. Es waren maximal 6 Punkte zu erreichen.

Aus Tab. 7.11 ist erkennbar, dass die Schülerinnen und Schüler sowohl vom Gymnasium als auch von der Realschule nur niedrige Punktzahlen erreichten. Die Ursachen für dieses Ergebnis können damit erklärt werden, dass die Schülerinnen und Schüler beider Schulformen im bisherigen Unterricht selten qualitative Aufgaben gelöst haben.

	Schulform	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
B2	Gymnasium	58	1,63	1,723	0,22
	Realschule	17	0,23	,437	0,11

Tab. 7.11: Mittelwertvergleich zum Kompetenzbereich Bewertung

## Zusammenfassung

Quantitative und statistische Auswertung der Arbeitsblätter zum Stationenbetrieb belegen überzeugend, dass die Schülerinnen und Schüler der Realschule und des Gymnasiums in der Lage sind, selbstständig Aufgabenstellungen zu lösen, die den vier Kompetenzbereichen der Bildungsstandards entsprechen. Dieses Ergebnis bestätigt die Hypothese 4, dahingehend, dass die Lernenden durch die Unterrichtsreihe „Photovoltaik“ spezifische Beiträge zur Ausbildung und zum Trainieren von grundlegenden naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen der Physik (Kompetenzen) fördert und unterstützt.

# 8 Zusammenfassung und Ausblick

## 8.1 Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit liegen in folgenden Materialien vor:

2. Ein entwickeltes und in der Schulpraxis bzw. in der Lehrerbildung erprobtes Unterrichtskonzept zum **selbstständigen Wissens- und Könnenserwerbs** an Lernstationen für den Themenbereich „Photovoltaik“ (siehe Anhang A1 S. 146)
3. Ein entwickeltes und in der Schulpraxis erprobtes Unterrichtskonzept für den lehrerzentrierten Frontalunterricht zum Themenbereich „Photovoltaik“ (siehe Anhang A2 S 200)
4. Eine empirische Untersuchung zum Themenbereich Photovoltaik zur Messung des Lernzuwachses und wesentlicher naturwissenschaftlicher Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler an Realschulen und Gymnasien.
5. Eine Analyse der fachwissenschaftlichen Grundlagen zur Photovoltaik
6. Eine Elementarisierung der photovoltaischen Grundlagen für den Schulunterricht an Realschulen und Gymnasien.
7. Eine Analyse der Schülervorstellungen zur Photovoltaik in der Primärstufe und Sekundarstufe I.
8. Testmaterialien zur Ermittlung des Wissens- und Könnenszuwachses sowie zur Interessens- und Selbstwirksamkeitsanalyse.
9. Analysematerialien zur Umsetzung der Bildungsstandards im Themenbereich Photovoltaik.

## 8.2 Resümee der Untersuchungen

**Hypothese 1:** *Es wird erwartet, dass die Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 10/11 in der Lage sind, sich selbstständig den Aufbau und die Funktionsweise von Solarzellen im Lernstationsbetrieb zu erarbeiten.*

Die Hypothese könnte im Rahmen der empirischen Untersuchungen bestätigt werden. Wie die Untersuchungen (Abschnitte 6.1.2 und 7.5) zeigen, wird durch den Lernstationsbetrieb ein Verstehen der Grundlagen der Photovoltaik ermöglicht. Dies zeigt sich insbesondere in den Ergebnissen des Posttests (Abschnitt 6.1.2) und in der Kompetenzdiagnostik von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (Abschnitte 7.5) der Arbeitsblätter.

**Hypothese 2:** *Es wird erwartet, dass die entwickelten Unterrichtskonzepte im lehrerzentrierten Frontalunterricht und im Lernstationsbetrieb **messbare Lernzuwächse** bewirken.*

Die Hypothese 2 konnte im Rahmen der empirischen Untersuchungen bestätigt werden. Wie der Vergleich des Sachwissens der Schülerinnen und Schüler im Vor- und Nachtest (siehe Abschnitt 6.1.2) zeigten, bewirkt sowohl der Frontalunterricht als auch das Lernen an Stationen im Sinne der entwickelten Konzepte signifikante Lernzuwächse.

Dieses Ergebnis belegt, dass die Lernenden der 10. und 11. Klassen in der Lage sind, sich neues Wissen und Können beim Lernen an Stationen selbstständig zu erarbeiten.

Aus den Evaluationsdaten (Seite 89, Abb. 6.2) ist auch zu erkennen, dass der Lernzuwachs der Mädchen tendenziell größer ist als der der Jungen. Es konnte registriert werden, dass die Mädchen gewissenhafter die Experimentieranleitungen und Handouts durcharbeiteten als die Jungen. Teilweise arbeiteten die Jungen oberflächlich und erreichten dadurch schlechtere Ergebnisse.

**Hypothese 3:** *Es wird erwartet, dass die schulspezifische Selbstwirksamkeitserwartung, die physikspezifische Selbstwirksamkeitserwartung und das Interesse an Physik, **Prädiktoren für den Lernerfolg** der Unterrichtsreihe „Photovoltaik“ sind.*

Als Prädiktoren für die Lernerfolge werden für das Interesse und die Selbstwirksamkeitstests (Abschnitt 5.4.2 und 5.4.4) hinreichend gute Operationalisierungen in Form relativer Skalen entwickelt. Überraschend deutlich stellte sich heraus, dass unter den drei hypothetisch angenommenen Prädiktoren nur die **physikbezogene Selbstwirksamkeitserwartung** als einziger Prädiktor einen Vorhersagebeitrag zum Lernerfolg liefert. Das heißt, neben der Wahl der Unterrichtsform (offen bzw. frontal) ist besonders die **Eigenverantwortlichkeit der Lernenden** zu stärken. Es sind im Unterricht den Schülerinnen und Schülern Gelegenheiten zu geben, sich selbst als kompetent und den Anforderungen des Unterrichts gewachsen zu erleben.

**Hypothese 4:** *Es wird erwartet, dass die Lernenden durch die Unterrichtsreihe „Photovoltaik“ spezifische Beiträge zur Ausbildung und zum Trainieren von grundlegenden naturwissenschaftlichen **Denk- und Arbeitsweisen der Physik** (Kompetenzen) fördern. Die geforderten Denk- und Arbeitsweisen entsprechen vom Inhalt und vom Anspruchsniveau den Anforderungen der nationalen Bildungsstandards.*

Diese Hypothese konnte ebenfalls im Rahmen der empirischen Untersuchungen (siehe Abschnitt 7.4 und 7.5) bestätigt werden. Beim Lernen an Stationen werden typische Basiskompetenzen der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweise gefördert wie z.B.

- Hypothesen formulieren,
- Experimente planen und durchführen,
- Messergebnisse dokumentieren, auswerten und präsentieren.

Die Basiskompetenzen wurden aus den ausgefüllten Arbeitsblättern der Schülerinnen und Schüler ermittelt und von Experten (Fachseminarleitern) eingeschätzt.

**Hypothese 5:** *Es wird erwartet, dass sich die Präkonzepte und Alltagsvorstellungen zur Photovoltaik identifizieren lassen und die Lernenden sich physikalisch verständliche Konzepte aneignen.*

Es lassen sich zahlreiche Alltagsvorstellungen zur Photovoltaik identifizieren. Die wesentlichen Präkonzepte sind in der Analyse des Vortests (Abschnitt 6.1.1 und 2.3.2) dargestellt. Insbesondere treten sogenannte Hybridvorstellungen von Solarzellen und Solarkollektoren auf. Sie verhindern physikalisch konsistente Argumentationsmuster sowie Vorhersagen über mögliche Abhängigkeiten der Solarzelle.

Der Nachtest (siehe Kapitel 6.1.1), sowie die Analyse der Arbeitsblätter (siehe Kapitel 7) belegen, dass die Schülerinnen und Schüler die Präkonzepte erkannt und sich physikalisch verständliche Konzepte angeeignet haben.

**Hypothese 6:** *Es wird erwartet, dass die Schülerinnen und Schüler nach Abschluss der Unterrichtsreihe in der Lage sind, populärwissenschaftliche Presseveröffentlichungen mit Hilfe von physikalischem Fachwissen kritisch zu werten.*

Diese Hypothese konnte ebenfalls im Rahmen der empirischen Untersuchungen bestätigt werden. Dazu wurden den Schülerinnen und Schülern Presseveröffentlichungen zur Photovoltaik aus der Frankfurter Allgemeinen Zeitung (FAZ) zur Bewertung ausgehändigt. Die statistische Auswertung der Tests belegt überzeugend, dass sich die Kritik der Schülerinnen und Schüler zu den FAZ-Veröffentlichungen im Verlauf der Erarbeitung der Kenntnisse über die Photovoltaik verändert hat (siehe Abschnitt 6.4). Die Schülerinnen und Schüler waren nach der Behandlung der Photovoltaik in der Lage, physikalisch

falsche und ökologisch oberflächliche Einschätzungen der Presse (FAZ) zu erkennen und fachlich überzeugend zu widerlegen.

### **8.3 Didaktisch Ertrag**

#### **Integrationsmöglichkeit**

Der Themenbereich „Photovoltaik“ ist ein Beispiel für ein relativ komplexes Oberstufenthema. Es bietet insbesondere eine Integrationsmöglichkeit zu zurückliegenden Unterrichtseinheiten der Elektrizitätslehre, zur Hypothesenbildung, zum selbstständigen experimentellen Arbeiten und zur Bewertung von Anwendungen. Dies deutet auf eine Vernetzung der Wissensinhalte durch die Lernenden hin und ermöglicht in Anlehnung an die Bildungsstandards eine übergreifende Sicht auf die Physik.

#### **Bildungsstandards und selbstständiges Arbeiten**

Der Themenbereich „Photovoltaik“ fördert die in den Bildungsstandards aufgeführten Kompetenzen. Eigenständiges und selbstgesteuertes Arbeiten bilden einen wesentlichen Gesichtspunkt, der die Kompetenzentwicklung der Schülerinnen und Schüler fördert.

#### **Alltagsvorstellungen**

Die Alltagsvorstellungen und Präkonzepte zu physikalischen Inhalten sind eine wesentliche Voraussetzung für Verstehensprozesse und für die Herausbildung physikalisch konsistenter Argumentationsmuster.

#### **Kompetenzerleben**

Neben der Wahl der Unterrichtsform ist für den individuellen Lernerfolg wichtig, dass im Unterricht solche Gelegenheiten geboten werden, die den Lernenden in die Stimmung versetzt, sich selbst als kompetent einzuschätzen und den Anforderungen des Unterrichts gewachsen zu sein.

#### **Sokratisches Unterrichtsgespräch**

Lernen und Lehren ist ein Geben und Nehmen. Nicht eine dozierende Lehrkraft vermittelt Wissen. Wissen wird vielmehr in einem Wechselspiel von Fragen, Nachfragen und Hinterfragen in einer Lerngruppe generiert. Insbesondere hilft das sokratische Unterrichtsgespräch bei der Überwindung von Alltagsvorstellungen und Präkonzepten.

#### **Genetisches Lehren**

Der Weg ist das Ziel, so lautet eine alte buddhistische Denkweise. Das gilt sicher auch für den Unterricht. Nicht das Wissen ist das einzige Ziel, sondern der Weg zum Wissen.

Die Lernenden sollen befähigt werden, sich Wissen eigenständig anzueignen. Das kann im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch, aber auch im Lernstationsbetrieb erfolgen. Ein wirksames Mittel, die Kompetenz zu einem genetischen Lernen aufzubauen, scheint die Nutzung selbstgesteuerter Lerneinheiten mit hohen Eigenarbeitsphasen zu sein.

### **Exemplarischen Lehren**

Es ist nicht nur nicht möglich das gesamte Wissen zu vermitteln, es ist sogar sehr bedenklich. Es sind exemplarische Wege der Wissensvermittlung aufzuzeigen, die eine ganze Klasse zu Problemlösungsmöglichkeiten auffordert. Die Behandlung der Photovoltaik stellt ein solches exemplarisches Unterrichtsthema dar.

## 9 Verzeichnisse

### 9.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Belegung der Grund- und Leistungskurse im Fachphysik im Schuljahr 1998/99 .....	6
Abb. 1.2:	Befunde aus den Videoanalysen des IPN [KASTENS 2006].....	8
Abb. 3.1:	Bohr'sches Atommodell .....	21
Abb. 3.2:	Energiezustände der Elektronen im Atom und im Festkörper .....	22
Abb. 3.3:	Fermi-Niveau in klassischer Verteilung und Fermi-Dirac-Verteilung .....	23
Abb. 3.4:	Leiter, Halbleiter und Nichtleiter .....	23
Abb. 3.5:	Bandabstand des Festkörpers .....	24
Abb. 3.6:	Anhebung von Elektronen vom Valenzband ins Leitungsband durch Einwirkung von Licht .....	24
Abb. 3.7:	Bändermodell eines dotierten Halbleiters mit Akzeptoren und Donatoren 28	
Abb. 3.8:	Donatoren und Akzeptoren .....	29
Abb. 3.9:	Die Diffusionsspannung des p-n-Übergangs .....	30
Abb. 3.10:	Ausbildung einer Raumladungszone im p-n-Übergang durch Diffusion von Elektronen und Löchern.....	31
Abb. 3.11:	Ablösung von Elektronen vom Valenzband ins Leitungsband in der Raumladungszone durch Einwirkung von Licht.....	33
Abb. 3.12:	Kennlinien einer Solarzelle .....	34
Abb. 3.13:	Aufbau eines Solarmoduls durch Reihen- und Parallelschaltungen .....	36
Abb. 3.14:	Darstellung des Füllfaktors einer Solarzelle .....	37
Abb. 4.1:	Didaktische Rekonstruktion .....	39
Abb. 4.2:	Darstellung im Bändermodell und im Teilchenmodell.....	40
Abb. 4.3:	p-Dotierung .....	41
Abb. 4.4:	n- Dotierung .....	41
Abb. 4.5:	n-p-Übergang in Bändermodell .....	41
Abb. 4.6:	Der n-p- Übergang im Teilchenmodell .....	42
Abb. 4.7:	Beeinflussung des Stromflusses in einem Halbleiter durch Beleuchtung..	47



Abb. 4.8:	Schnittdarstellung einer Solarzelle .....	50
Abb. 4.9:	Messung von Leerlaufspannung und Klemmenspannung.....	52
Abb. 4.10:	Mixschaltung .....	53
Abb. 4.11:	Belastete Solarzelle.....	58
Abb. 4.12:	Experimentieranordnung zur Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Leistung einer Solarzelle .....	58
Abb. 4.13:	P- $\eta$ -Diagramm.....	59
Abb. 4.14:	Lernzirkel.....	61
Abb. 4.15:	Beeinflussung des Leitungsvorganges in Halbleitern durch Licht.....	63
Abb. 4.16:	Versuchsaufbau und Schaltkreis.....	65
Abb. 4.17:	Darstellung einer Solarzelle im Schaltbild .....	65
Abb. 4.18:	Messung von Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung einer Solarzelle .....	66
Abb. 4.19:	Richtige Parallelschaltung .....	67
Abb. 4.20:	Fehlvorstellung über Parallelschaltung .....	67
Abb. 4.21:	Versuchsskizze zur Messung der Beleuchtungsstärke einer Lampe .....	70
Abb. 4.22:	Beleuchtungsstärke-Abstandsgesetz einer Halogenlampe .....	71
Abb. 4.23:	$I_L$ - E Diagramm .....	72
Abb. 4.24:	$U_L$ - E Diagramm.....	73
Abb. 4.25:	Änderung der bestrahlten Fläche bei nicht senkrechtem Einfall der Strahlung.....	74
Abb. 4.26:	Schaltung mit normaler Batterie.....	75
Abb. 4.27:	Skizze einer Solaranlage.....	77
Abb. 6.1:	Diagramm der Mittelwerte von Vor- und Nachtest für alle Items .....	88
Abb. 6.2:	Lernzuwachs Mädchen und Jungen.....	89
Abb. 6.3:	Summe aller Items zum Aufbau und zur Funktionsweise der Solarzelle..	90
Abb. 6.4:	Mittelwertvergleich im Themenbereich „Einfluss der physikalischen Größen auf die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke der Solarzelle“ .....	91
Abb. 6.5:	Mittelwertvergleich im Themenbereich „belastete Solarzelle und Anwendungen“ .....	92
Abb. 6.6:	Eigenwertverlauf (Scree-Diagramm) der gemeinsamen Faktorenanalyse mit allen Items .....	94

Abb. 6.7:	Mittelwertvergleich der Bewertung von Schülerinnen und Schüler zur Aussage 1 .....	102
Abb. 6.8:	Mittelwertvergleich der Schülerinnen und Schüler zur Aussage 3.....	103
Abb. 6.9:	Mittelwertvergleich der Schülerinnen und Schüler zur Aussage 4.....	104
Abb. 6.10:	Mittelwertvergleich der Bewertung der Schülerinnen und Schüler zur Aussage 5.....	105
Abb. 6.11:	Mittelwertvergleich zur Aussage 6.....	106
Abb. 6.12:	Mittelwertvergleich zur Aussage 7 .....	107
Abb. 6.13:	Mittelwertvergleich der Bewertung von Schülerinnen und Schüler zur Aussage 8 .....	108
Abb. 6.14:	Mittelwertvergleich der Bewertung der Schülerinnen und Schüler zur acht Aussagen .....	110
Abb. 6.15:	Überblick zur Bewertung der Schülerinnen und Schüler.....	110
Abb. 6.16:	Frage 1: „Was findest du am Lernen an Stationen gut?“ .....	111
Abb. 6.17:	Zur Frage 2: „Was findest du am Lernen an Stationen weniger gut?“ ....	112
Abb. 6.18:	Zur Frage 3: „Hattest du genügend Zeit die einzelnen Aufgaben zu bearbeiten?“ .....	113
Abb. 6.19:	Zur Frage 4: „Hast du das Gefühl während des Lernens an Stationen etwas gelernt zu haben?“ .....	113
Abb. 6.20:	Zur Frage 5. „Wenn du das Gefühl hast während des Lernens an Stationen etwas gelernt zu haben, worin siehst du die Ursache?“ .....	114
Abb. 6.21:	Zur Frage 6: „Lohnt sich deiner Meinung nach überhaupt der Aufwand des Arbeitens an Lernstationen?“ .....	115
Abb. 6.22:	Zur Frage 7: „Was würdest du an der Organisation oder am Inhalt der Lernstation Photovoltaik ändern?“ .....	115
Abb. 7.1:	Kompetenzmodellierung [SCHECKER 2006] .....	118
Abb. 7.2:	Darstellung der Kompetenzen in einem drei Dimensionen Koordinator [SCHECKER 2006]. .....	119
Abb. 7.3:	Gesamte Noten der Schülerinnen und Schülern zu den Kompetenzen F2, F3 .....	124
Abb. 7.4:	Gesamte Noten zum Kompetenz E6 im Vergleich der Schulform .....	125

## 9.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Schülervorstellungen der Sekundarstufe I zur Photovoltaik .....	16
Tab. 3.1:	Eigenleitungsichte verschiedener Materialien.....	26
Tab. 3.2:	Bandlücken $\Delta E$ bei Zimmertemperatur [KUHN 2002].....	27
Tab. 3.3:	Ionisierungsenergien für einige Dotierungselemente in Germanium und Silizium [WÜRFEL 1995].....	28
Tab. 4.1:	Leistungsfähigkeit und Grenzen.....	45
Tab. 4.2:	Planung der 1. und 2. Stunde.....	46
Tab. 4.3:	Planung der 3. Stunde.....	49
Tab. 4.4:	4. Stunde : Stromstärke und Spannungsmessung an Solarzellen .....	52
Tab. 4.5:	5. Stunde : Stromstärke- und Spannungsmessung an Solarzellen.....	54
Tab. 4.6:	Zeitplan zur 6. Stunde.....	56
Tab. 4.7:	7.Stunde: Die belastete Solarzelle .....	57
Tab. 4.8:	Gemessene Werte .....	59
Tab. 4.9:	8.Stunde: Ökonomische und ökologische Betrachtungen zur Produktion und zum Einsatz von Solarzellen.....	60
Tab. 4.10:	Überblick zu den Stationen.....	62
Tab. 4.11:	Reihenfolge der Bearbeitung der 10 Stationen.....	64
Tab. 4.12:	Zusammenfassung der Schaltungen von zwei Solarzellen.....	69
Tab. 4.13:	Beleuchtungsstärke, $E$ [in lux] einer Halogenlampe in Abhängigkeit vom Abstand $d$ [in cm] .....	70
Tab. 4.14:	Messwerte zur Beleuchtungsstärke $E$ , Leerlaufspannung $U_L$ und Kurzschlussstromstärke $I_K$ .....	72
Tab. 6.1:	Häufigkeitstabellen zum Aufbau und zur Funktionsweise der Solarzelle im Vortest .....	84
Tab. 6.2:	Häufigkeitstabellen zum Einfluss der physikalischen Größen auf die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke der Solarzelle im Vortest	85
Tab. 6.3:	Häufigkeitstabellen zur belasteten Solarzelle im Vortest.....	86
Tab. 6.4:	Häufigkeitstabellen zur Solaranlage und Anwendung im Vortest .....	87
Tab. 6.5:	Mittelwert der richtigen Antworten im Vortest.....	87
Tab. 6.6:	Bedeutung der Abkürzungen.....	88

Tab. 6.7:	Interkorrelationen zwischen Prädiktoren (Anmerkungen: * $p < 0,05$ , ** $p < 0,01$ ) .....	94
Tab. 6.8:	Rotierte Ladungsmatrix für die Zwei- und die Dreifaktorenlösung .....	96
Tab. 6.9:	A)Zusammenfassung der schrittweisen Regressionsanalyse B) Statistiken zur Änderung zwischen Modellen .....	98
Tab. 6.10:	Standardisierte und unstandardisierte Regressionskoeffizienten.....	98
Tab. 6.11:	Nicht in das Modell aufgenommene Prädiktoren .....	99
Tab. 6.12:	Zur Aussage 1: Zusammenhängender Flächenbedarf für Photovoltaikanlagen ist zu groß!.....	101
Tab. 6.13:	Zur Aussage 2: „Der Energieaufwand für die Herstellung ist höher als die später gelieferte Energie!“ .....	102
Tab. 6.14:	Zur Aussage 3: „Photovoltaik kann kein konventionelles Kraftwerk ersetzen.“.....	103
Tab. 6.15:	Zur Aussage 4: Kernenergie löst das Problem besser als Photovoltaikanlagen! .....	104
Tab. 6.16:	Bewertung der Schülerinnen und Schüler zur Aussage 5.....	105
Tab. 6.17:	Zur 6. Aussage „Die Leistung von Photovoltaikanlagen reicht nicht für Großverbraucher!“ .....	106
Tab. 6.18:	Zur Aussage 7 „Nur in südlichen Ländern scheint genug Sonne, um Solaranlagen effektiv zu nutzen!“.....	107
Tab. 6.19:	Meinung der Schülerinnen und Schüler zur Aussage 8.....	108
Tab. 6.20:	Multivariate Tests(b).....	109
Tab. 7.1:	Kompetenzen der Aufgabenstellungen, Hypothesen zu formulieren. Anzahl der Experten steht ganz vorn. ....	120
Tab. 7.2:	Kompetenzen der Aufgabenstellung: Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese.....	121
Tab. 7.3:	Kompetenzen der Aufgabenstellungen Deuten der experimentellen Ergebnisse .....	122
Tab. 7.4:	Kompetenz beim Lösen der Festigungs- und Anwendungsaufgaben.....	122
Tab. 7.5:	Kompetenz der Bewertungsaufgaben .....	122
Tab. 7.6:	Vergleich der Mittelwerte der erreichten Punktzahlen von Schülerinnen und Schüler der Realschule und des Gymnasiums .....	124
Tab. 7.7:	Mittelwertvergleich der erreichten Punktzahlen.....	126
Tab. 7.8:	Mittelwertvergleichstest des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung .....	127

---

Tab. 7.9:	Mittelwertvergleich zum Kompetenzbereich Kommunikation (a).....	128
Tab. 7.10:	Mittelvergleich zum Kompetenzbereich Kommunikation (b).....	128
Tab. 7.11:	Mittelwertvergleich zum Kompetenzbereich Bewertung.....	129

### 9.3 Verzeichnis der physikalischen Formelzeichen

Symbols	Einheiten	Namen	Seiten
f	[s <sup>-1</sup> ]	Frequenz der Licht	21
h	[J·s]	plancksche Wirkungsquantum	21
E <sub>g</sub>	[J]	Bandabstand	22
k	[J·K <sup>-1</sup> ]	Boltzmann-Konstante,	22
T	[K]	absolute Temperatur	22
E <sub>F</sub>	[J]	Fermi-Energie	22
f(E)	[-]	Besetzungswahrscheinlichkeit	22
D(E)	[-]	Zustandsdichte	25
m <sub>n</sub>	[kg]	effektiven Massen der Elektron	25
m <sub>p</sub>	[kg]	effektiven Massen der Löcher	25
m <sub>e</sub>	[kg]	Massen der Elektron	25
p	[-]	Löcherkonzentration	26
n	[-]	Elektronenkonzentration	26
ΔE	[J]	Bandabstand	26
n <sub>i</sub>	[-]	Eigenleitungs- bzw. Inversionsdichte	26
σ	[Ω <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup> ]	Leitfähigkeit	27
τ	[s]	Lebensdauer	27
e	[C]	Ladung eines Elektron	27
N <sub>D</sub>	[-]	Konzentration der Donatoren	27
N <sub>A</sub>	[-]	Konzentration der Akzeptoren	27
N <sub>L</sub>	[-]	effektiven Zustandsdichte im Leistungsband	28
N <sub>V</sub>	[-]	Zustandsdichte im Valenzband	28
E <sub>A</sub>	[J]	Ionisationsenergie	28
d <sub>n</sub> , d <sub>p</sub>	[m]	Breiten der Raumladungszonen	31
ε <sub>0</sub>	[A·s·V <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup> ]	Influenzkonstante	31
ε <sub>r</sub>	[-]	Dielektrizitätskonstante	31
I <sub>n</sub>	[A]	Diffusionsstrom	32

---

$D_n$	[-]	Diffusionskoeffizient der Elektronen	32
$L_n$	[m]	Diffusionslänge der Elektronen	32
$I_o$	[A]	Sättigungsstrom	323
G	[-]	Generation, Erzeugung	33
$I_K$	[A]	Kurzschlussstromstärke	345
$U_L$	[V]	Leerlaufspannung	35
P	[W]	Leistung	36
FF	[-]	Füllfaktor einer Solarzelle	37
$\eta$	[-]	Wirkungsgrad einer Solarzelle	38
$U_K$	[V]	Klemmenspannung	58
$R_a$	[ $\Omega$ ]	Außenwiderstand	58
$\vartheta$	[ $^{\circ}\text{C}$ ]	Außentemperatur	58
E	[lx]	Beleuchtungsstärke	70
d	[m]	Entfernung	70
$\Phi$	[lm]	Lichtstrom	70
A	[m <sup>2</sup> ]	Flächeinhalt	70
$\alpha$	[rad]	Einfallswinkel	75
r	[ $\Omega$ ]	Innerer Widerstand	75

## 9.4 Literaturverzeichnis

### BAUMERT 2000

BAUMERT, J. LEHMANN, R.: TIMSS- Mathematisch naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Opladen: Leske & Budrich. 2000

### BECKER 1998

BECKER, D.: Schülerpraktikum "Experimente mit Solarzellen" (ein Erfahrungsbericht). In: Zur Didaktik der Physik und Chemie, Tagung 1997, S. 173-175. 1998

### BMWA 2003

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.) :Reserven, Ressort und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2002, Berlin 2002

### BP 2004

BP, : BP Statistical Review of World Energy 2004. London. 2004

### COMENIUS 1954

COMENIUS, J.H.: Große Didaktik . Übersetzt und herausgegeben von F.Flitner, Dusseldorf, München: Kuepper.1954

### FAZ 2005

Gesammelte Presse Informationen aus der FAZ: Überschrift in der Frankfurter Allgemeinen Sonntagszeitung vom 23.10.2005, veröffentlicht in Presse-Info 4/94, Informationskreis Kernenergie.

### GOETBERGER 1997

GOETBERGER; A., VOß, B., KNOBLOCH, J.: Sonnenenergie: Photovoltaik. B.G.Teubner Stuttgart 1997

### HÄUSLER 1988

HÄUSLER, P. ETA. : Physikalische Bildung für heute und morgen- Ergebnisse einer curricularen Delphi- Studie. Kiel 1988

### HÄÜBLER 2002

HÄÜBLER, P., HOFFMANN, L., LANGEHEINE, R., ROST, J., SIEVERS, K.: Qualitative Unterschiede im Interesse an Physik und Konsequenzen für den Physikunterricht, In Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, J.g. 2, Heft3. 1996

### HEBER 2000

HEBER, J.: Hauptversammlung der Deutschen Vereine zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e.V., Saabrücken 1999



## HEPP 2004

HEPP, R. Fragestellung in Anlehnung an Ralph Hepp: Planung, Durchführung und Beurteilung von Projekten. Friedrich Verlag UP CD-ROM Projektorientierter Physikunterricht, 2004

## HORNS 1986

HORNS, O. F.: Die Ausgangs- und Leistungskennlinie einer Solarzelle. In: Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie, 34, 20, S. 34-36. 1986

## JERUSALEM 1981

JERUSALEM, M., SCHWARZER, R., . „Selbstwirksamkeit“ WIRK. In Skalen zur Befindlichkeit und Persönlichkeit (Forschungsbericht 5, S. 15-28) Berlin: Freie Universität. 1981

## JUNG 1995

JUNG, W.: Hast der Physikunterricht eine Zukunft? Überlegungen zum Verhältnis von Physik und Technik. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Biologie ,Chemie, Physik ZfdN, Heft 1, Sept. 1995

## KASTENS 2006

KASTEN, C.: Power point Vortrag zur GDCP- Zwischen Tagung, PH Heidelberg, unveröffentlichtes Material. März 2006

## KENNEY 2006

KENNEY-BENSON, G. A., POMERANTZ, E. M., RYAN, A. M. & PATRICK, H.: Sex Differences in Math Performance: The Role of Children's Approach to Schoolwork. *Developmental Psychology*, 42(1), S.11-26. 2006

## KIRCHER 2002

KIRCHER,E.,GIRWIDZ,R.,HAUßLER,P.: Physikdidaktik, 2. Auflage Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 2002

## KLAFKI 1996

KLAFKI, W.: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch- konstruktive Didaktik. 4. Auflage. Weinheim. Beltz. 1996

## KLIEME 2003

KLIEME, E. et al: Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Bonn Bundesministerium für Bildung und Forschung 2003

## KMK 2004

Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss, Beschluss von 16.12.2004, Luchterhand Verlag. 2004

## KUCZERA 1985

KUCZERA, J. :Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner, Band 20, Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig. 1985

## KUHN 2002

KUHN, W. u.a.: Handbuch der experimentellen Physik, Bd.3 und Bd.7, Aulis Verlag Deubner &Co KG .Köln. 2000

## MAYER 1997

MAYER, R.E.: Multimedia learning: Are we asking the right questions? In: Educational Psychologist, Vol. 32, No 1. 1997, pp. 1-19. 1997

## MEYER 2004

MEYER,C. Vorerfahrungen und Vorstellungen von Kindern zur Solarzelle. Wissenschaftliche Hausarbeit zur Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Grundschulen. Kassel. 2004

## MIKELSKIS 2006

MIKELSKIS, H.F. (Hrsg.) :Physik-Didaktik: Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Cornelsen Verlag Scriptor, Berlin 2006

## MONK 2000

MONK, M. und OSBORNE, J.: Good practice in science teaching. What does research have to say? Open University Press. Buckingham 2000

## MUCKENFUß 1995

MUCKENFUß, H. : Lernen im sinnstiftenden Kontext. Cornelsen Verlag. Berlin 1995

## MÜLLER 1999

MÜLLER,W : Lebensweltorientierung- ein Weg aus der Krise des Physikunterrichts, Evaluation der Wahlkurse „Physik und Medizin“, In: Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/ Chemie in München, Leuchtturm- Verlag. 1999

## MÜLLER 2006

MÜLLER;W: Vorlesungsskript „Einführung in die Physikdidaktik, Universität Koblenz- Landau, Campus Landau, unveröffentlichtes Material. 2007

## OECD 2004

OECD- Project: Teacher and curriculumreform in basic schooling, Lisbon Version, Sonderdruck OECD: Organisation for Economic Cooperation and Development. 2004

## RAINER 1996

RAINER, G., DAKCKE, H., LANGENSIEPEN, F. (Hrsg.): Handbuch des Physikunterrichts, Sekundarbereich I, Bd. 6 Aulis Verlag Deubner& Co KG. 1996

## SCHECKER 2005

SCHECKER, H. Modellierung physikalischer Kompetenz. GDCP Tagung 2005.

## SCHECKER 2006

SCHECKER, H., PARCHMANN, I. IPN - UYSEG Symposium: Standards in Science Education , Kiel 2006

## SCHMIDT 1994

SCHMIDT-WOLBRANDT, KONRAD: Solarzellen im Physikunterricht, In: Physik in der Schule, 32 , 5, S. 169-174. 1994

## SCHNOTZ 1999

SCHNOTZ, W., BANNERT, M.: Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. In Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 46. Jg., Heft 3. 1999

## SEIDEL 2004

SEIDEL; T., PRENZEL; M.: Muster unterrichtlicher Aktivitäten im Physikunterricht. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung. Münster Waxmann, S. 177-194. 2004

## SEILER 2002

SEILER, B.,HUBER,E., AESCHBACHER, U. : Vor wandernden Löchern wird gewarnt: Die Solarzelle laienfreundlich erklären, In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 51, S. 40-45. 2002

## SPSS 2004

BAUR, N., FROMM, S. (Hg.) : Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene. Ein Arbeitsbuch. Wiesbaden: VS-Verlag für Sozialwissenschaften 2004

## STEVENS 2004

STEVENS, T., OLIVAREZ, A. jr., Lan, W. Y. & TALLENT-RUNNELS, M. K. Role of Mathematics Self-Efficacy and Motivation in Mathematics Performance Across Ethnicity. Journal of Educational Research,, 97(4),S. 208-221. 2004

## VOLKMER 2003

VOLKMER, M.: Photovoltaik - Lehrplanthemen zugeordnet, In: Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, 14 77, S. 16-20. 2003

## WÜRFEL 1995

WÜRFEL, P.: Physik der Solarzelle Spektrum Akademischer Verlag.1995

## 10 Anhang

### 10.1 Anhang A: Das Unterrichtskonzept

#### 10.1.1 Anhang A1: Stationen und Musterlösungen

##### Station 01: Aufbau und die Funktionsweise einer Solarzelle

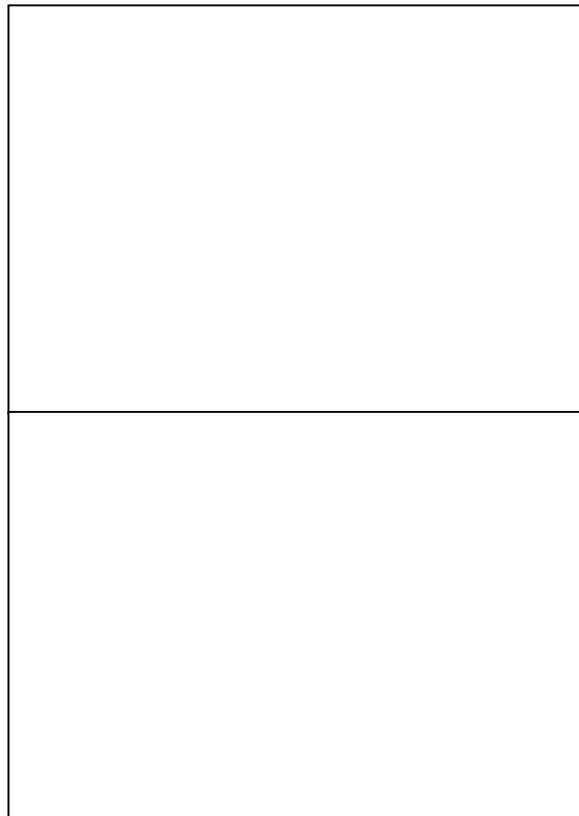
**Problemstellung:** Mit einer Solarzelle kann die Energie des Sonnenlichts direkt in elektrische Energie umgewandelt werden. Finde den Aufbau und die Funktionsweise einer Solarzelle heraus!

Wir werden mit Hilfe von Analogiebetrachtungen zwischen Halbleiterdiode und Solarzelle sowie mit Hilfe der Black-box-Methode der Aufbau und die Funktionsweise von Solarzellen kennen lernen.

#### Aufgaben

**1. Studiere das beiliegende Handout! Skizziere anschließend den Aufbau einer Solarzelle und einer Halbleiterdiode!**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

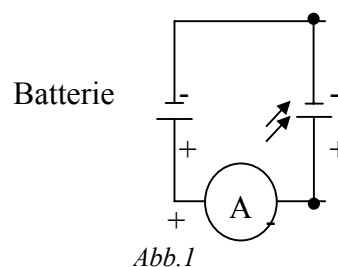


**2. Experimentelle Untersuchung der Funktionsweise einer Solarzelle**

Frage: Ist eine Solarzelle ähnlich aufgebaut wie eine Halbleiterdiode?

**2.1. Schalte eine Solarzelle in Durchlassrichtung, verdecke die Solarzelle mit einem schwarzen Blatt Papier und miss die Stromstärke (Abb. 1)!**

$I_{\text{Durchlassrichtung}} = \dots\dots\dots \text{A}$



**2.2. Schalte die Solarzelle in Sperrrichtung, decke die Solarzelle mit einem schwarzen Blatt Papier und miss die Stromstärke (Abb.2)!**

$I_{\text{Sperrrichtung}} = \dots\dots\dots \text{A}$

- Interpretiere deine experimentellen Ergebnisse von 2.1 und 2.2!

.....

.....

.....

.....

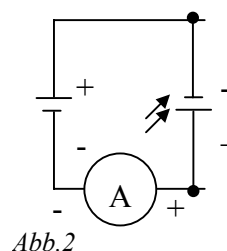
.....

- Vergleiche den Leitungsvorgang in einer Solarzelle mit dem einer Halbleiterdiode!

.....

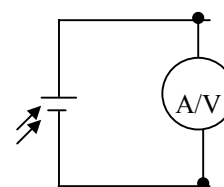
.....

.....



**2.3. Bestrahle eine Solarzelle mit Licht und messe  $U_L$  und  $I_K$ ! (Abb.3)**

$U_L$ (V)	
$I_K$ (A)	



$I_K$  nennt man Kurzschlussstromstärke der Solarzelle,

$U_L$  nennt man Leerlaufspannung der Solarzelle.

a) Interpretiere deine experimentellen Ergebnisse!

.....

.....

.....  
.....  
b) Wie würdest du den Photovoltaischen Effekt beschreiben?

.....  
.....  
**3. Beschreibe anhand der experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten die Funktionsweise einer Solarzelle. Überprüfe deine Beschreibung mit Hilfe der Hinweise im Handout!**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



**4. Skizziere folgendes Schaltbild!**

Eine Solarzelle wird mit einer Batterie in Sperrrichtung geschaltet.

Eine Solarzelle wird mit einer Batterie und Lampe geschaltet, damit die Lampe leuchtet.

**Handout!****Zur Erinnerung: Aufbau und Funktionsweise einer Halbleiterdiode**

**Aufbau:** Eine Silizium-Halbleiterdiode besteht aus einem Siliziumkristall, der durch Einbau von Fremdatomen über ein p-leitendes Gebiet (es überwiegen in diesem Gebiet positive Ladungsträger, die auch Defektelektronen genannt werden) und ein n-leitendes Gebiet (es überwiegen Elektronen) verfügt. Durch Diffusion von Elektronen aus dem n-Gebiet in das p-Gebiet und von Defektelektronen aus dem p-Gebiet in das n-Gebiet entsteht zwischen diesen beiden Gebieten eine Grenzschicht, in der Elektronen und Defektelektronen rekombinieren (Abb.1)

In dieser Grenzschicht ist deshalb die Konzentration der beweglichen Ladungsträger beider der Vorzeichen kleiner als außerhalb. Man bezeichnet diese Grenzschicht als p-n-Übergang. Im n-Gebiet bleiben örtlich gebundene positive Ionen, im p-Gebiet negative Ionen zurück. Dadurch entsteht im Innern des Kristalls ein elektrisches Feld mit der Feldstärke  $E$ . Es ist so gerichtet, dass es der weiteren Diffusion von Ladungsträgern entgegenwirkt. Man nennt es Diffusionsfeld.

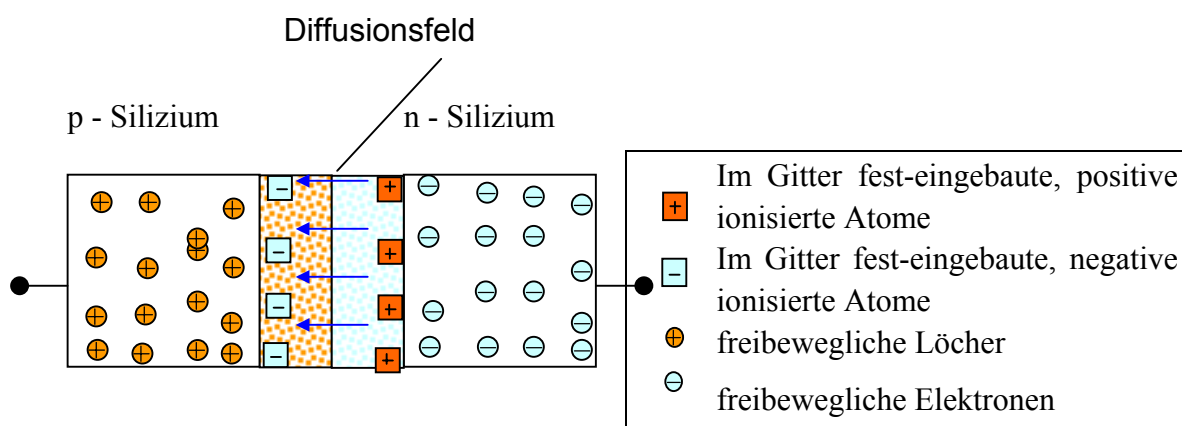


Abb.1: Aufbau einer Halbleiterdiode

Dieser, nur ein Bruchteil eines Millimeters breite, p-n-Übergang, ist für den Leitungsvorgang in einer Halbleiterdiode von entscheidender Bedeutung.

**Funktionsweise:**

Was passiert, wenn wir an eine Halbleiterdiode eine Gleichspannung anlegen?

Wenn der Pluspol einer Spannungsquelle mit dem n-Gebiet der Halbleiterdiode und der Minuspol mit dem p-Gebiet der Halbleiterdiode verbunden wird, dann bewegen sich die Elektronen im elektrischen Feld so, dass der p-n-Übergang breiter wird. Im p-n-Übergang sind sehr wenige freie Ladungsträger vorhanden. Es fließt kein Strom. Die Halbleiterdiode ist in Sperrrichtung geschaltet (Abb.2). Wird umgepolt, so bewegen sich die Elektronen und Defektelektronen so, dass der p-n-Übergang mit

Ladungsträger überschwemmt wird. Damit sind in der gesamten Halbleiterdiode freie Ladungsträgern vorhanden. Es fließt ein Strom. Die Halbleiterdiode ist in Durchlassrichtung geschaltet (Abb.3).

Hinweis: Wenn es möglich ist, schaue dir die Funktionsweise der Halbleiterdiode im Internet an Link: <http://www.zum.de/dwu/depotan/apet101.htm>

Solarzelle:

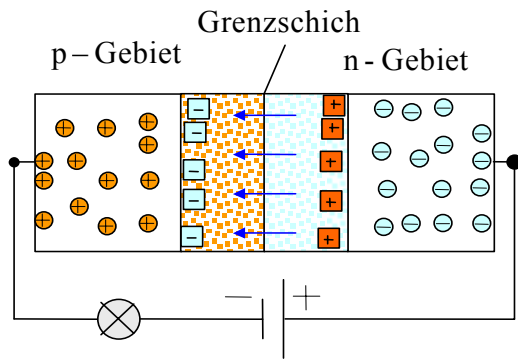


Abb.2: Halbleiterdiode in Sperrrichtung

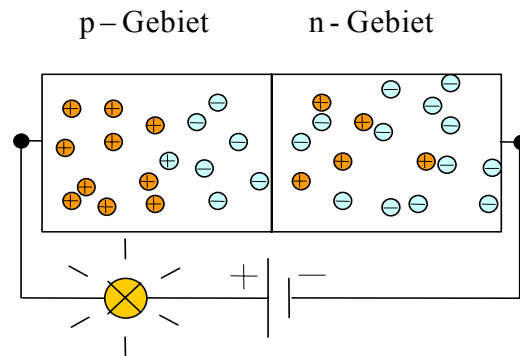


Abb.3: Halbleiterdiode in Durchlassrichtung

### Aufbau der Solarzelle:

Die Solarzelle ist eine spezielle Halbleiterdiode mit einer großen Oberfläche. Das n – Gebiet ist sehr dünn und lichtdurchlässig (Abb.4) Zwischen der p-n-Grenzschicht breitet sich ein elektrisches Feld (Diffusionsfeld) aus. Es wird durch die positiven und negativen Ionen (Atomrümpfe) gebildet.

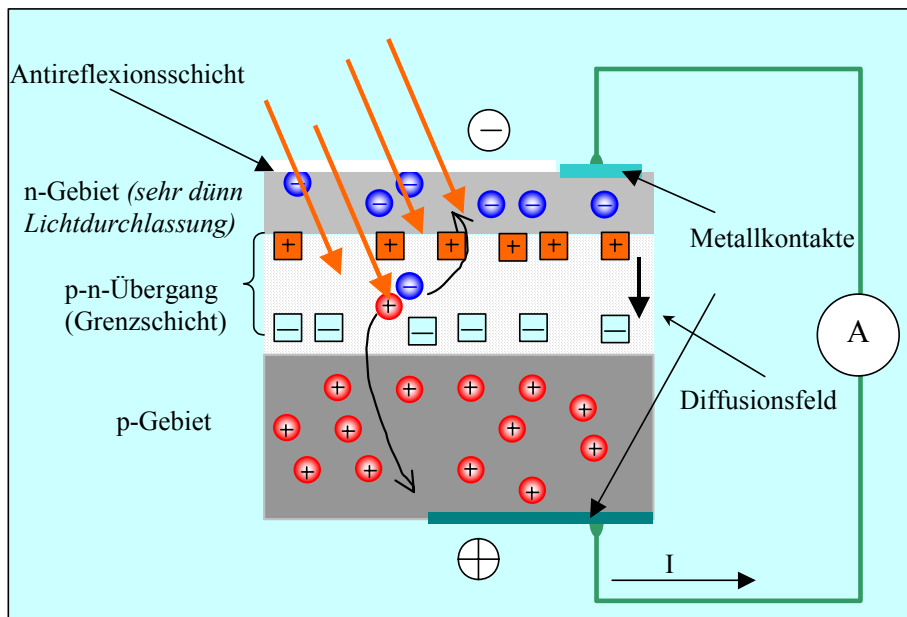


Abb.4 Schnittdarstellung durch eine Solarzelle (vereinfachte Darstellung)



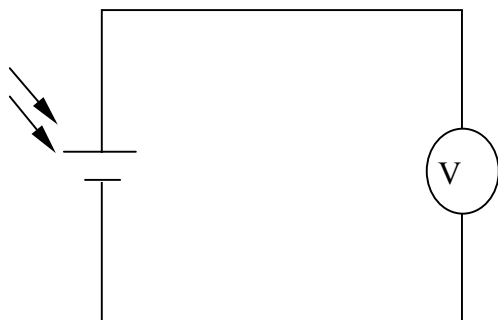
### Funktionsweise der Solarzelle:

Durch die Lichtenstrahlung werden in der Grenzschicht des n-p Überganges Elektronen freigesetzt und es entstehen Löcher. Diese Ladungsträger werden durch das Diffusionsfeld beeinflusst. Es wandern die negativen Ladungsträger (freibewegliche Elektronen) in das n-Gebiet und die Löcher in das p-Gebiet. Damit entsteht zwischen den beiden Enden der Halbleiterkristalle eine Spannung, die bis auf 0,6V ansteigen kann. Die Halbleiterdiode wirkt als Spannungsquelle.

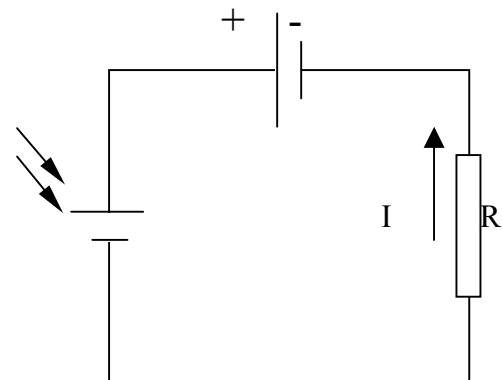
Bestrahlt man den p-n-Übergang einer Solarzelle oder einer Photodiode mit Licht, so erhöht sich in der Grenzschicht die Anzahl der freibeweglichen Ladungsträger. Durch das Diffusionsfeld entsteht ein Elektronenüberschuss und Elektronenmangel (Spannungsquelle).

**Teilzusammenfassung:** Photovoltaischer Effekt: Die Photovoltaische Effekt bewirkt die Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie in einem Halbleiterbauelement

Schaltung von Solarzelle



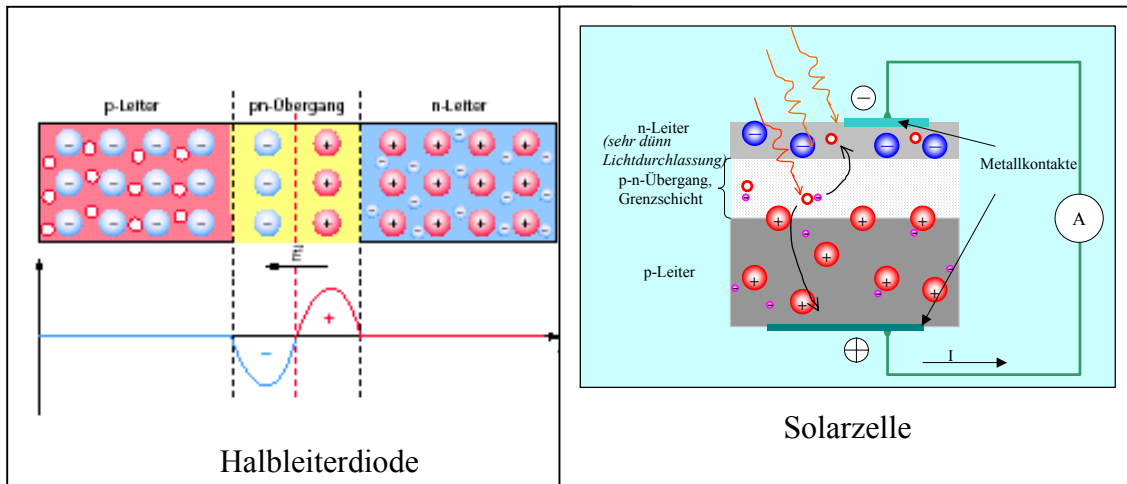
Schaltung einer Solarzelle als Spannungsquelle



Schaltung einer Solarzelle als Diode (in Durchlassrichtung)

**Musterlösung der Station 01: Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle**

**1. Studiere das beiliegende Handout! Skizziere anschließend den Aufbau einer Solarzelle und den einer Halbleiterdiode!**



**2. Experimentelle Untersuchung der Funktionsweise einer Solarzelle**

Frage: *Ist eine Solarzelle ähnlich aufgebaut wie eine Halbleiterdiode?*

**2.1. Schalte eine Solarzelle in Durchlassrichtung. Bestrahle die Solarzelle mit Licht und miss die Stromstärke I (Abb. 1)! Decke die Solarzelle mit einem Blatt Papier ab! Führe die Messungen durch!**

$$I_{\text{Durchlassrichtung}} = 1,74 \text{ A}$$

**Hinweis:** Die Solarzelle wird in Durchlassrichtung geschaltet, d.h. der Pluspol der Gleichspannungsquellen (Batterie) wird mit dem als (+) bezeichneten Anschluss an der Solarzelle ( p –Gebiet), der negative Pol der Spannungsquelle mit dem als (-) bezeichneten Anschluss ( n-Gebiet) geschaltet.

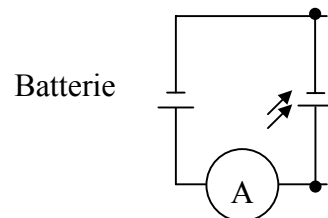


Abb.1

**2.2. Schalte die Solarzelle in Sperrrichtung. Bestrahle die Solarzelle mit Licht und miss die Stromstärke I (Abb.2)! Decke die Solarzelle mit einem Blatt Papier ab! Führe die Messungen durch!**

Interpretiere deine experimentellen Ergebnisse von 2.1 und 2.2 vergleiche den Leitungsvorgang mit dem einer Halbleiterdiode:

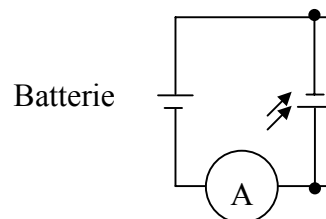


Abb.2

$$I_{\text{Sperrichtung}} = 0 \text{ A}$$

- Interpretiere deine experimentellen Ergebnisse von 2.1 und 2.2!
  - + *Widerstand der Solarzelle ist abhängig von der Beleuchtungsstärke des Lichts*
  - + *wenn kein Licht die Solarzelle bestrahlt, funktioniert die Solarzelle wie eine Halbleiterdiode*
- Vergleiche den Leitungsvorgang in einer Solarzelle mit dem einer Halbleiterdiode!
  - + *Solarzelle ist eine Halbleiterdiode mit großer Oberfläche*

### 2.3. Bestrahle eine Solarzelle mit Licht und miss $U_L$ und $I_K$ !

$U_L$ (V)	0,51
$I_K$ (A)	0,3

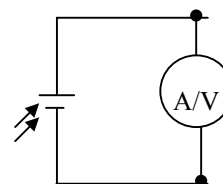


Abb.3

$I_K$  nennt man Kurzschlussstromstärke der Solarzelle,

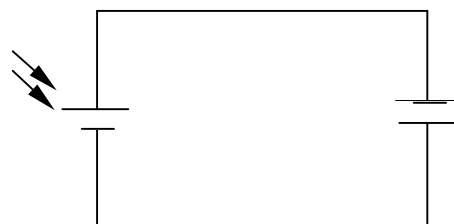
$U_L$  nennt man Leerlaufspannung der Solarzelle.

- a) Interpretiere deine experimentellen Ergebnisse! *Wenn eine Solarzelle mit Licht bestrahlt wird, funktioniert es wie eine Spannungsquelle.*
- b) Wie würdest du den Photovoltaischen Effekt beschreiben? *Der Photovoltaische Effekt bewirkt die Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie in einem Halbleiterbauelement.*

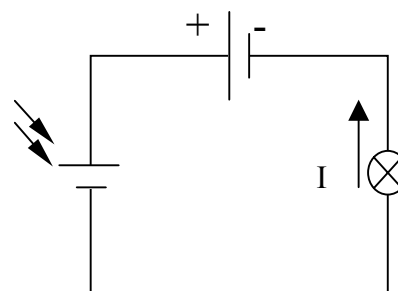
### 3. Beschreibe anhand der experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten die Funktionsweise einer Solarzelle. Überprüfe deine Beschreibung mit Hilfe der Hinweise im Handout!

#### 4. Skizziere folgendes Schaubild!

Eine Solarzelle wird mit einer Batterie in Sperrrichtung geschaltet.



Eine Solarzelle wird mit einer Batterie und einer Lampe geschaltet, damit die Lampe leuchtet.



### Station 02: Spannungen an Solarzellen

**Aufgaben:**

**1. Erläutere mit eigenen Worten den Begriff Leerlaufspannung einer Spannungsquelle! (siehe Handout)**

.....

.....

.....

**2. Bestimme die Leerlaufspannung einer Solarzelle**

- Baue den Versuch nach Schaltplan (Abb.1) auf und beleuchte die Solarzelle 1 aus ca. 30 cm Entfernung senkrecht zur Halogenlampe. Miss die Leerlaufspannung von der Solarzelle 1 und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein.

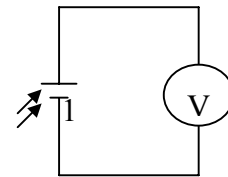
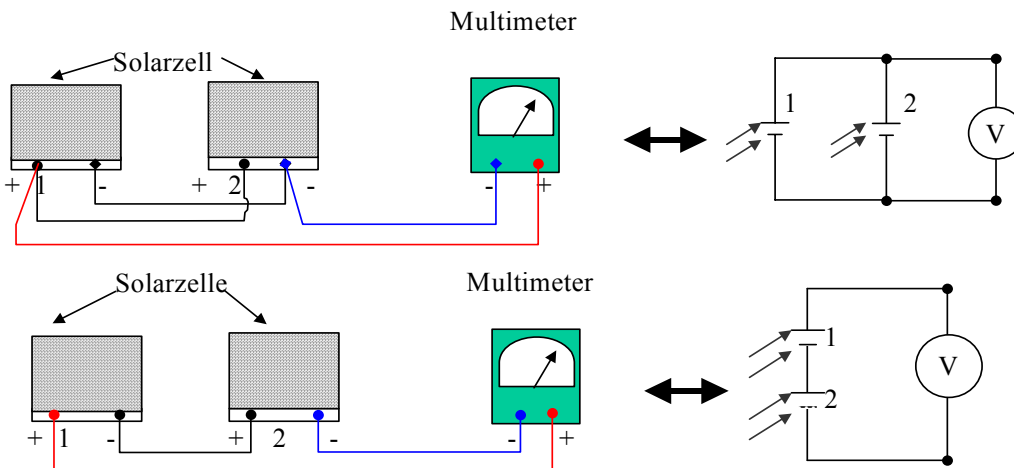


Abb. 1

**3. Problemstellung:** Findet heraus, wie man zwei Solarmodule verschalten muss, um die maximale Leerlaufspannung zu erhalten. Folgende zwei Schaltungsmöglichkeiten zweier Solarzellen gibt es:



- Miss die Leerlaufspannung von Solarzelle 2 und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein.

- Schalte die beiden Solarzellen parallel zueinander und miss die Leerlaufspannung in der gleichen Entfernung von der Lampe wie bei den Einzelmessungen.

- Schalte nun die Solarzellen in Reihe und wiederhole die Messungen in der gleichen Entfernung. Trage die Messwerte in diese Tabelle ein.

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Parallelschaltung	Reihenschaltung
Leerlaufspannung in V	U1=	U2=	U <sub>ges.</sub> =	U <sub>ges.</sub> =

Tab.1

**4. Erläutere deine Versuchsergebnisse mit eigenen Worten!**

*Bei welcher Schaltung ist die Leerlaufspannung größer?*

.....  
.....  
.....

**5. Formuliere eine Gesetzmäßigkeit für die Leerlaufspannungen bei Parallel- und Reihenschaltung von Solarzellen!**

Parallelschaltung  $U_{\text{ges.}} =$

Reihenschaltung  $U_{\text{ges.}} =$

.....  
.....  
.....

## Handout der Station 02:

### Leerlaufspannung (Abb.1)

An der Spannungsquelle ist nichts angeschlossen d.h. kein äußerer Widerstand. Diesen Betriebszustand bezeichnet man als Leerlauf. Im Leerlauf fließt kein Strom, es fällt am Innenwiderstand  $R_i$  daher auch keine Spannung ab.

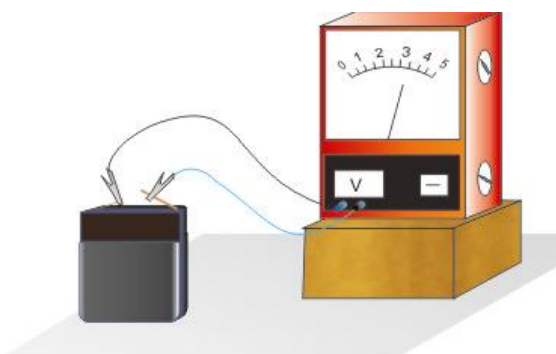


Abb.1 Man misst die Quellenspannung  $U_L$  (Leerlaufspannung) der Batterie

### Klemmenspannung

An die Batterie wird nun z.B. ein Lämpchen oder ein Motor mit bekanntem Widerstand  $R_L$  angeschlossen –Abb.2. (Die Batterie wird belastet, daher auch der Name Lastwiderstand)

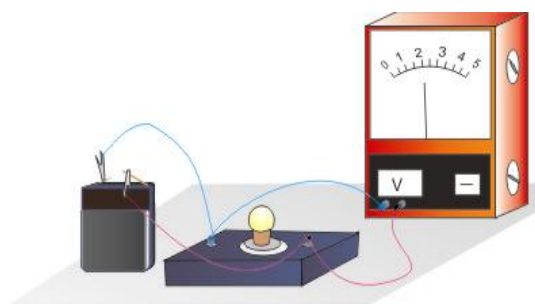


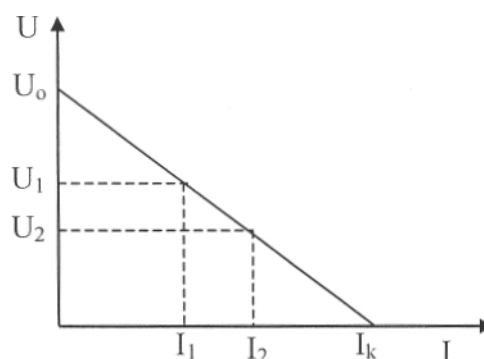
Abb.2.Man misst **Klemmenspannung**  $U_K$

### Der Kurzschlussstrom

Wird der äußere Widerstand  $R_L=0$ , so herrscht ein Kurzschluss und es fließt der Kurzschlussstrom  $I_K$

$$I_K = U_0 / R_i \text{ für } R_L = 0$$

Selbst wenn man die Batterie kurzschließt, steigt der Strom nie über den maximalen Wert, den Kurzschlussstrom  $I_K$  an. Der Kurzschlussstrom wird also vom Innenwiderstand begrenzt.



$$I_k = \text{Kurzschlussstrom} = U_0 / R_i$$

$$U_0 = \text{Leerlaufspannung} .$$

## Musterlösung der Station 02: Spannungen an Solarzellen

### Aufgaben:

**1. Erläutere mit eigenen Worten den Begriff Leerlaufspannung einer Spannungsquelle!**

**2. Bestimme die Leerlaufspannung einer Solarzelle**

- Baue den Versuch nach Schaltplan (*Abb.1*) auf und beleuchte die Solarzelle 1 aus ca. 30 cm Entfernung senkrecht zur Halogenlampe. Miss die Leerlaufspannung der Solarzelle 1 und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein.

**3. Problemstellung:** *Finde heraus, wie man zwei Solarmodule verschalten muss, um die maximale Leerlaufspannung zu erhalten. Folgende zwei Schaltungsmöglichkeiten zweier Solarzellen gibt es:*

- Miss die Leerlaufspannung der Solarzelle 2 und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein.
- Schalte die beiden Solarzellen parallel zueinander und miss die Leerlaufspannung in der **gleichen Entfernung von der Lampe** wie bei den Einzelmessungen.

- Schalte nun die Solarzellen in Reihe und wiederhole die Messungen **in der gleichen Entfernung**. Trage die Messwerte in diese Tabelle ein.

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Parallelschaltung	Reihenschaltung
Leerlaufspannung in V	U <sub>1</sub> = 0,42	U <sub>2</sub> =0,41	U <sub>ges.</sub> =0,41	U <sub>ges.</sub> =0,83

Tab.1

**4. Erläutere deine Versuchsergebnisse mit eigenen Worten!**

*Bei welcher Schaltung ist die Leerlaufspannung größer?*

Bei der Reihenschaltung

**5. Formuliere eine Gesetzmäßigkeit für die Leerlaufspannungen bei Parallel- und Reihenschaltung von Solarzellen!**

Parallelschaltung  $U_{ges.} = U_1 = U_2$

Hinweise: wenn  $U_1 \neq U_2 \rightarrow U_{ges.} = (U_1 + U_2) / 2$

Reihenschaltung:  $U_{ges.} = U_1 + U_2$

**Station 03: Stromstärke an Solarzellen**

**Aufgaben:**

**1. Erläutere mit eigenen Worten den Begriff Kurzschlussstrom einer Spannungsquelle! (siehe Handout)**

.....

.....

**2. Bestimme den Kurzschlussstrom einer Solarzelle!**

Baue den Versuch nach Schaltplan (Abb.1) auf und beleuchte die Solarzelle 1 aus ca. 30 cm Entfernung senkrecht zur Halogenlampe. Miss den Kurzschlussstrom von Solarzelle 1 und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein.

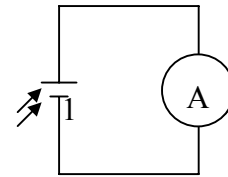
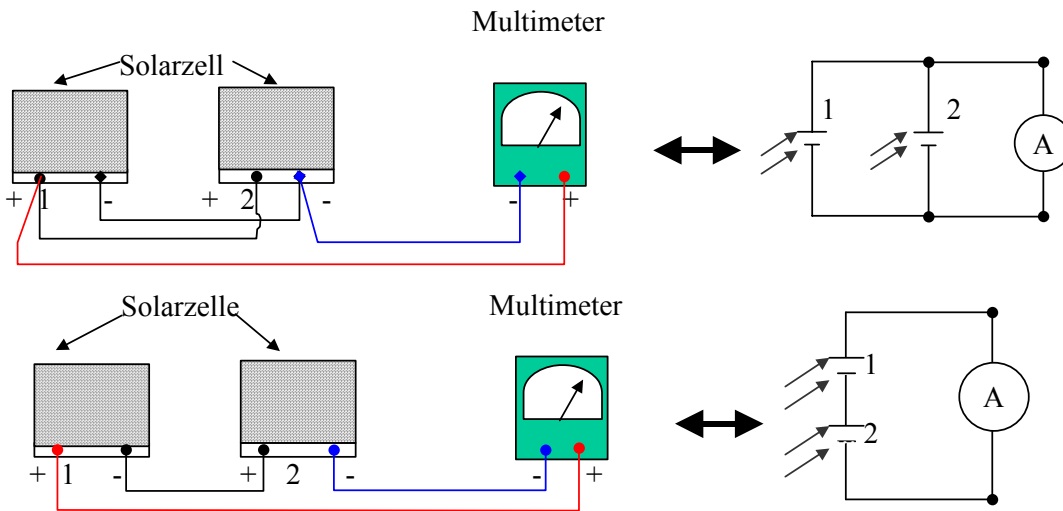


Abb. 1

**3. Problemstellung:** Finde heraus, wie man zwei Solarmodule verschalten muss, um die maximale Stromstärke zu erhalten. Folgende zwei Schaltungsmöglichkeiten zweier Solarzellen gibt es.



- Miss den Kurzschlussstrom von Solarzelle 2 und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein.
- Schalte die beiden Solarzellen parallel zueinander und miss den Kurzschlussstrom in der gleichen Entfernung von der Lampe wie bei den Einzelmessungen.
- Schalte nun die Solarzellen in Reihe und wiederhole die Messungen in der gleichen Entfernung. Trage die Messwerte in diese Tabelle ein.

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Parallelschaltung	Reihenschaltung
Kurzschlussstrom in A	$I_1 =$	$I_2 =$	$I_{ges.} =$	$I_{ges.} =$

Tab. 1



**4. Erläutere deine Versuchsergebnisse mit eigenen Worten!**

*Bei welcher Schaltung ist der Kurzschlussstrom größer?*

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**5. Formuliere eine Gesetzmäßigkeit für den Kurzschlussstrom bei Parallel- und Reihenschaltung von Solarzellen!**

Parallelschaltung  $I_{\text{ges.}} =$

Reihenschaltung  $I_{\text{ges.}} =$

.....  
.....

### Handout der Station 03:

#### Leerlaufspannung (Abb.1)

An der Spannungsquelle ist nichts angeschlossen, d.h. kein äußerer Widerstand. Diesen Betriebszustand bezeichnet man als Leerlauf. Im Leerlauf fließt kein Strom, es fällt am Innenwiderstand  $R_i$  daher auch keine Spannung ab.

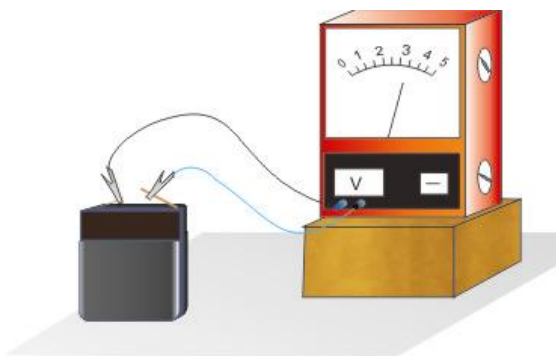


Abb.1 Man misst die Quellenspannung  $U_L$  (Leerlaufspannung) der Batterie

#### Klemmenspannung

An die Batterie wird nun z.B. ein Lämpchen oder ein Motor mit bekanntem Widerstand  $R_L$  angeschlossen –Abb.2. (Die Batterie wird belastet, daher auch der Name Lastwiderstand)

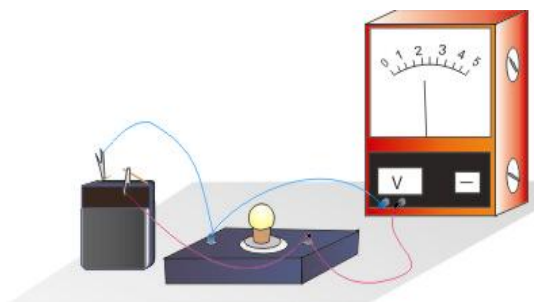


Abb.2. Man misst **Klemmenspannung**  $U_K$

#### Der Kurzschlussstrom

Wird der äußere Widerstand  $R_L=0$ , so herrscht ein Kurzschluss und es fließt der Kurzschlussstrom  $I_K$

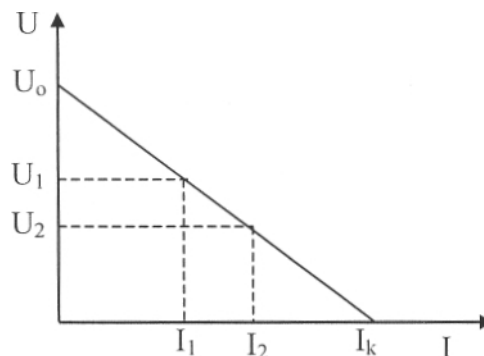
*Hinweise: Achte auf den Messbereich des Multimeters, wenn du den Kurzschlussstrom misst!*

$$I_K = U_0 / R_i \text{ für } R_L = 0$$

Selbst wenn man die Batterie kurzschließt, steigt der Strom nie über den maximalen Wert, den Kurzschlussstrom  $I_K$  an. Der Kurzschlussstrom wird also vom Innenwiderstand begrenzt.

$$I_K = \text{Kurzschlussstrom} = U_0 / R_i$$

$$U_0 = \text{Leerlaufspannung} .$$



### Musterlösung der Station 03: Stromstärke an Solarzellen

**1. Erläutere mit eigenen Worten den Begriff Kurzschlussstrom einer Spannungsquelle!**

**2. Bestimme den Kurzschlussstrom einer Solarzelle!**

- Baue den Versuch nach Schaltplan (*Abb.1*) auf und beleuchte die Solarzelle 1 aus ca. 30 cm Entfernung senkrecht zur Halogenlampe. Miss den Kurzschlussstrom von Solarzelle 1 und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein.

**3. Problemstellung:** Finde heraus, wie man zwei Solarmodule verschalten muss, um die maximale Stromstärke zu erhalten. Folgende zwei Schaltungsmöglichkeiten zweier Solarzellen gibt es.

- Miss den Kurzschlussstrom von Solarzelle 2 und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein.
- Schalte die beiden Solarzellen parallel zueinander und miss den Kurzschlussstrom in **der gleichen Entfernung von der Lampe** wie bei den Einzelmessungen.
- Schalte nun die Solarzellen in Reihe und wiederhole die Messungen in **der gleichen Entfernung**. Trage die Messwerte in diese Tabelle ein.

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Parallelschaltung	Reihenschaltung
Kurzschlussstrom in A	$I_1 = 0,11$	$I_2 = 0,11$	$I_{\text{ges.}} = 0,22$	$I_{\text{ges.}} = 0,11$

Tab.1.

**4. Erläutere deine Versuchsergebnisse mit eigenen Worten!**

*Bei welcher Schaltung ist die Kurzschlussstrom größer?*

Bei Parallelschaltung

**5. Formuliere eine Gesetzmäßigkeit für den Kurzschlussstrom bei Parallel- und Reihenschaltung von Solarzellen!**

*Parallelschaltung*  $I_{\text{ges.}} = I_1 + I_2$

*Reihenschaltung*  $I_{\text{ges.}} = I_1 = I_2$

Hinweise: wenn  $I_1 \neq I_2 \rightarrow I_{\text{ges.}} = (I_1 + I_2)/2$

**Station 04: Einfluss der Beleuchtungsstärke auf eine Solarzelle**

*Erkenntnisse gewinnen mit Hilfe der experimentellen Methode!*

**Problemstellung:** Finde heraus, welchen Einfluss die Beleuchtungsstärke der Lichtquelle (Abständen von der Lichtquelle) auf den Kurzschlussstrom  $I_K$  und auf die Leerlaufspannung  $U_L$  der Solarzelle hat .

1. **Hypothesenbildung:** Formuliere eine Hypothese (Vermutung) für einen möglichen Zusammenhang von Beleuchtungsstärke und die an einer Solarzelle gemessene Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke! Erläutere deine Vermutung auf der Grundlage des Aufbaus und der Wirkungsweise einer Solarzelle!

.....  
 .....  
 .....

**2. Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese**

a) Entwirf eine Skizze für die Experimentieranordnung zur Prüfung deiner Hypothese. Welche experimentelle Folgerung leitest du aus deiner Hypothese ab? Welche Messgeräte benötigst du? Wie kannst du die Beleuchtungsstärke verändern? *Schlage experimentelle Varianten vor!*

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....



b) Aufnahme von Messreihen


c) Grafische Auswertung



**3. Deuten der experimentellen Ergebnisse:**

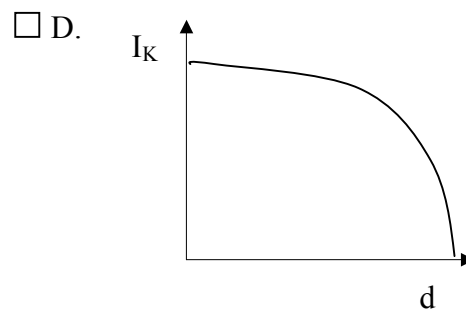
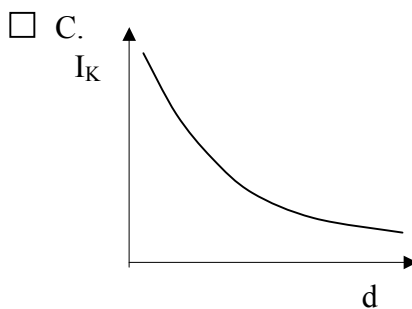
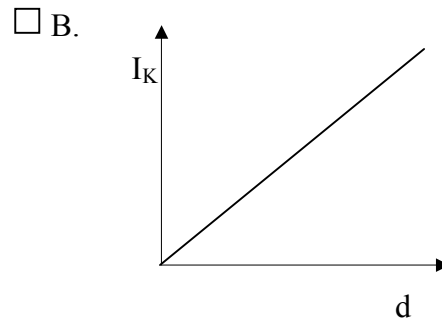
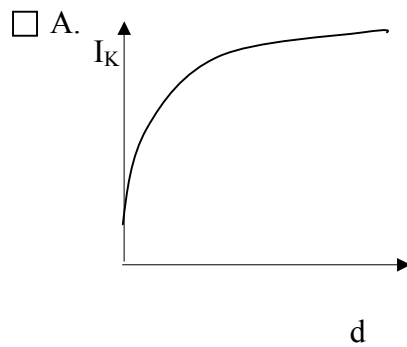
a) Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung!

.....  
.....  
.....

b) Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

.....  
.....

**4. Der Abstand von Lampe zu Solarzelle wird kontinuierlich erhöht. Welches Diagramm beschreibt den Zusammenhang zwischen Kurzschlussstromstärke  $I_K$  und Abstand richtig?**



## Musterlösung der Station 04: Einfluss der Beleuchtungsstärke auf eine Solarzelle

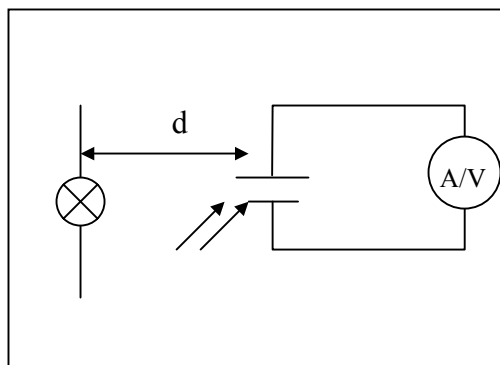
*Erkenntnisse gewinnen mit Hilfe der experimentellen Methode!*

**Problemstellung:** Finde heraus, welchen Einfluss die Beleuchtungsstärke der Lichtquelle (Abständen von der Lichtquelle) auf den Kurzschlussstrom  $I_K$  und auf die Leerlaufspannung  $U_L$  der Solarzelle hat.

**1. Hypothesenbildung:** Formuliere eine Hypothese (Vermutung) für einen möglichen Zusammenhang von Beleuchtungsstärke und an die einer Solarzelle gemessene Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke! Erläutere deine Vermutung auf der Grundlage des Aufbaus und der Wirkungsweise einer Solarzelle!

### 2. Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese

a) Entwirf eine Skizze für die Experimentieranordnung zur Prüfung deiner Hypothese. Welche experimentelle Folgerung leitest du aus deiner Hypothese ab? Welche Messgeräte benötigst du? Wie kannst du die Beleuchtungsstärke verändern?



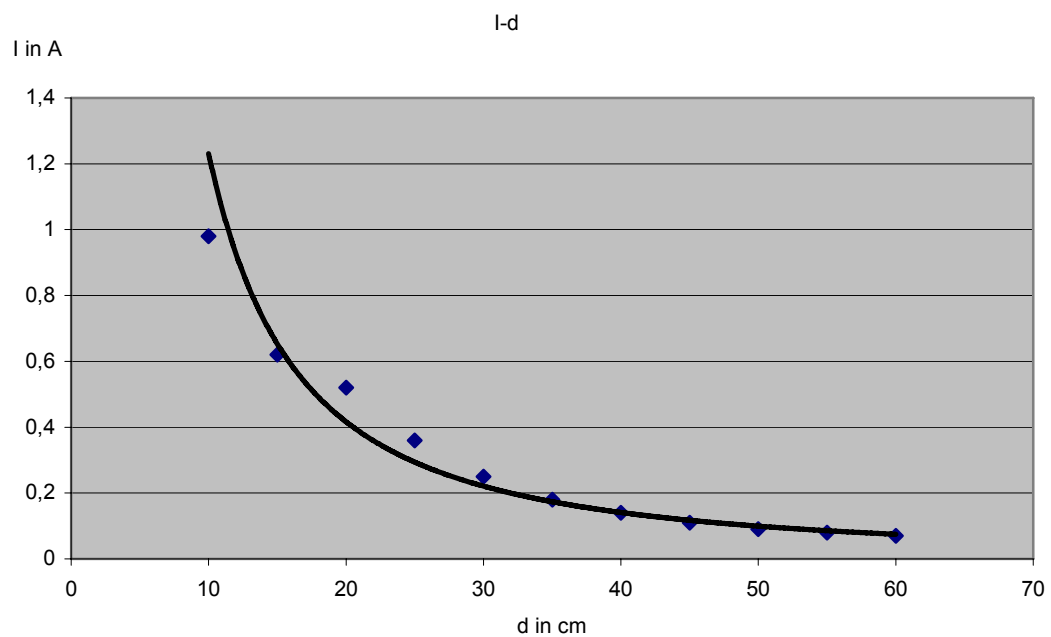
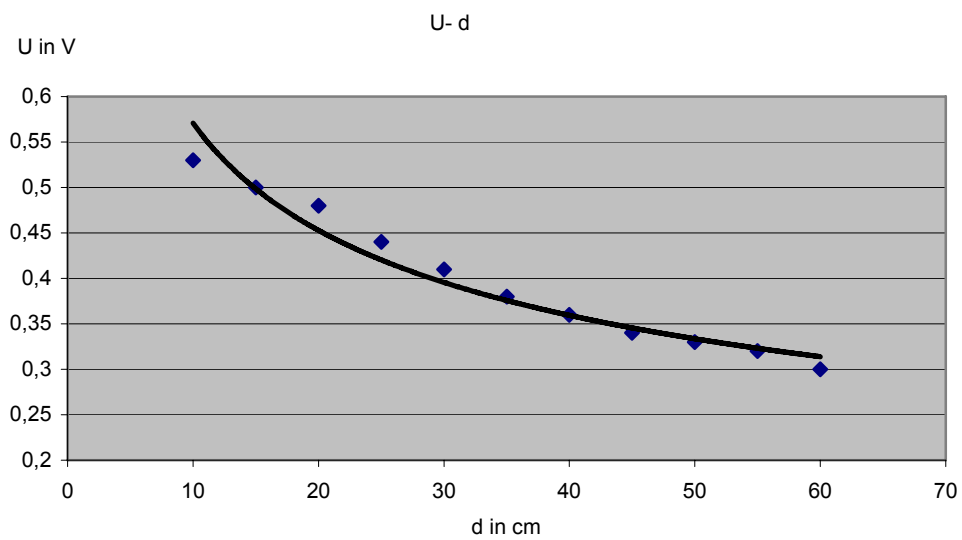
- Änderung des Abstands zwischen der Solarzelle und der Lampe

- Mess  $U_L$ ,  $I_K$

b) Aufnahme von Messreihen

d in cm	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$U_L$ in V	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,46	0,45	0,43	0,41
$I_K$ in A	0,95	0,58	0,39	0,27	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04

c) Grafische Auswertung



### 3. Deuten der experimentellen Ergebnisse:

- Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung!
- Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

### 4. Der Abstand von Lampe zu Solarzelle wird kontinuierlich erhöht. Welches Diagramm beschreibt den Zusammenhang zwischen Kurzschlussstromstärke und Abstand richtig?

Antwort C

**Station 05: Einfluss der Solarzellenfläche auf die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom der Solarzelle**

**Problemstellung:** *Finde heraus, welchen Einfluss die Solarzellenfläche auf die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom der Solarzelle hat!*

**1. Hypothesenbildung:** Formuliere eine Vermutung (Hypothese) für einen möglichen Zusammenhang zwischen der Solarzellenfläche und der an einer Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke!

.....  
 .....  
 .....

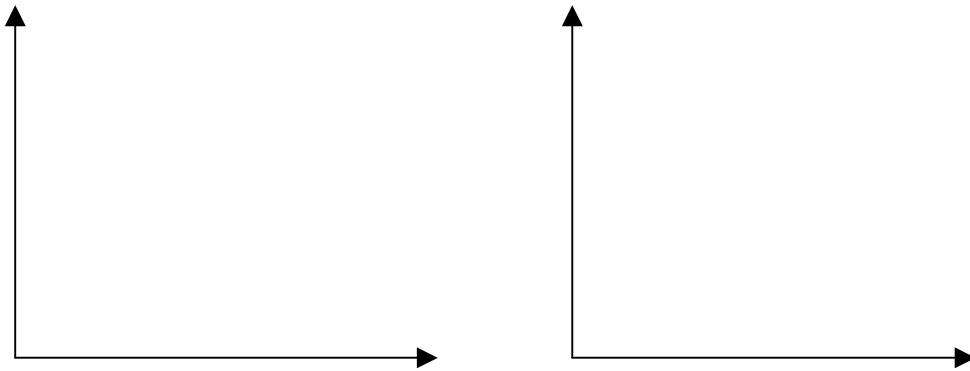
**2. Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese**

a) Entwirf eine Skizze für die Experimentieranordnung zur Prüfung deiner Hypothese. Welche experimentelle Folgerung leitest du aus deiner Hypothese ab? Welche Messgeräte benötigst du? Wie änderst du die bestrahlte Solarzelloberfläche?

Messgeräte:


b) Aufnahme von Messreihen


c) Grafische Auswertung:





**3. Deuten der experimentellen Ergebnisse:**

a) Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung!

.....

.....

.....

.....

b) Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

.....

.....

.....

.....

**4. Nur eine der Messreihe kann richtig sein. Welche ist das?***(A: Solarzellenfläche,  $U_L$ : Leerlaufspannung,  $I_K$ : Kurzschlussstromstärke )* A.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U_L$ in V	0,2	0,25	0,3	0,36	0,44
$I_K$ in A	0	0,03	0,04	0,05	0,08

 B.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U_L$ in V	0	0,3	0,36	0,40	0,45
$I_K$ in A	0	0,04	0,06	0,08	0,12

 C.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U_L$ in V	0	0,3	0,36	0,40	0,45
$I_K$ in A	0	0,14	0,09	0,07	0,03

 D.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U_L$ in V	0	0,4	0,6	0,8	1,0
$I_K$ in A	0,03	0,05	0,07	0,12	0,14

**Musterlösung der Station 05: Einfluss der Solarzellenfläche und der Lichtwellenlänge der Lichtstrahlung auf die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom der Solarzelle**

**1. Hypothesenbildung:** Formuliere eine Vermutung (Hypothese) für einen möglichen Zusammenhang zwischen der Solarzellenfläche und der an einer Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke!

*Je größer die bestrahlte Solarzellenfläche ist, umso größer ist die Leerlaufspannung*

**2. Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese**

a) Entwirf eine Skizze für die Experimentieranordnung zur Prüfung deiner Hypothese. Welche experimentelle Folgerung leitest du aus deiner Hypothese ab? Welche Messgeräte benötigst du? Wie änderst du die bestrahlte Solarzellenfläche?

Messgeräte: Solarzelle, Karton, Multimeter, Netzgeräte

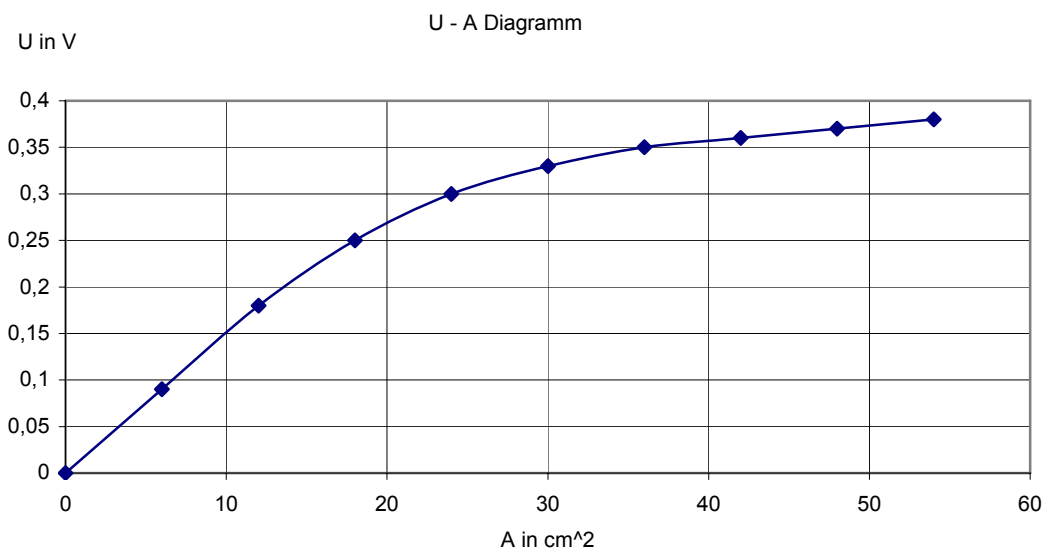
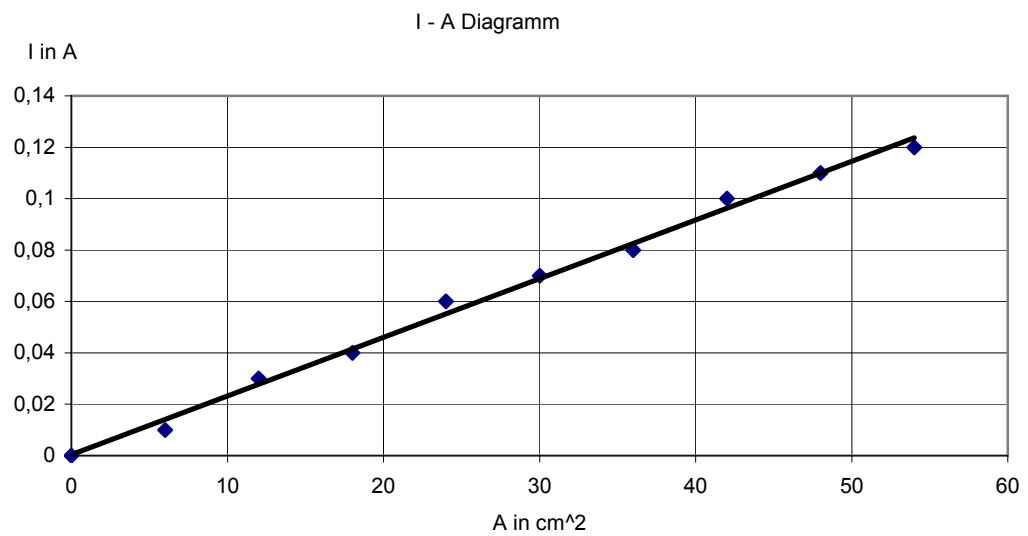
b) Aufnahme von Messreihen

0	A/4	A/2	3A/4	A
0	0,32	0,41	0,44	0,48
0	0,03	0,05	0,07	0,1

Oder:

Oberfläche in cm <sup>2</sup>	6	12	18	24	30	36	42	48	54
U <sub>K</sub> in V	0,09	0,18	0,25	0,30	0,32	0,35	0,36	0,37	0,38
I <sub>L</sub> in A	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12

c) Grafische Auswertung:



### 3. Deuten der experimentellen Ergebnisse:

Hinweis: Abstand zwischen Solarzelle und Halogenlampe beträgt ca. 30cm

### 4. Nur eine der Messreihen kann richtig sein. Welche ist das?

*Antwort: B*

## Station 06: Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom bei unterschiedlichen Einfallswinkeln

*Erkenntnisgewinnung mit Hilfe der experimentellen Methode*

**Problemstellung:** Finde heraus, welchen Einfluss der Einfallswinkel der Lichtstrahlung auf den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung der Solarzelle hat!

**1. Hypothesenbildung:** Formuliere eine Vermutung (Hypothese) für einen möglichen Zusammenhang von zwischen dem Einfallswinkel des Lichts und der an einer Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke bei konstanter Beleuchtungsstärke!

.....

.....

.....

.....

### 2. Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese

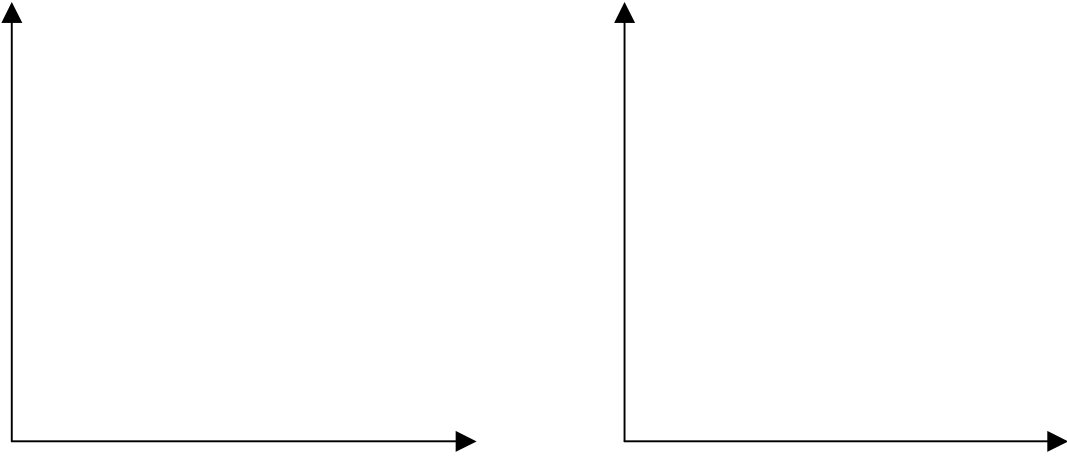
- Vorschlag für eine Experimentieranordnung
- Welche Messgeräte benötigst du?

Messgeräte:	

### b) Aufnahme von Messreihen


Hinweis: Fällt das Sonnenlicht (bzw. das Licht der Experimentierlampe) senkrecht auf die Solarzelle, so wird an der Solarzelle die größtmögliche Leerlaufspannung bzw. Kurzschlussstromstärke gemessen.

c) Grafische Auswertung:



**3. Deuten der experimentellen Ergebnisse:**

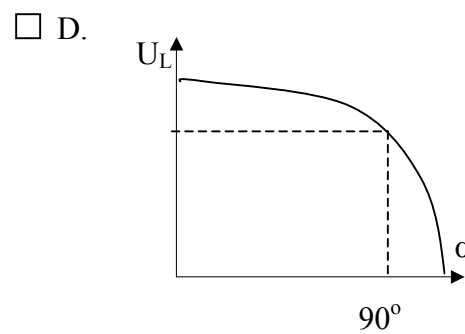
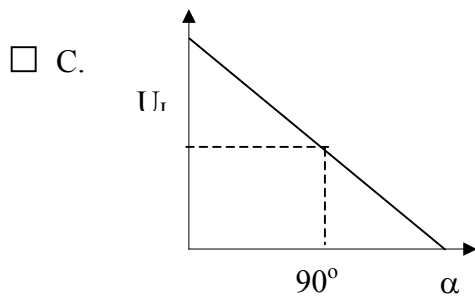
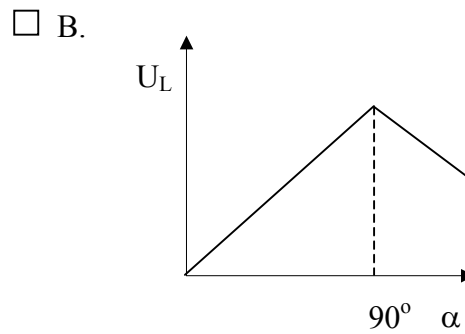
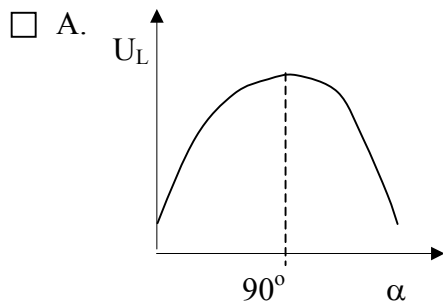
a) Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

b) Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

4.  $U$  ist die Leerlaufspannung der Solarzelle. Welches folgende  $U - \alpha$  - Diagramm ist richtig?



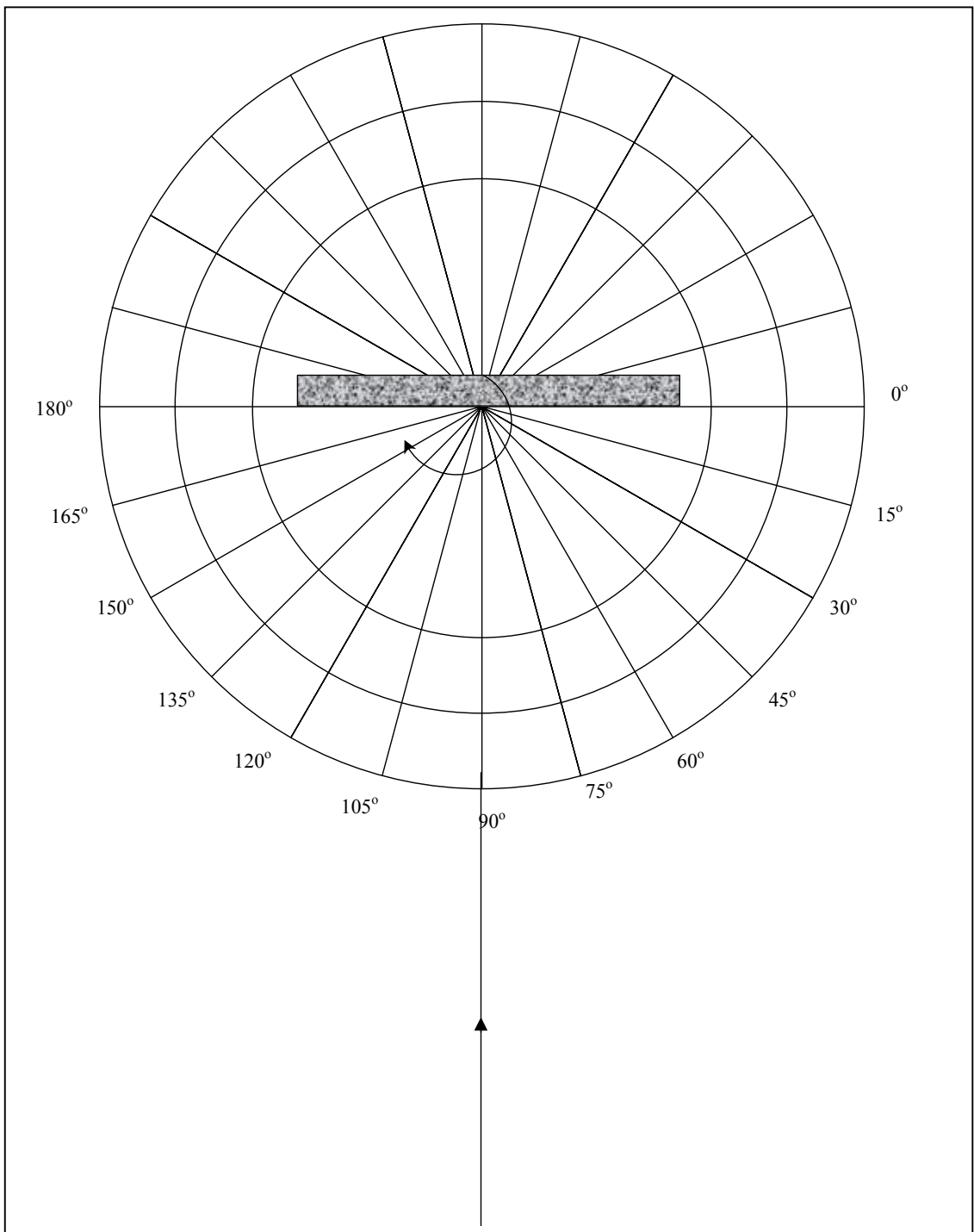
5. Welcher Zusammenhang gilt unter idealen Bedingungen zwischen den Einfallswinkeln  $\alpha$  der solaren Strahlung und der Kurzschlussstromstärke  $I_K$ ?

A.  $I_K \sim \alpha$

B.  $I_K \sim \alpha^2$

C.  $I_K \sim \sin\alpha$

D.  $I_K \sim 1 - \cos\alpha$



## Musterlösung der Station 06: Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom bei unterschiedlichen Einfallswinkeln

**Problemstellung:** Findet heraus, welchen Einfluss der Einfallswinkel der Lichtstrahlung auf den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung der Solarzelle hat!

**1. Hypothesenbildung:** Formuliere eine Vermutung (Hypothese) für einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel des Lichts und der an einer Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke bei konstanter Beleuchtungsstärke!

Hypothese:  $U, I \sim \alpha$

### 2. Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese.

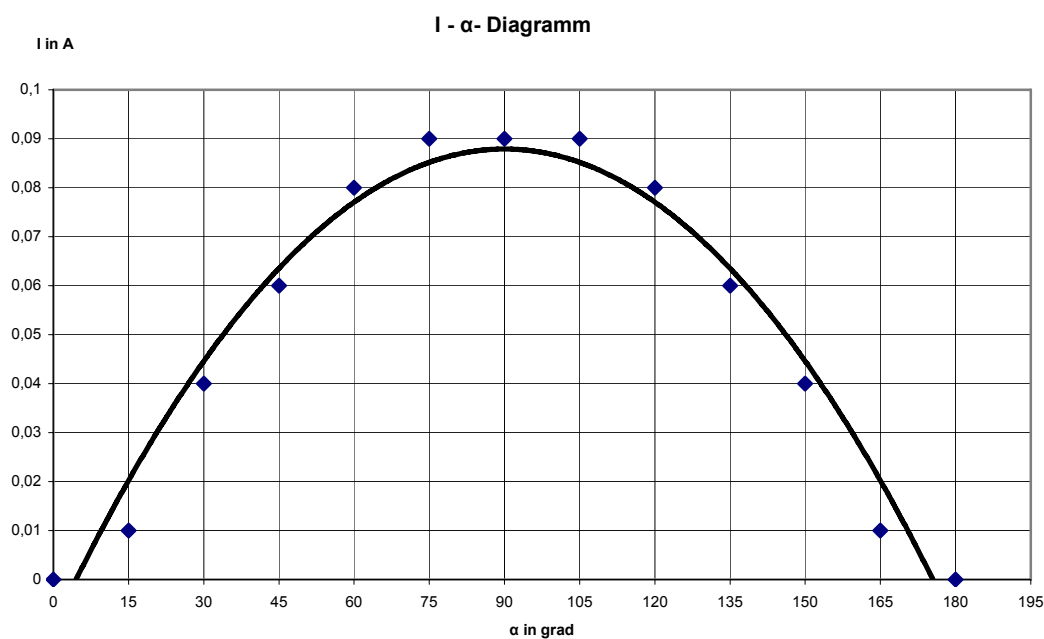
a) Vorschlag für eine Experimentieranordnung

b) Aufnahme von Messreihen

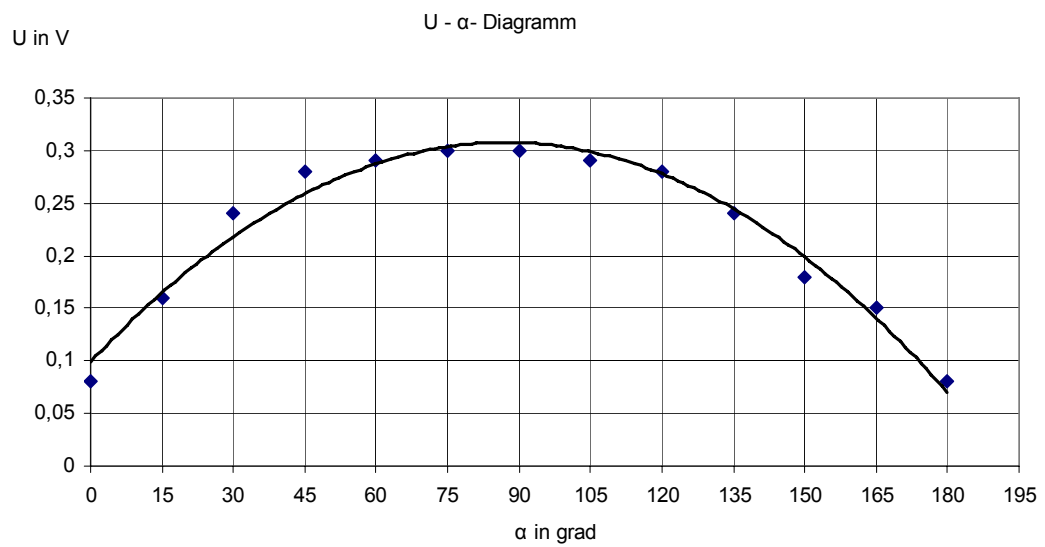
$\alpha$ in $^\circ$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
U in V	0,08	0,16	0,24	0,26	0,29	0,3	0,3	0,29	0,29	0,26	0,24	0,16	0,08
I in A	0	0,01	0,04	0,07	0,09	0,1	0,1	0,1	0,08	0,07	0,04	0,01	0

Hinweis: Fällt das Sonnenlicht (bzw. das Licht der Experimentierlampe) senkrecht auf die Solarzelle, so wird an der Solarzelle die größtmögliche Leerlaufspannung bzw. Kurzschlussstromstärke gemessen.

c) Grafische Auswertung:







### 3. Deuten der experimentellen Ergebnisse:

*Fällt das Licht der Experimentierlampe senkrecht auf die Solarzelle, so wird an der Solarzelle die größtmögliche Leerlaufspannung als auch der Kurzschlussstrom gemessen*

**4. U ist die Leerlaufspannung der Solarzelle.** Welches folgende U –  $\alpha$  - Diagramm ist richtig?

*Antwort : A.*

**5. Welcher Zusammenhang gilt unter idealen Bedingungen zwischen dem Einfallswinkel  $\alpha$  der solaren Strahlung und der Kurzschlussstromstärke  $I_K$ :**

*Antwort: C*

### Station 07: Die belastete Solarzelle

**Problemstellung:** Betätigt ein Autofahrer bei eingeschaltetem Licht den Anlasser seines PKW, so leuchten die Lampen der Scheinwerfer etwas weniger hell. Der Anlasser benötigt elektrische Energie, die den Lampen nicht mehr zur Verfügung steht. Trifft diese Erscheinung auch auf eine Solarzelle zu?

#### 1. Vorbetrachtung

a) Was versteht man unter der Belastung einer Spannungsquelle? Informiere dich am beiliegenden Handout!

.....  
 .....  
 .....  
 .....

b) Erläutere mit eigenen Worten die folgenden Begriffe (Handout)

- Klemmenspannung ( Belastungsspannung):

.....  
 .....

- Leerlaufspannung

.....  
 .....

- Kurzschlussstromstärke :

.....  
 .....

- Innerer Widerstand :

.....  
 .....

- Gibt es einen Zusammenhang zwischen den oben genannten Größen?

.....  
 .....

**2. Experimentelle Fragestellung:** Finde heraus, welchen Einfluss ein Außenwiderstand (Belastung) auf die Spannung und die Stromstärke einer Solarzelle hat?

Der Begriff der maximalen Leistung (Watt-Peak) hat entscheidende Bedeutung für die Errichtung von Photovoltaikanlagen z.B. für Einfamilienhäuser. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu wissen, wie stark die Anlage bei konstanter Spannung belastet (d.h. viele Geräte in Betrieb genommen werden können) werden kann.

**2.1. Hypothesenbildung:** Formuliere eine Hypothese, wie sich eine Änderung des Außenwiderstandes auf die Klemmenspannung und die Stromstärke einer Solarzelle auswirkt!

.....

.....

## 2.2. Entwerfen einer Experimentieranordnung

a) Entwirf eine Skizze zur Prüfung deiner Hypothese! Was musst du nachweisen? Welche Messgeräte benötigst du?

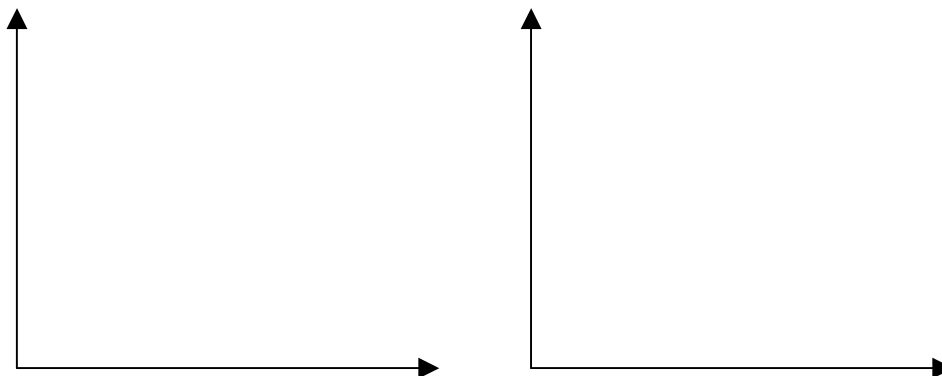
Messgeräte:	

b) Aufnahme von Messreihen

U (V)											
I (A)											
$R_a = U/I$ ( $\Omega$ )											
$P = U \cdot I$ (W)											

c) Grafische Auswertung

- Stelle den Zusammenhang zwischen U und I grafisch dar!
- Stelle die Leistung der Solarzelle in Abhängigkeit vom Außenwiderstand grafisch dar!



**2.3. Deuten der experimentellen Ergebnisse:**

a) Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung!

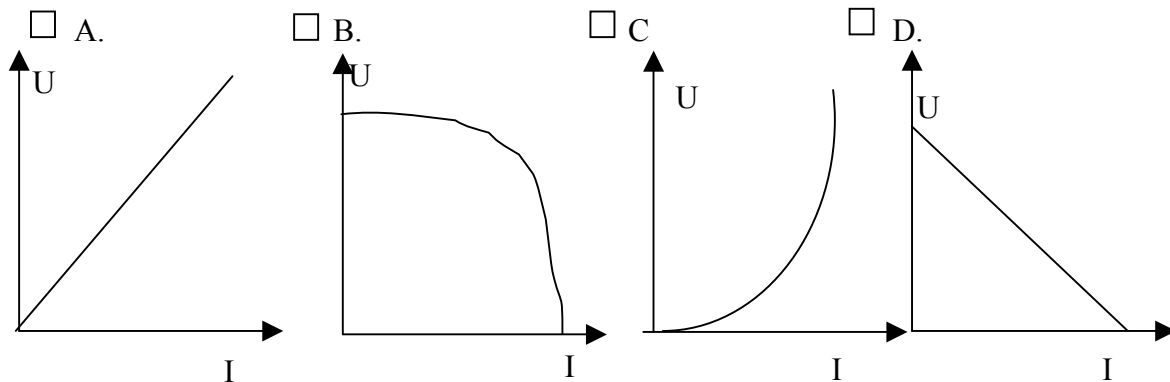
.....  
.....  
.....

b) Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

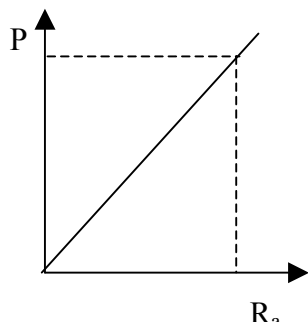
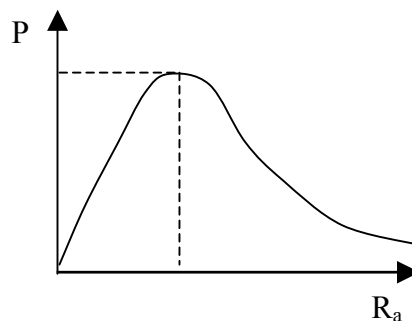
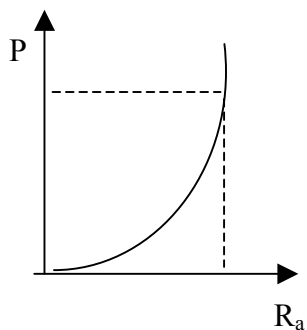
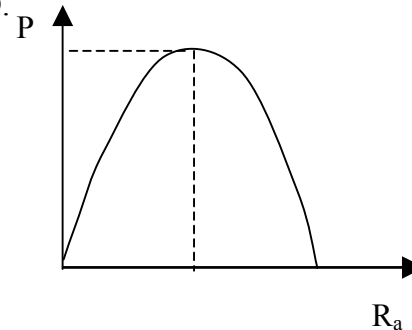
.....  
.....  
.....  
.....

**3. Kreuze die richtige Antwort an !**

**3.1. Welches Diagramm beschreibt den Zusammenhang zwischen der an einer belasteten Solarzelle gemessenen Spannung  $U$  und der Stromstärke  $I$  einer Solarzelle bei konstanter Beleuchtungsstärke ?**



### 3.2. Welches Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen der Leistung und dem Außenwiderstand einer Solarzelle?

 A.

 B.

 C.

 D.


### 3.3. Welche folgende Gleichung ist richtig?

A.  $P = U_L I_K$

B.  $P = U_K I_K$

C.  $P = U_K I$

D.  $P = U_L^2 / R_a$

Anbei:  $U_L$ : Leerlaufspannung,

$I_K$ : Kurzschlussstromstärke,

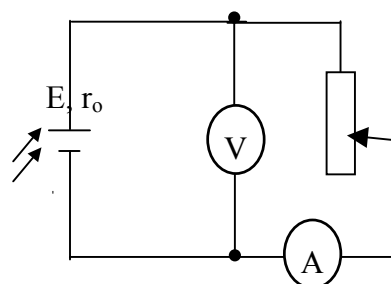
$r_o$ : Innenwiderstand,

$R_a$ : Außenwiderstand,

$U_K$ : Klemmenspannung,

$I$ : Stromstärke

$P$ : Leistung einer Solarzelle



## Handout der Station 07:

### Leerlaufspannung (Abb.1)

An der Spannungsquelle ist nichts angeschlossen d.h. kein äußerer Widerstand. Diesen Betriebszustand bezeichnet man als Leerlauf. Im Leerlauf fließt kein Strom, es fällt am Innenwiderstand  $R_i$  daher auch keine Spannung ab.

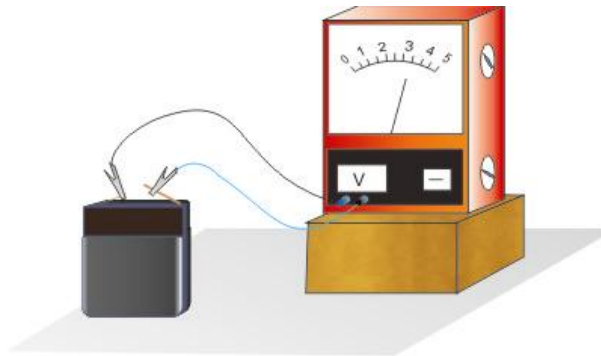


Abb.1 Man misst die Quellenspannung  $U_L$  (Leerlaufspannung) der Batterie

### Klemmenspannung

An die Batterie wird nun z.B. ein Lämpchen oder ein Motor mit bekanntem Widerstand  $R_L$  angeschlossen-Abb.2. (Die Batterie wird belastet, daher auch der Name Lastwiderstand)

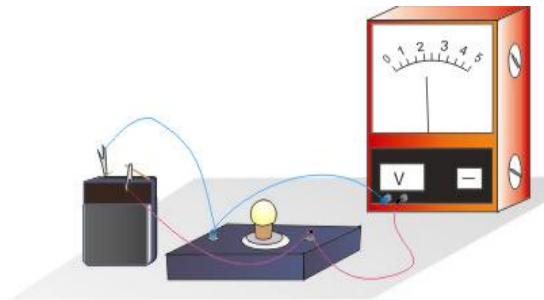


Abb.2.Man misst **Klemmenspannung**  $U_K$

### Der Kurzschlussstrom

Wird der äußere Widerstand  $R_L=0$ , so herrscht ein Kurzschluss und es fließt der Kurzschlussstrom  $I_K$ .

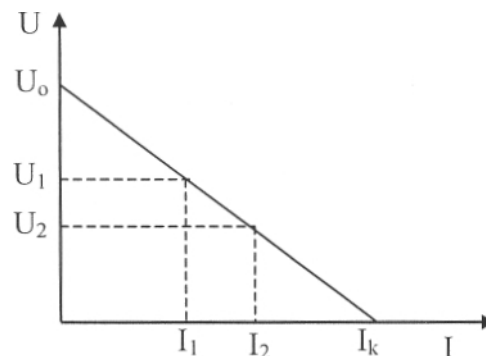
*Hinweis: Achte auf den Messbereich des Multimeters, wenn du den Kurzschlussstrom misst!*

$$I_K = U_0 / R_i \text{ für } R_L = 0$$

Selbst wenn man die Batterie kurzschließt, steigt der Strom nie über den maximalen Wert, den Kurzschlussstrom  $I_K$  an. Der Kurzschlussstrom wird also vom Innenwiderstand begrenzt.

$$I_k = \text{Kurzschlussstrom} = U_0 / R_i$$

$$U_0 = \text{Leerlaufspannung} .$$



### Innenwiderstand einer Spannungsquelle

Bisher sind wir davon ausgegangen, dass eine Spannungsquelle immer eine ganz bestimmte Spannung  $U$  liefert, z.B. eine Flachbatterie 4,5V.

Nach dem Ohmschen Gesetz gilt:  $I = U/R$ .

Würde man nun  $R$  immer kleiner werden lassen, so würde der Strom  $I$  immer größer werden (wenn die Spannung  $U$  konstant ist). Würde der Widerstand unendlich klein werden, würde der Strom unendlich groß werden. Das widerspricht aber den Beobachtungen: Jede Batterie und die meisten Netzgeräte zeigen einen deutlichen Spannungsabfall, wenn ein oder mehrere Energiewandler (umgangssprachlich Verbraucher z.B. Lämpchen, Motor..) eingeschaltet werden. Schließt man z.B. ein 4,5V-2W Lämpchen an eine Flachbatterie, so sinkt die Spannung von 4,5V auf 4,3V.

Bisher haben wir nämlich nicht beachtet, dass Spannungsquellen auch einen inneren Widerstand haben.

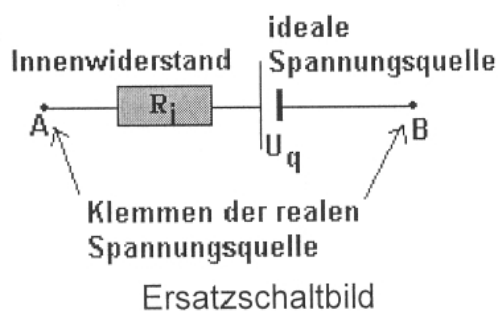
Jede (reale) Spannungsquelle besitzt einen Innenwiderstand  $R_i$ .

$R_i$  besteht aus chemisch-galvanischen Widerständen (der Ladungstransport mittels Ionenstrom durch den Elektrolyten und die dabei ablaufenden chemischen Reaktionen benötigen natürlich Energie).

Man kann sich die reale Batterie als eine Serienschaltung aus einer idealen, also sehr konstanten, Spannungsquelle mit einer Quellenspannung (Urspannung)  $U_q$  und einem Widerstand (Innenwiderstand  $R_i$ ) vorstellen.

Da ist natürlich nicht wirklich ein Widerstand eingebaut, das ist nur eine schematische Zeichnung, ein "Ersatzschaltbild".

Die Quellenspannung  $U_q$  bleibt konstant, d.h. sie ist unabhängig vom Strom  $I$ .



### Watt-Peak, (Abk. Wp),

Maß für die Leistungsfähigkeit von Solarzellen und Modulen. Dabei wird die maximal abgegebene elektrische Leistung bei senkrechter Einstrahlung eines AM 1.5 Sonnenspektrums gemessen. Modulpreise werden üblicherweise in €/Wp angegeben

(AM, Abk. Air Maß, engl. für Luftmasse. Die Luftmasse der Erdatmosphäre, durch die das Sonnenlicht dringt, beeinflusst dessen spektrale Zusammensetzung. Der Zahlenwert bei AM 1.5 ist der Faktor, um den der minimale Weg durch die Atmosphäre bei senkrechtem Einfall verlängert wird.)

- d.h. wenn der Lastwiderstand unendlich groß ist,
- wenn also der Stromkreis offen ist,
- wenn also im äußeren Kreis kein Strom fließt.

### Eine Spannungsquelle kann nicht ihre gesamte

Spannung (Quellenspannung  $U_q$  oder liefert sie die maximal mögliche Ursprungspannung, an den Lastwiderstand ("Verbraucher") abgeben.

Die Spannungsquelle mit dem Innenwiderstand  $R_i$  und der Quellenspannung (Ursprungspannung)  $U_q$  wird nun durch den Energiewandler  $R_L$  (Lastwiderstand, äußerer Widerstand, "Verbraucher") belastet.

Der Lastwiderstand  $R_L$  "bekommt" nicht die ganze Quellenspannung an den Klemmen A und B geliefert, weil ein Teil im Innenwiderstand  $R_i$  der Batterie verloren geht.

Klemmenspannung = Quellenspannung - innerer Spannungsabfall

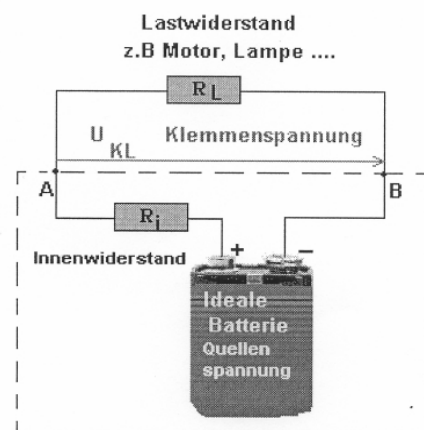
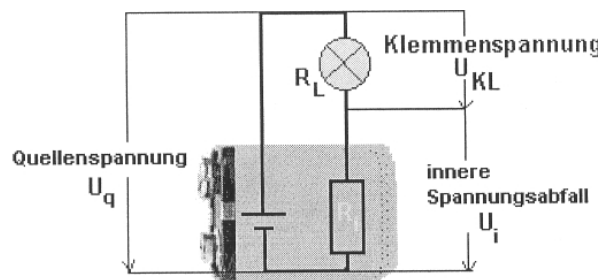
$$U_K = U_L - U_i$$

$$U_K = U_L - I \cdot R_i$$

Fließt ein Strom  $I$  durch den Außenkreis, so vermindert sich die Klemmenspannung um den Betrag  $I \cdot R_i$  (die Spannung, die am Innenwiderstand  $R_i$  abfällt, wenn der Strom  $I$  durch ihn fließt). Die Klemmenspannung d.h. die Spannung die am Widerstand  $R_L$  liegt, sinkt daher mit steigendem Strom.

### Zusammenfassung

$U_0$ : Leerlaufspannung	$I$ : Stromstärke
$I_K$ : Kurzschlussstrom	$U_L$ : Leerlaufspannung
$R_i$ : Innenwiderstand	$U_K$ : Klemmenspannung (= $U_{KL}$ )
$I_K = U_0 / R_i$	$R_L$ : Lastwiderstand (= $R_a$ : Außenwiderstand)
	. $U_{KL} = U_0 - I R_i$
	. $U_{KL} = I R_L$
	. $I = U_0 / (R_i + R_L)$
	Leistung des Lastwiderstands: $P = U_K I = R_L I^2$



Die strichlierte Umrandung stellt die reale Batterie dar .



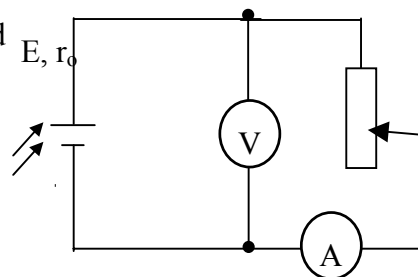
## Musterlösung der Station 07: Die belastete Solarzelle

### 1. Vorbetrachtung

- a) Was versteht man unter Belastung einer Spannungsquelle? Informiere dich am beiliegenden Handout!
- b) Erläutere mit eigenen Worten die folgenden Begriffe (Handout)
- **Klemmenspannung:** An die Batterie wird nun z.B. ein Lämpchen oder ein Motor mit bekanntem Widerstand  $R_L$  angeschlossen
  - **Leerlaufspannung:** An der Spannungsquelle ist nichts angeschlossen, d.h. kein äußerer Widerstand
  - **Kurzschlussstromstärke:** Wird der äußere Widerstand  $R_L=0$ , so herrscht ein Kurzschluss und es fließt der Kurzschlussstrom  $I_K$   
 $I_K = U_o / R_i$  für  $R_L = 0$
  - **Innerer Widerstand:**  $R_i$  besteht aus chemisch-galvanischen Widerständen (der Ladungstransport mittels Ionenstrom durch den Elektrolyten und die dabei ablaufenden chemischen Reaktionen benötigen natürlich Energie).
  - **Gibt es einen Zusammenhang zwischen den oben genannten Größen?**

### Zusammenfassung

<p><math>U_o</math>: Leerlaufspannung</p> <p><math>I_K</math>: Kurzschlussstrom</p> <p><math>R_i</math>: Innenwiderstand</p> <p><math>I_K = U_o / R_i</math></p>	<p><math>I</math>: Stromstärke</p> <p><math>U_q (=U_L)</math>: Quellenspannung</p> <p><math>U_{KL}</math>: Klemmenspannung</p> <p><math>R_L</math>: Lastwiderstand</p> <p><math>U_{KL} = U_o - I R_i</math></p> <p><math>U_{KL} = I R_L</math></p> <p><math>I = U_o / (R_i + R_L)</math></p> <p>Leistung des Verbrauchers: <math>P = U_{KL} I = R_L I^2</math></p>
---	--



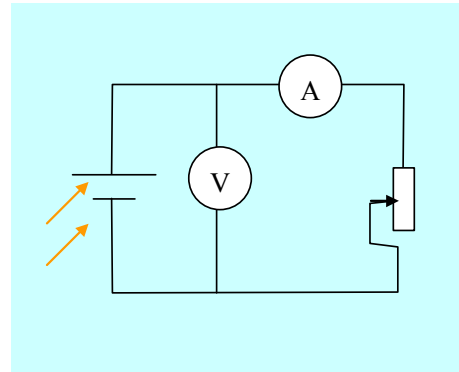
### 2. Experimentelle Fragestellung:

**2.1. Hypothesenbildung: Formuliere eine Hypothese, wie sich eine Änderung des Außenwiderstandes auf die Klemmenspannung und die Stromstärke einer Solarzelle auswirkt!**

**2.2. Entwerfen einer Experimentieranordnung**

a) Entwirf eine Skizze für die zur Prüfung deiner Hypothese! Was musst du nachweisen? Welche Messgeräte benötigst du?

Messgeräte: Solarzelle, Außenwiderstand, 02  
Multimeter, Netzgeräte



b) Aufnahme von Messreihen

U (V)	0,34	0,34	0,33	0,32	0,31	0,3	0,29	0,27	0,26	0,24	0,09	0,08	0,04	0,01
I (A)	0	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,1	0,11	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19
R <sub>a</sub> = U/I (Ω)		8,5	6,6	5,3	3,9	3,3	2,9	2,5	2	1,7	1,2	0,8	0,4	0,06
P = U.I (W)	0	0,013	0,016	0,019	0,025	0,27	0,029	0,030	0,034	0,034	0,03	0,024	0,014	0,002

c) Grafische Auswertung

- Stelle den Zusammenhang zwischen U und I grafisch dar!
- Stelle die Leistung der Solarzelle in Abhängigkeit vom Außenwiderstand grafisch dar!

### 2.3. Deuten der experimentellen Ergebnisse

a) Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung!

b) Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

Die Solaranlage muss der Belastung (Außenwiderstand) angepasst werden.

### 3. Kreuze die richtige Antwort an!

3.1. B, 3.2.B, 3.3. C

### Station 08: Einfluss der Außentemperatur auf die Leistung einer Solarzelle

*Erkenntnisgewinnung mit Hilfe der experimentellen Methode*

**Experimentelle Fragestellung:** Finde heraus, welchen Einfluss die Außentemperatur auf die Leistung einer Solarzelle hat!

**Aufgaben:**

**1. Hypothesenbildung:** Ein Solarzelle besteht aus Halbleitermaterialien. Welchen Einfluss könnte die Temperatur auf die Leistung einer Solarzelle haben? Formuliere eine Vermutung!

.....  
 .....  
 .....  
 .....

**2. Wie kannst du den Einfluss der Außentemperatur auf eine Solarzelle experimentell untersuchen?**

- Baue mit Hilfe folgender Geräte eine Experimentieranordnung auf!

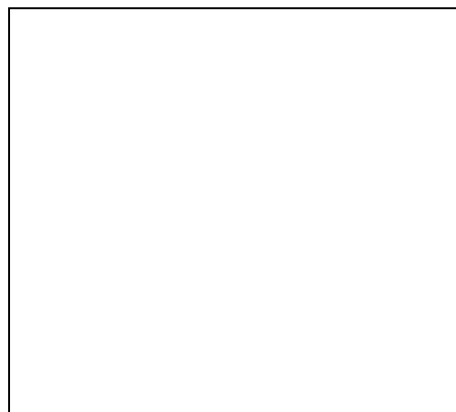
Wenn du nicht weiterkommst, fordere vom Lehrer ein Handout an!

**Geräte:** Solarzelle mit Außenwiderstand, Spannungs- und Strommessgeräte, Thermometer, Lampe.

- Bestrahle die Solarzelle mit der Lampe und miss die Temperatur bis 60° C , die Klemmenspannung und den Strom.

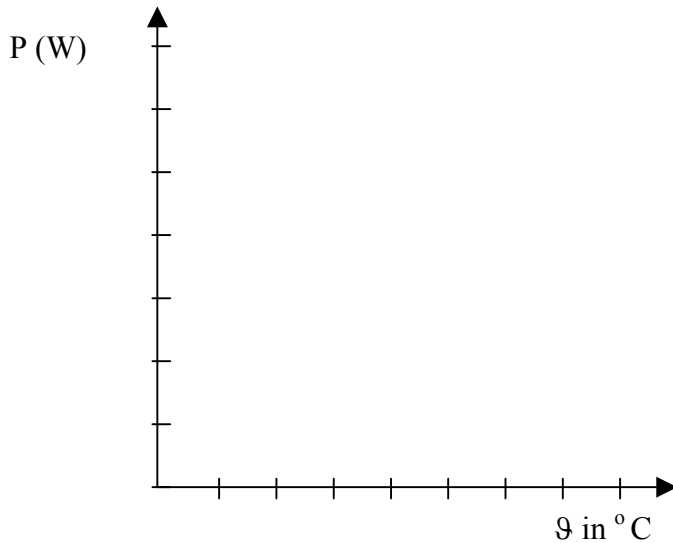
- Trage die Messwerte in diese Tabelle ein.

- Berechne die Leistung der Solarzelle. Trage die Werte in die Tabelle ein.



ϑ in °C								
I in A								
U in V								
P in W								

Stelle die Messwerte grafisch dar!



### 3. Deuten der experimentellen Ergebnisse:

a) Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung!

.....  
.....  
.....

b) Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

.....  
.....  
.....

### 4. Welcher Zusammenhang zwischen der Außentemperatur und der Leistung einer Solarzelle ist richtig?

- A. Je größer die Außentemperatur, desto kleiner die Leistung einer Solarzelle.
- B. Je größer die Außentemperatur, desto größer die Leistung einer Solarzelle.
- C. Die Leistung einer Solarzelle ist nicht von der Außentemperatur abhängig.
- D. Es besteht ein quadratischer Zusammenhang zwischen der Außentemperatur und der Leistung einer Solarzelle.

## Handout von Station08

### Leerlaufspannung (Abb.1)

An der Spannungsquelle ist nichts angeschlossen d.h. kein äußerer Widerstand. Diesen Betriebszustand bezeichnet man als Leerlauf. Im Leerlauf fließt kein Strom, es fällt am Innenwiderstand  $R_i$  daher auch keine Spannung ab.

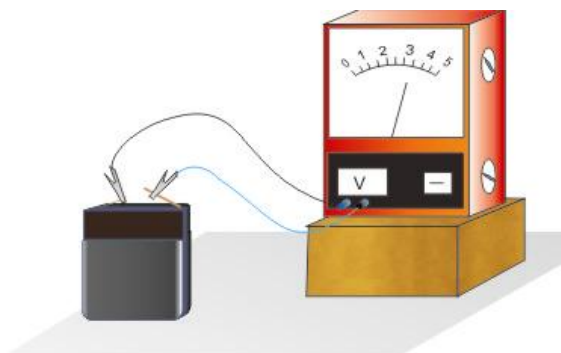


Abb.1 Man misst die Quellenspannung  $U_L$  (Leerlaufspannung) der Batterie

### Klemmenspannung

An die Batterie wird nun z.B. ein Lämpchen oder ein Motor mit bekanntem Widerstand  $R_L$  angeschlossen –Abb.2. (Die Batterie wird belastet, daher auch der Name Lastwiderstand)

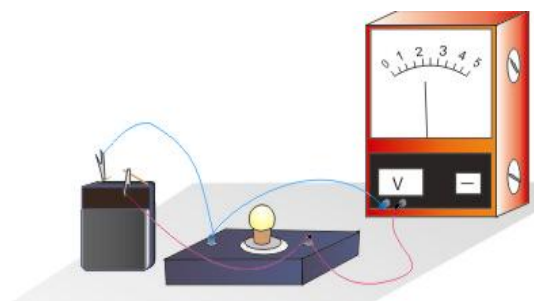


Abb.2.Man misst Klemmenspannung  $U_K$

### Der Kurzschlussstrom

Wird der äußere Widerstand  $R_L=0$ , so herrscht ein Kurzschluss und es fließt der Kurzschlussstrom  $I_K$

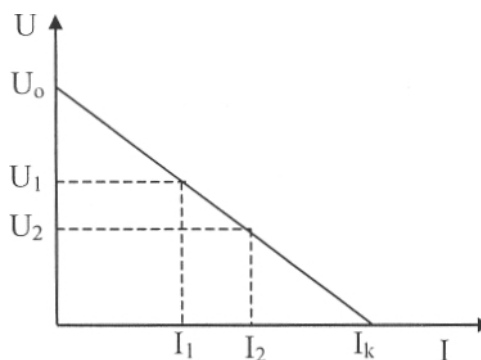
*Hinweise: Achte auf den Messbereich des Multimeters, wenn du den Kurzschlussstrom misst!*

$$I_K = U_o / R_i \text{ für } R_L = 0$$

Selbst wenn man die Batterie kurzschließt, steigt der Strom nie über den maximalen Wert, den Kurzschlussstrom  $I_K$  an. Der Kurzschlussstrom wird also vom Innenwiderstand begrenzt.

$$I_k = \text{Kurzschlussstrom} = U_o / R_i$$

$U_o$  = Leerlaufspannung .



$U_o$ : Leerlaufspannung	I: Stromstärke
$I_K$ : Kurzschlussstrom	$U_q (=U_L)$ : Quellenspannung
$R_i$ :Innenwiderstand	$U_K$ : Klemmenspannung

$I_K = U_o / R_i$	$R_L$ : Lastwiderstand (= $R_a$ :Außenwiderstand) . $U_K = U_o - I R_i$ . $U_K = I R_L$ . $I = U_o / (R_i + R_L)$ Leistung des Verbrauchers: $P = U_K I = R_L I^2$
-------------------	--

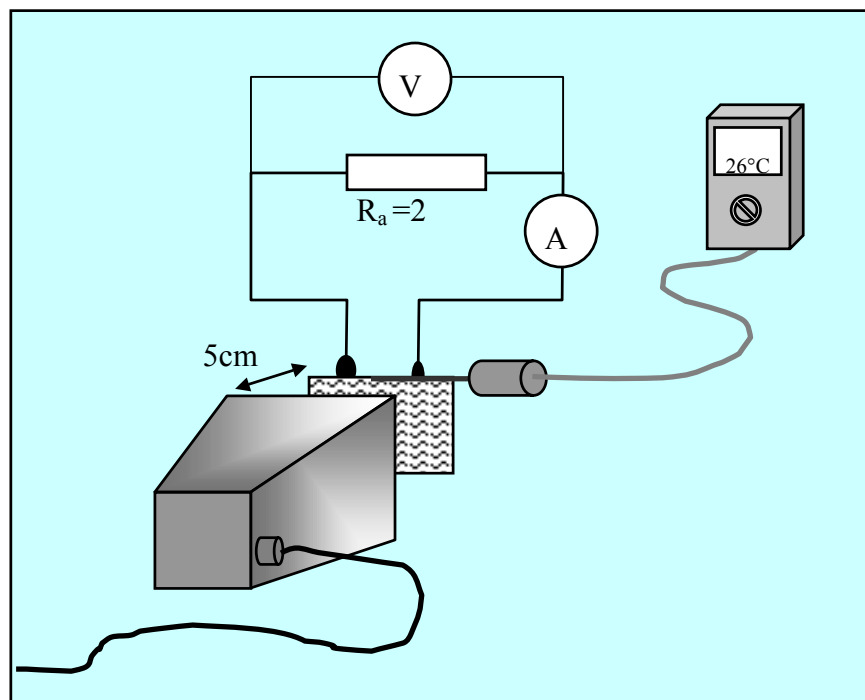


Abb. 3. Experimentieranordnung zur Untersuchung des Einflusses der Außentemperatur auf die Leistung einer Solarzelle

Baue den Versuch nach Schaltplan auf und beleuchte die Solarzelle aus ca. 5cm Entfernung senkrecht zur Halogenlampe. Miss die Temperatur der Solarzellenoberfläche bis 60°C, die Klemmenspannung und den Strom.

θ in °C	25	30	35	40	45	50	55	60
I in A								
U in V								
P=U*I in W								

## Musterlösung der Station 08: Einfluss der Außentemperatur auf die Leistung einer Solarzelle

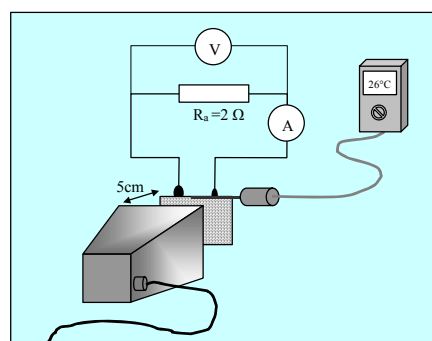
### Aufgaben:

1. **Hypothesenbildung:** Eine Solarzelle besteht aus Halbleitermaterialien. Welchen Einfluss könnte die Temperatur auf die Leistung einer Solarzelle haben? Formuliere eine Vermutung!

*Je größer die Außentemperatur, desto kleiner die Leistung einer Solarzelle*

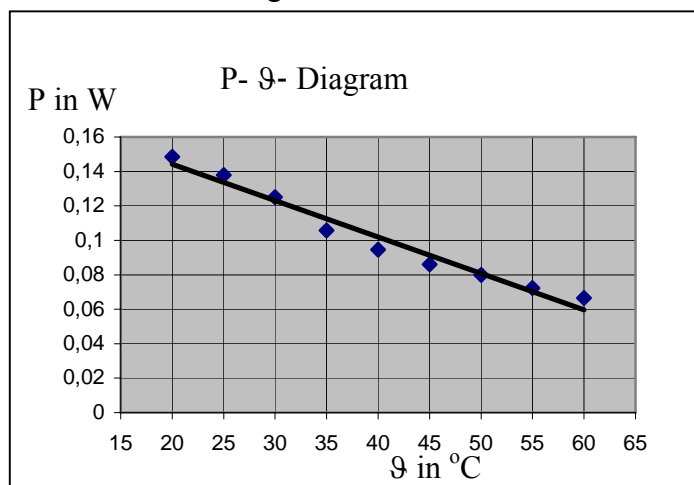
2. **Wie kannst du den Einfluss der Außentemperatur auf eine Solarzelle experimentell untersuchen?**

- Baue mit Hilfe folgender Geräte eine Experimentieranordnung auf,
- die Messwerte in diese Tabelle ein,
- Berechne die Leistung der Solarzelle,
- Trage die Werte in die Tabelle ein.



$\vartheta$ in °C	20	25	30	35	40	45	50	55	60
I in A	0,27	0,26	0,25	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18
U in V	0,55	0,53	0,50	0,46	0,43	0,41	0,40	0,38	0,37
P in W	2,97	3,45	3,75	3,7	3,78	3,87	4	3,97	4

- Stelle die Messwerte grafisch dar!



### 3. Deuten der experimentellen Ergebnisse:

a) Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung!

b) Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

*Je größer die Außentemperatur, desto kleiner die Leistung einer Solarzelle*

**4. Welcher Zusammenhang zwischen der Außentemperatur und der Leistung einer Solarzelle ist richtig?**

Antwort A.



### **Station 09: Anwendung der Solarzelle - ökonomische und ökologische Betrachtungen zur Produktion und zum Einsatz von Solaranlagen**

#### **Problemstellung:**

- Ist die Produktion von Solarzellen ökologisch vertretbar?
- Nach wie vielen Jahren hat sich der Kauf einer Solaranlage für ein Einfamilienhaus amortisiert?

**Aufgaben:** Führe mit Hilfe des Handouts folgende Berechnungen durch und interpretiere deine Ergebnisse unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten!

1. Wie viel Elektroenergie benötigt durchschnittlich ein Einfamilienhaus mit vier Personen? (*siehe Handout!*)

.....  
.....

2. Wie viel Elektronenergie ist notwendig, um eine 5 kW – Solaranlage herzustellen und zu montieren? (*siehe Handout!*)

.....  
.....

3. Wie viel CO<sub>2</sub> wird von eingespart, wenn die in Aufgabe 2 beschriebene Anlage ein Jahr lang täglich 8 Stunden arbeitet? (*siehe Handout!*)

.....  
.....

4. Wie viel CO<sub>2</sub> wird von einem Kohlekraftwerk ausgestoßen, um die in Aufgabe 2 benötigte Elektronenergie bereitzustellen? (*siehe Handout!*)

.....  
.....

5. Eine ausgewachsene Fichte kann pro Jahr ca. 20 kg CO<sub>2</sub> aufnehmen. Wie viele Fichten müssten wir anpflanzen, um das von einem Kohlekraftwerk ausgestoßene CO<sub>2</sub> aufzunehmen, das bei der Herstellung und Montage der Solaranlage freigesetzt wird? (*siehe Handout!*)

.....  
.....  
.....

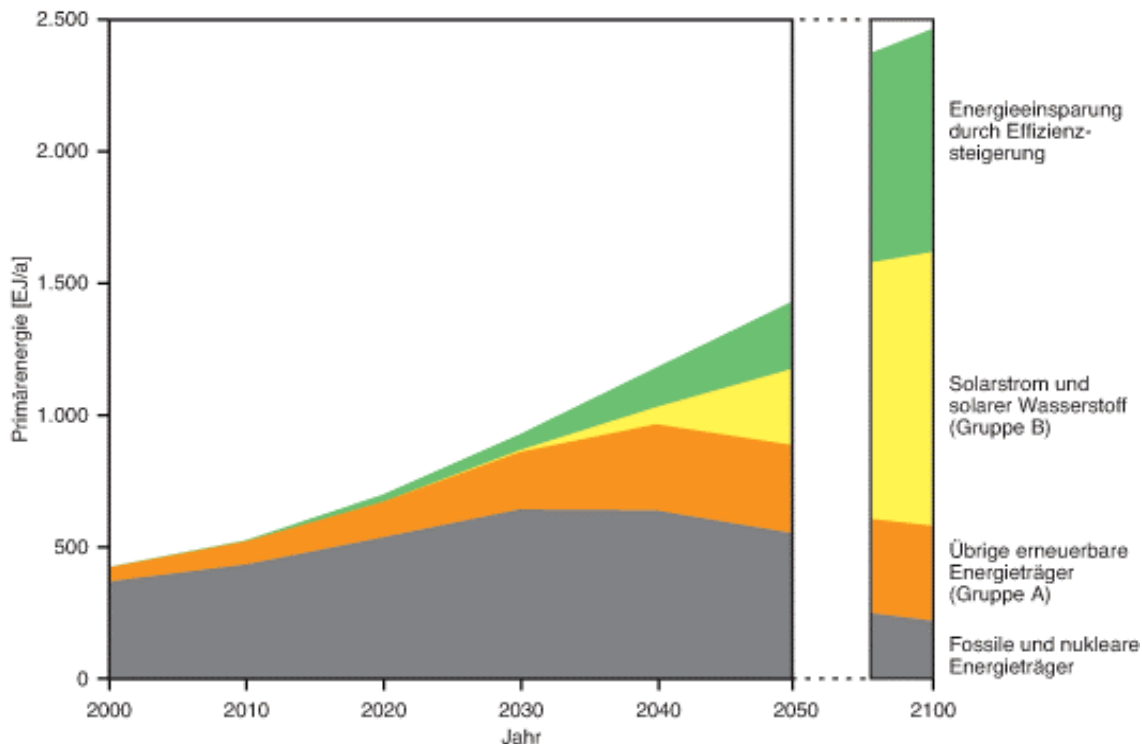
6. Welche Schlussfolgerungen ziehst du aus diesen Berechnungen? (*siehe Handout!*)

.....  
.....  
.....

## Handout von Station 09

### Fakten:

- Energievorrat an fossilen Energieträgern reicht nur noch 50–100 Jahre .



- Für ein Einfamilienhaus mit 4 Personen ist eine Solaranlage von 5-8 kW zu installieren.
- Für die Produktion von 1kWh Elektroenergie werden von einem Kohlekraftwerk 0,62 kg CO<sub>2</sub> ausgestoßen
- Internationale Vergleichsstudien zeigen, dass für die Herstellung einschließlich Montage eines Solarmoduls so viel Energie benötigt wird, wie Solarmodul in rund 5 Jahren an elektrischer Energie erzeugt. Dies ist die sogenannte Energiewiedergewinnungszeit.
- In der Regel haben Solarmodule eine Lebenserwartung von mindestens 20 Jahren. Es werden heute schon Solarmodule produziert, die in kürzerer Zeit die Energie bereitgestellt haben, die für ihre Herstellung benötigt wird.

Und noch eine Rechnung:

Eine ausgewachsene Fichte kann pro Jahr ca. 20 kg CO<sub>2</sub> aufnehmen. Wir müssten also, wenn wir anstatt unsere Solaranlage zu bauen, Fichten anpflanzen würden, einen Wald in der Größe von 25 Fußballfeldern anlegen. Nur, dass dieser Wald erst in 20 Jahren ausgewachsen sein würde.

<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
<p>Photovoltaische Anlagen (wie auch andere Solarenergieanlagen) nutzen die in menschlichen Zeiträumen unerschöpfliche Sonnenenergie.</p> <p>Solarzellen sind im Betrieb (nicht aber bei der Herstellung!) emissionsfrei (außer eventuell optische Beeinträchtigung durch unerwünschte Reflexionen).</p> <p>Photovoltaik ist flexibel einsetzbar. Die Leistungen reichen von Milliwatt (z.B. bei Armbanduhren) bis zu Megawatt (bei Solarkraftwerken).</p> <p>Photovoltaische Zellen nutzen auch diffuses Licht und Licht im Innern von Gebäuden.</p> <p>Lange Lebensdauer (ca. 30 Jahre)</p>	<p>Die Leistungsdichte (Watt pro Quadratmeter) ist gering und der Flächenbedarf deshalb groß.</p> <p>Die Stromproduktion hängt von der Tageszeit und vom Wetter ab. Für ununterbrochene Stromabgabe sind aufwendige Energiespeichervorrichtungen erforderlich.</p> <p>Es wird Gleichstrom erzeugt. Für Stromspeisung ins Netz sind Wechselrichter notwendig, die den Gesamtwirkungsgrad der Anlage reduzieren.</p> <p>Die Herstellung der Photovoltaikzellen ist sehr energieaufwendig und mit beträchtlichen Schadstoffemissionen verbunden.</p>

<http://www.tzl.de/prenski/projekte/solarprojekt/>

<http://www.bsi-solar.de/anwender/anlagenberechnung.asp>

<http://emsolar.ee.tu-berlin.de/allgemein/enamort.html>

### **Musterlösung der Station 09: Anwendung der Solarzelle - ökonomische und ökologische Betrachtungen zur Produktion und zum Einsatz von Solaranlagen**

**Aufgaben:** Führe mit Hilfe des Handouts folgende Berechnungen durch und interpretiere deine Ergebnisse unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten!

- 1. Wie viel Elektroenergie benötigt durchschnittlich ein Einfamilienhaus mit 4 Personen?** (siehe Handout!)

*32kWh pro Tag*

- 2. Wie viel Elektronenergie ist notwendig, um eine 5 kW-Solaranlage herzustellen und zu montieren?** (siehe Handout!)

*Es wird angenommen, dass die Anlage 5 Jahre lang täglich 10 Stunden eine Leistung von 5 KW liefert.*

$$W = 5kW \times 5 \times 365 \times 10h = 91250 \text{ kWh}$$

- 3. Wie viel CO<sub>2</sub> wird eingespart, wenn die in Aufgabe 2 beschriebene Anlage ein Jahr lang täglich 8 Stunden arbeitet?** (siehe Handout!)

*1 kWh Elektronenergie erzeugt 0,62 kg CO<sub>2</sub>*

$$5KW \times 8h \times 365 \rightarrow 5 \times 8 \times 365 \times 0,62 = 9052 \text{ kg CO}_2 \text{ pro Jahr}$$

- 4. Wie viel CO<sub>2</sub> wird von einem Kohlekraftwerk ausgestoßen, um die in Aufgabe 2 benötigte Elektronenergie bereitzustellen?** (siehe Handout!)

*1kW Elektronenergie erzeugt 0,62 kg CO<sub>2</sub>*

$$91250 \text{ kWh erzeugt } 0,62 \times 91250 = 56575 \text{ kg CO}_2$$

- 5. Eine ausgewachsene Fichte kann pro Jahr ca. 20kg CO<sub>2</sub> aufnehmen. Wie viele Fichten müssten wir anpflanzen?** (siehe Handout!)

*311 Fichten in 20 Jahre*

- 6. Welche Schlussfolgerungen ziehst du aus diesen Berechnungen?** (siehe Handout!)

*in 20 Jahren werden  $57,4 \text{ Cent /kWh} \times (292000 \text{ kWh} - 91250 \text{ kWh}) = 115\,230 \text{ €}$  gespart!*

### Station 10: Solaranlage

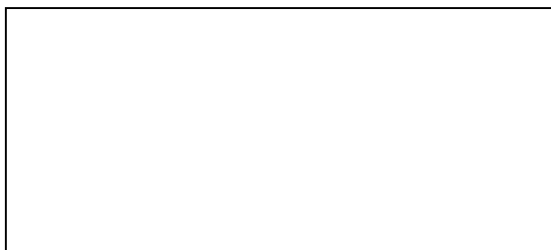
(Führe diese Station durch, wenn du die Stationen 02 und 03 durchgeführt hast!)

**Problemstellung:** Es stehen nur 6 Solarzellen ( $0,4V$ ;  $0,1A$ ) zur Verfügung. Finde heraus, wie man diese Solarzellen ( $0,4V$ ;  $0,1A$ ) verschalten muss, um bei einer Solaranlage maximale Stromstärke bzw. Leerlaufspannung zu erhalten?

#### Aufgaben:

##### 1. Schaltungen

a) Wie muss man die gegebenen Solarzellen schalten, um die maximale Stromstärke zu

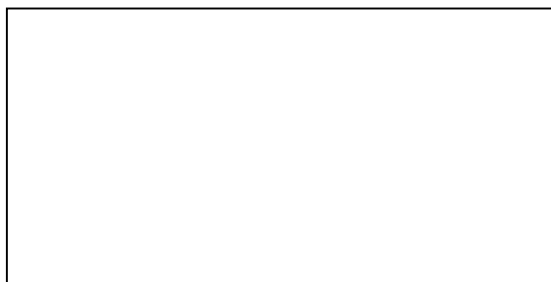


erhalten? Entwickle eine Schaltungsskizze!

b) Wie muss man die gegebenen Solarzellen schalten, um die maximale Leerlaufspannung zu erhalten. Entwickle eine Schaltskizze!



c) Wie muss man die gegebenen Solarzellen schalten, um eine Solaranlage ( $1,2 V$ ;  $0,2A$ ) zu erhalten. Entwickle eine Schaltskizze!



##### 2. Bestimme den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung einer Solaranlage

- Schalte eine Solaranlage wie in Aufgabe 1c)!
- Miss den Kurzschlussstrom der Solaranlage und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein!
- Miss die Leerlaufspannung von Solaranlage und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein!

Kurzschlussstrom in A	
Leerlaufspannung in V	

Tab.1

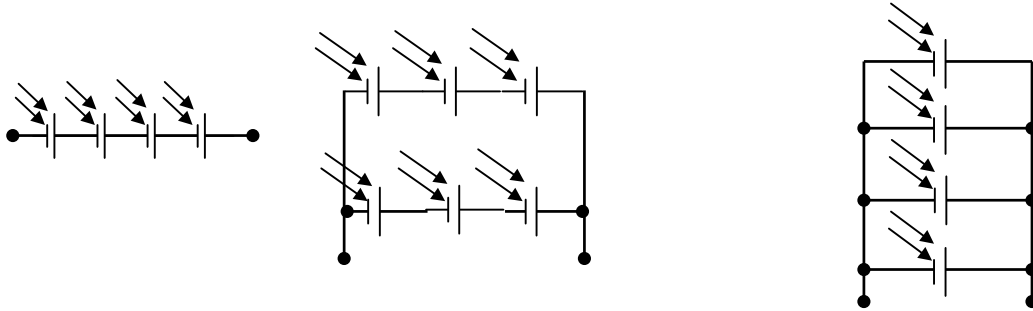
### 3. Erläutere deine Versuchsergebnisse mit eigenen Worten!

.....

.....

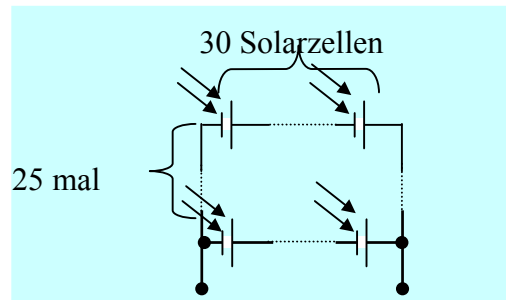
### 4. Welche Schaltung findet bei der Solaranlage Anwendung?

- A. Reihenschaltung     B. kombinierte Schaltung     C. Parallelschaltung

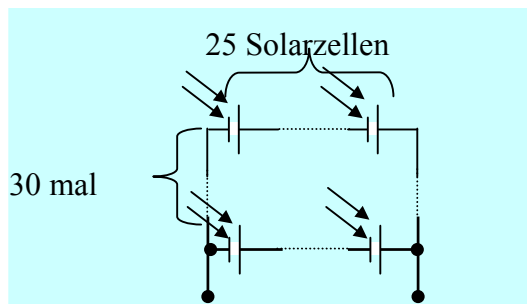


### 5. Wie kann man eine 6V – 2,5 A Solaranlage aufbauen? Es stehen nur Solarzelle (0,2V; 0,1A) zur Verfügung.

- A. Man schaltet 750 Solarzellen in Reihe
- B. Man schaltet 750 Solarzellen parallel zueinander
- C. Man schaltet 750 Solarzellen in kombinierter Schaltung. Es sind jeweils 30 Solarzellen in Reihe zu schalten. Diese Reihenschaltung ist 25 mal parallel zu schalten.



- D. Man schaltet 750 Solarzellen in kombinierter Schaltung. Es sind jeweils 25 Solarzellen in Reihe zu schalten. Diese Reihenschaltung ist 30 mal parallel zu schalten.



### Handout der Station 10:

#### Leerlaufspannung (Abb.1)

An der Spannungsquelle ist nichts angeschlossen d.h. kein äußerer Widerstand. Diesen Betriebszustand bezeichnet man als Leerlauf. Im Leerlauf fließt kein Strom, es fällt am Innenwiderstand  $R_i$  daher auch keine Spannung ab.

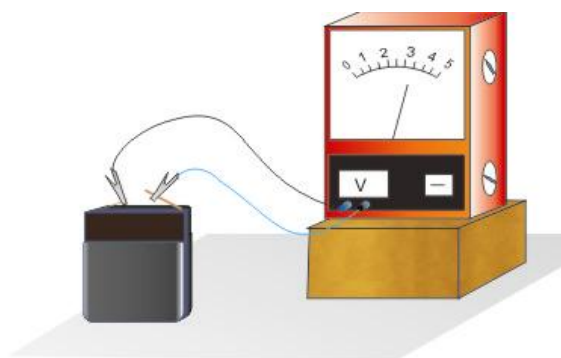


Abb.1 Man misst die Quellenspannung  $U_L$  (Leerlaufspannung) der Batterie

#### Klemmenspannung

An die Batterie wird nun z.B. ein Lämpchen oder ein Motor mit bekanntem Widerstand  $R_L$  angeschlossen –Abb.2. (Die Batterie wird belastet, daher auch der Name Lastwiderstand)

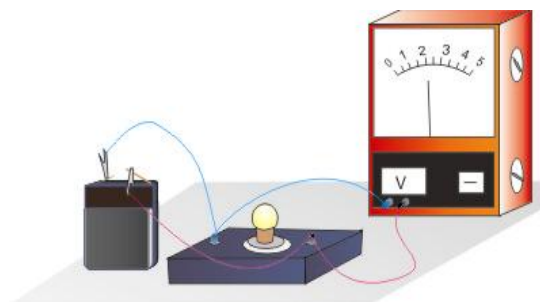


Abb.2. Man misst **Klemmenspannung**  $U_K$

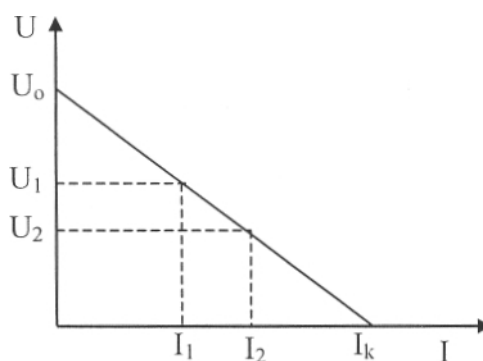
#### Der Kurzschlussstrom

Wird der äußere Widerstand  $R_L=0$ , so herrscht ein Kurzschluss und es fließt der Kurzschlussstrom  $I_K$

*Hinweise: Achte auf den Messbereich des Multimeters, wenn du den Kurzschlussstrom misst!*

$$I_K = U_0 / R_i \text{ für } R_L = 0$$

Selbst wenn man die Batterie kurzschließt, steigt der Strom nie über den maximalen Wert, den Kurzschlussstrom  $I_K$  an. Der Kurzschlussstrom wird also vom Innenwiderstand begrenzt.



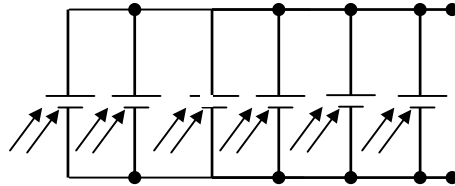
$$I_k = \text{Kurzschlussstrom} = U_0 / R_i$$

$$U_0 = \text{Leerlaufspannung} .$$

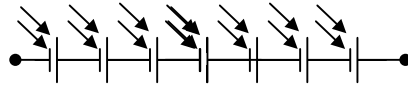
### Musterlösung der Station 10: Solaranlage

#### Aufgaben:

1. a) Wie muss man die gegebenen Solarzellen schalten, um die maximale Stromstärke zu erhalten? Entwickle eine Schaltskizze!



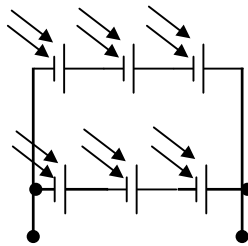
b) Wie muss man die gegebenen Solarzellen schalten, um die maximale Leerlaufspannung zu erhalten. Entwickle eine Schaltskizze!



c) Wie muss man die vergebenen Solarzellen schalten, um eine Solaranlage (1,2 V; 0,2A) zu erhalten. Entwickle eine Schaltskizze!

2. Bestimme den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung einer Solaranlage

- Schalte eine Solaranlage wie in Aufgabe 1c) !



- Miss den Kurzschlussstrom der Solaranlage und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein!

- Miss die Leerlaufspannung von Solaranlage und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein!

Kurzschlussstrom in A	1,2V
Leerlaufspannung in V	0,2 A

3. Erläutere deine Versuchsergebnisse mit eigenen Worten!

4. Welche Schaltung findet bei der Solaranlage Anwendung?

*Antwort: B*

5. Wie kann man eine 6 – 2A-Solaranlage aufbauen? Es stehen nur Solarzellen (0,4V; 0,1A) zur Verfügung.

*Antwort: C*

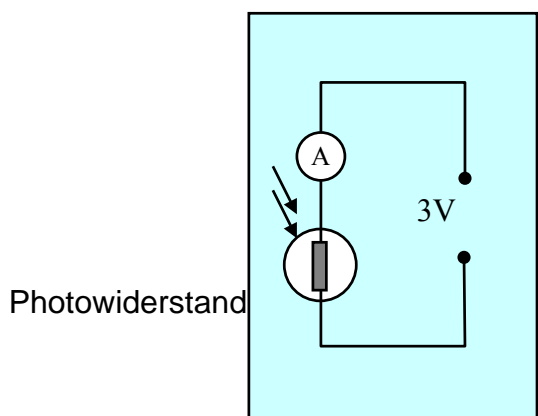


### 10.1.2 Anhang A2: Arbeitsblätter und Musterlösungen für den Frontalunterricht

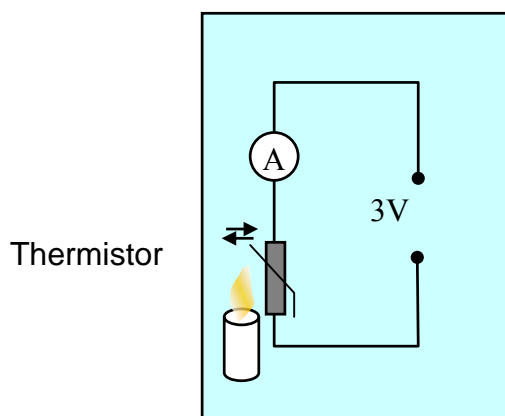
#### 1.Stunde: Grundlagen der Photovoltaik

##### Tafelbild: Grundlagen der Photovoltaik

- Es ist zwingend notwendig, dass neue ökologische Energiequellen erschlossen werden, da der Vorrat an fossilen Energieträgern nur noch für 50-100 Jahre ausreicht.
- Halbleitermaterialien bilden die Grundlagen für die Photovoltaik.



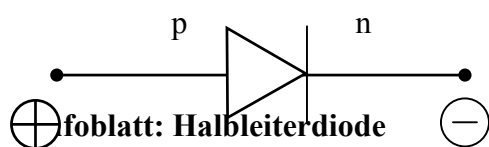
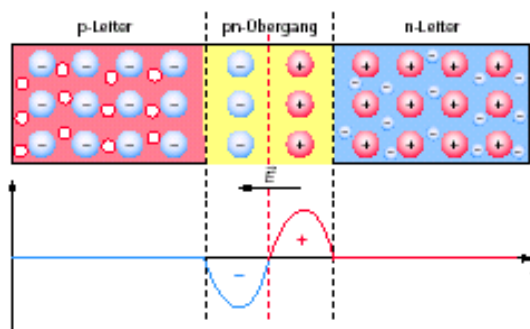
Beeinflussung des Stromflusses in einem Halbleiter durch Beleuchtung



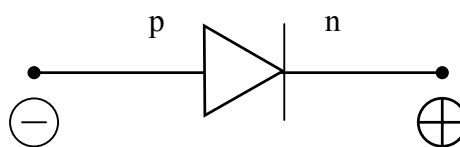
Beeinflussung des Stromflusses in einem Halbleiter durch Erwärmung

- Versuchsskizze
- Der Stromfluss in Halbleitern kann durch Erwärmung bzw. Beleuchtung beeinflusst werden.

- Eine Halbleiterdiode besteht aus einem Halbleiterkristall mit einem p- und einem n-leitenden Gebiet. Zwischen diesen befindet sich ein an wandlungsfähigen Ladungsträgern verarmter p-n-Übergang.



Durchlassrichtung



Sperrrichtung

**1. Aufbau:** Eine Silizium-Halbleiterdiode besteht aus einem Siliziumkristall, der durch Einbau von Fremdatomen ein p-leitendes und ein n-leitendes Gebiet hat.

Durch Diffusion von Elektronen aus dem n-Gebiet in das p-Gebiet und von Defektelektronen aus dem p-Gebiet in das n-Gebiet entsteht zwischen diesen beiden Gebieten eine Grenzschicht, in der Elektronen und Defektelektronen rekombinieren (Abb.1).

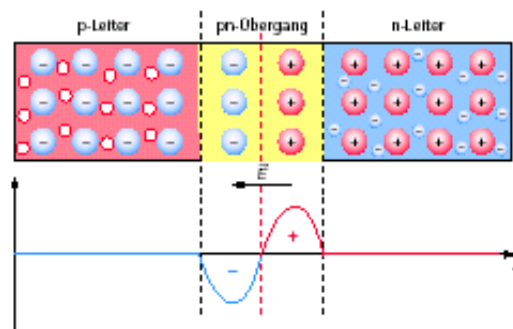


Abb.1

In dieser Grenzschicht ist deshalb die Konzentration der beweglichen Ladungsträger beider Vorzeichen kleiner als außerhalb. Man bezeichnet diese Grenzschicht als p-n-Übergang. Im n-Gebiet bleiben örtlich gebundene positive Ionen, im p-Gebiet negative Ionen zurück. Dadurch entsteht im Innern des Kristalls ein elektrisches Feld mit der Feldstärke  $E$ . Es ist so gerichtet, dass es der weiteren Diffusion von Ladungsträgern entgegenwirkt. Man nennt es Diffusionsfeld.

In einem stromlosen p-n-Übergang bildet sich durch die Diffusion der Ladungsträger ein elektrisches Feld aus.

## 2. Funktionsweise:

Problem: Was geschieht, wenn man an die Halbleiterdiode eine Gleichspannung anlegt?

a) Durchlassrichtung:

Wird der Pluspol der Spannungsquelle mit dem p-leitenden Gebiet und der Minuspol mit dem n-leitenden Gebiet verbunden (Abb.2), dann bewegen sich die Elektronen und die Löcher ins elektrische Feld so, dass der p-n-Übergang mit Ladungsträgern überschwemmt wird. Damit  $I$  in der gesamten Halbleiterdiode wanderungsfähige Ladungsträger vorhanden.

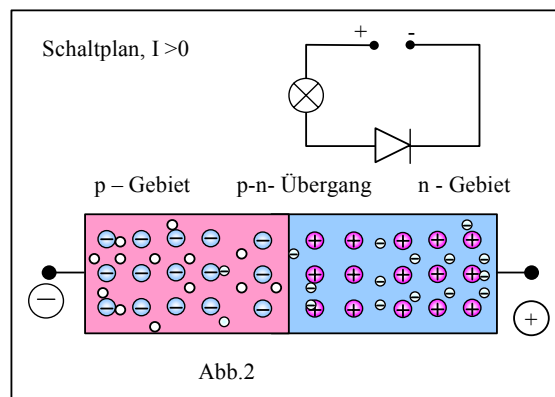


Abb.2

Es fließt ein Strom. Die Halbleiterdiode ist in Durchlass-richtung geschaltet.

b) Sperrichtung:

Wird der Pluspol der Spannungsquelle mit dem n-Gebiet und der Minuspol mit dem p-Gebiet verbunden (Abb.3), dann bewegen sich die Elektronen und die Löcher in elektrische Feld so, dass der p-n-

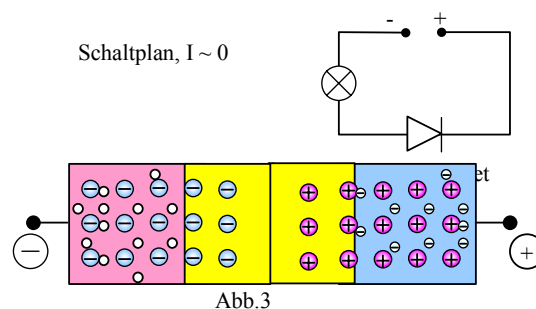


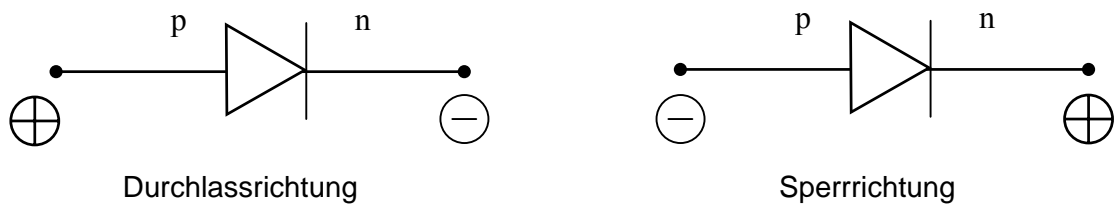
Abb.3

Übergang sind keine wanderungsfähigen Ladungsträger mehr vorhanden. Es kann demzufolge kein Strom fließen. Die Halbleiterdiode ist in Sperrrichtung geschaltet.

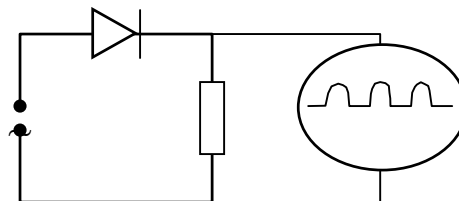
### Zusammenfassung:

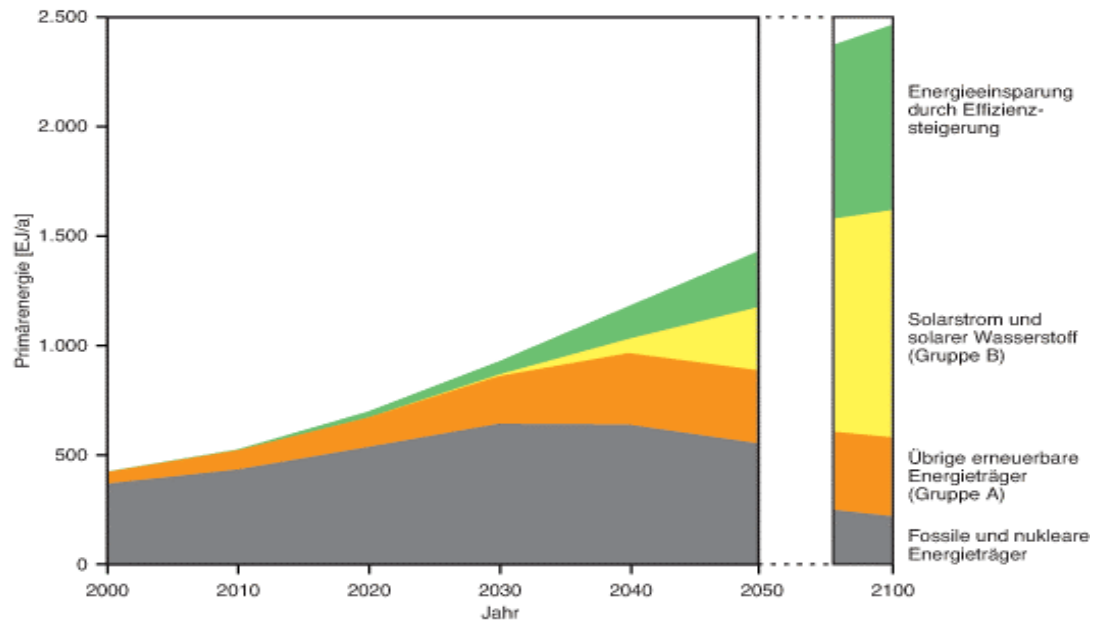
Eine Halbleiterdiode besteht aus einem Halbleiterkristall mit einem p- und einem n-leitenden Gebiet. Zwischen diesen befindet sich ein an wanderungsfähigen Ladungsträgern verarmter p-n-Übergang.

Halbleiterdioden können in Durchlass- oder Sperrrichtung geschaltet werden.

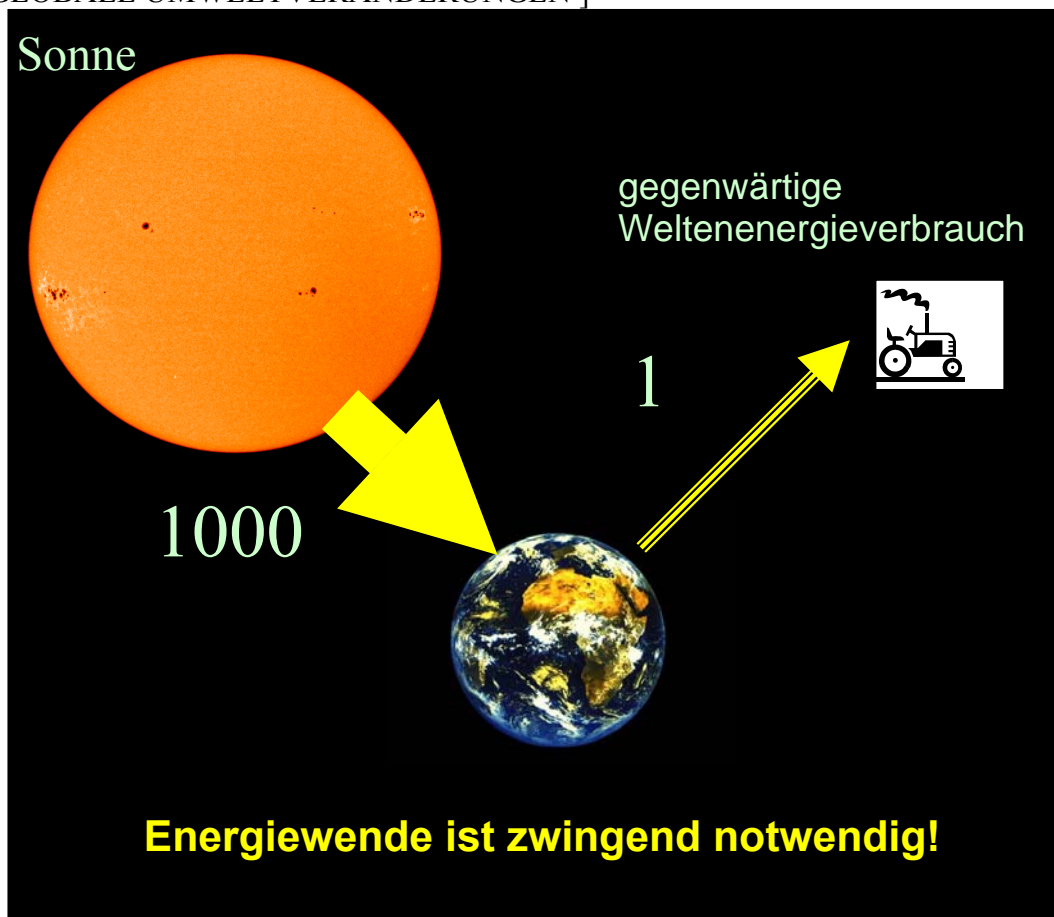


Halbleiter werden vorwiegend als Gleichrichter verwendet.





Folie 1: [Quelle: WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN ]



Folie 2: Energiewende ist zwingend notwendig

Aktualitätendienst
Geographie

### Lösen „die Regenerativen“ unsere Energieprobleme?

Grafiken und Schaubilder

**Abbildung 1 – Der Preis für das Öl**

**Der Preis für das Öl**  
Preis für ein Barrel Rohöl (=159 Liter) in Dollar

Jahr	Preis (Dollars)	Ursache
1970	1,67	
1974	10,73	1974 Ölkrise
1979	17,25	1979 Iranische Revolution
1980	52,78	1980 Ölkrise, Weltrezession
1982/83	29,04	Nicht-OPEC-Länder* weiten Ölförderung aus
1986	13,53	1986-88 OPEC zerstritten, Kampf um Marktanteile
1988	29,04	
1990/91	29,36	1990/91 Irak besetzt Kuwait, Golfkrieg
1998	12,28	1998 Überproduktion, Wirtschaftskrise in Asien
2001	23,12	2001 Terroranschläge in den USA
2003	28,18	2003 Irak-Krieg
Mitte Mai '04	37,72	

\*Großbritannien, Mexiko, Norwegen Quelle: OPEC © Globus 9231

**Abbildung 2 – Struktur des Weltprimärenergieverbrauchs 1971 und 2001**

**2001**

Öl 35,0%

gesamt: 420 000 PJ

**1971**

Öl 43,8%

gesamt: 234 000 PJ

2001	1971
Öl 35,0%	Öl 43,8%
Kernenergie 6,9%	Kernenergie 0,5%
Gas 21,2%	Gas 16,0%
Kohle 23,4%	Kohle 25,9%
Anteil erneuerbarer Energien 13,5%	Anteil erneuerbarer Energien 13,8%
Wasserkraft 2,2%	Wasserkraft 1,9%
Biomasse 10,8%	Biomasse 11,7%
Geothermie, Wind, Sonne usw. 0,5%	Geothermie, Wind, Sonne usw. 0,2%

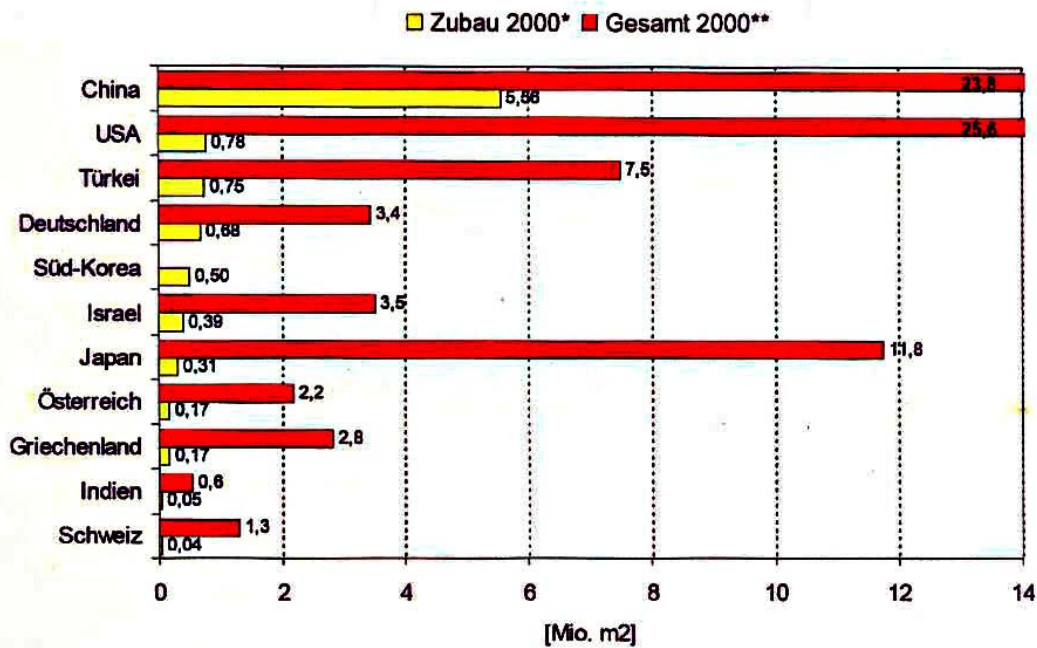
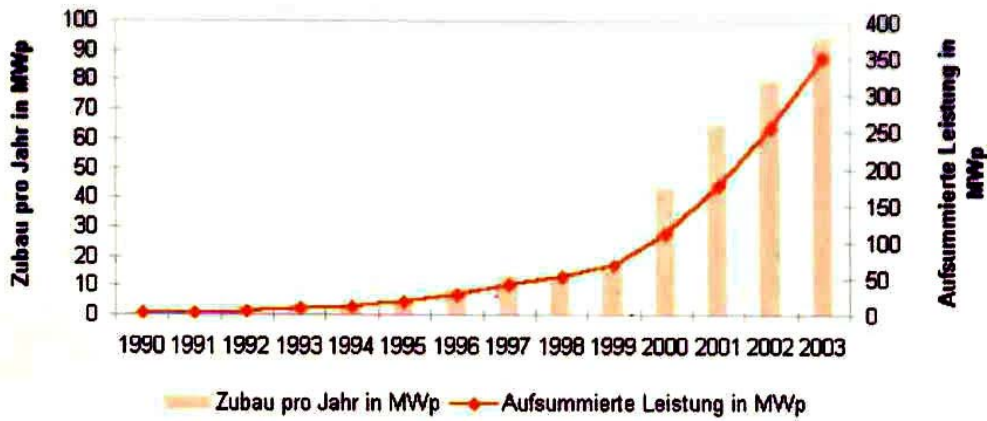
*Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Umweltpolitik. Erneuerbare Energien in Zahlen. Berlin 2000, Seite 28.*

[www.cornelsen-teachweb.de](http://www.cornelsen-teachweb.de)

Autor: Ralf Wimmers  
© Cornelsen Verlag GmbH & Co. OHG, Berlin 2004



### Jährlich installierte Photovoltaik-Leistung und gesamte Kapazität in Deutschland (netzgekoppelte Anlagen)



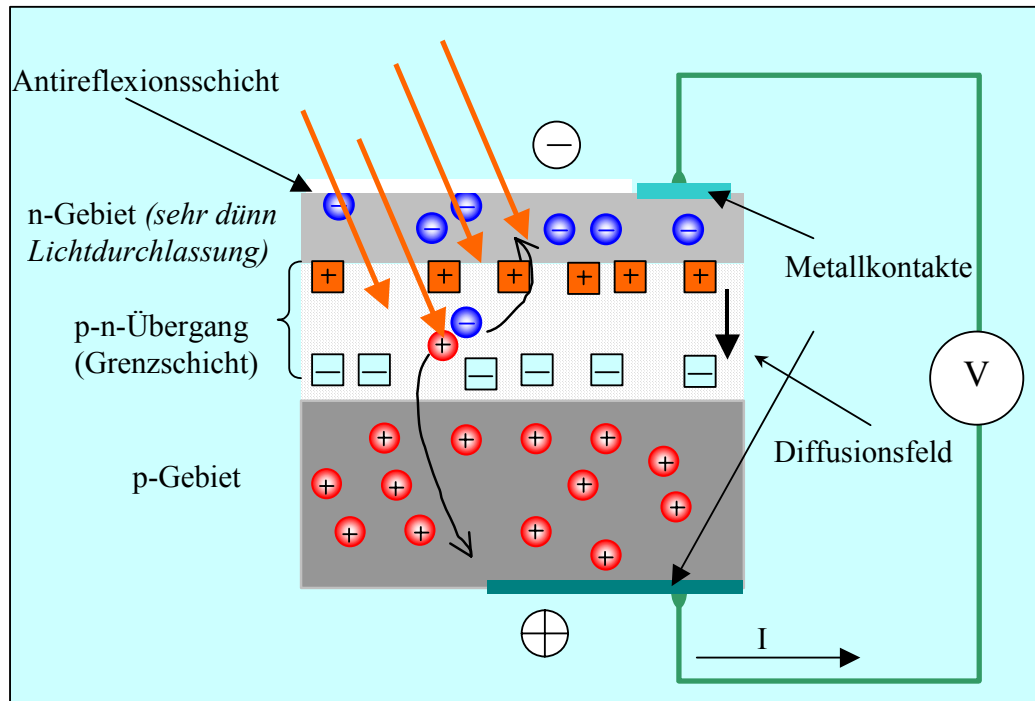
\* für Süd-Korea Wert aus 1999  
 \*\* für Indien und Israel Werte aus 2001, Süd-Korea keine Angaben  
 Anmerkung: Westeuropa: Zubau 1999: 885.000m²; Gesamt 2000: 9.281.000m²

## 2.Stunde: Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle

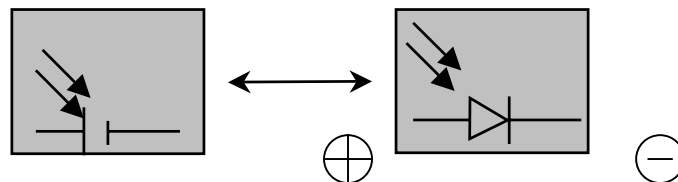
### Tafelbild:

#### Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle

- die Solarzelle ist eine spezielle Halbleiterdiode mit einer großen Oberfläche. Die n – Schicht ist sehr dünn und lichtdurchlässig.



- Bestrahlt man den p- n – Übergang einer Halbleiterdiode mit Licht, erhöht sich in der Grenzschicht die Anzahl der freibeweglichen Ladungsträger.
- Die Solarzelle ist eine in Sperrrichtung geschaltete Halbleiterdiode.
- Eine Solarzelle funktioniert wie eine Halbleiterdiode.



**Arbeitsblatt 01: Experimentelle Untersuchung der Funktionsweise einer Solarzelle**

Frage: *Ist eine Solarzelle ähnlich aufgebaut wie eine Halbleiterdiode?*

**1. Decke eine Solarzelle mit einem Blatt Papier ab!** Schalte die Solarzelle in Durchlassrichtung und miss die Stromstärke (Abb. 1)!

$I_{\text{Durchlassrichtung}} = \dots\dots\dots \text{A}$

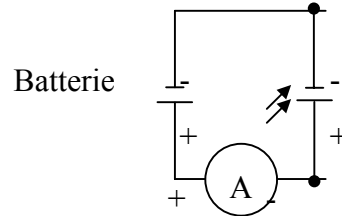


Abb. 1

**2. Decke eine Solarzelle mit einem Blatt Papier ab!** Schalte die Solarzelle in Sperrrichtung und miss die Stromstärke I (Abb.2)!

$I_{\text{Sperrichtung}} = \dots\dots\dots \text{A}$

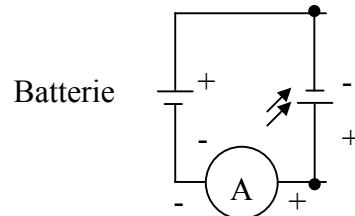


Abb.2

- Interpretiere deine experimentellen Ergebnisse von 1. und 2.!

.....  
 .....  
 .....  
 .....

- Vergleiche den Leitungsvorgang in einer Solarzelle mit dem einer Halbleiterdiode!

.....  
 .....  
 .....

**3. Bestrahle eine Solarzelle mit Licht und messe  $U_L$  und  $I_K$  (Abb.3)!**

$U_L$ (V)	
$I_K$ (A)	

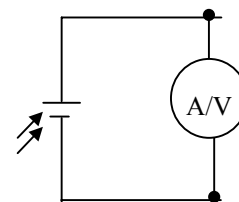


Abb.3

$I_K$  nennt man Kurzschlussstromstärke der Solarzelle,

$U_L$  nennt man Leerlaufspannung der Solarzelle.

a) Interpretiere deine experimentellen Ergebnisse!

.....  
 .....



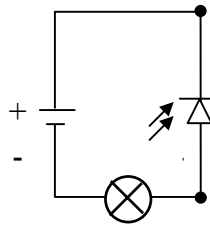
b) Wie würdest du den Photovoltaischen Effekt beschreiben?

.....

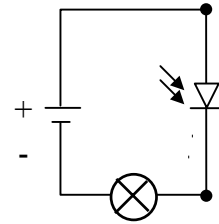
.....

**4. Bei welcher der folgenden Schaltungen leuchtet die Lampe auf? Erläutere deine Antwort!**

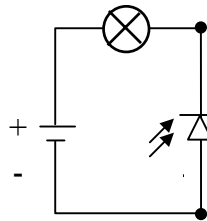
A.



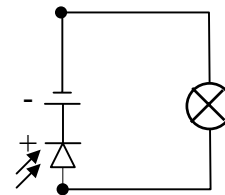
B.



C.



D.



## Musterlösung der Arbeitsblatt 01: Experimentelle Untersuchung der Funktionsweise einer Solarzelle

Frage: Ist eine Solarzelle ähnlich aufgebaut wie eine Halbleiterdiode?

**1. Schalte eine Solarzelle in Durchlassrichtung, bestrahle sie mit Licht und miss die Stromstärke (Abb. 1)!** Decke die Solarzelle mit einem Blatt Papier ab! Führe die Messungen erneut durch!

$$I_{\text{Durchlassrichtung}} = 1,82 \text{ A}$$

**2. Schalte die Solarzelle in Sperrrichtung, bestrahle sie mit Licht und miss die Stromstärke  $I$  (Abb.2)!** Decke die Solarzelle mit einem Blatt Papier ab! Führe die Messungen durch!

Interpretiere deine experimentellen Ergebnisse von 1. und 2.! Vergleiche den Leitungsvorgang mit dem einer Halbleiterdiode!

$$I_{\text{Sperrrichtung}} = 0 \text{ A}$$

- Interpretiere deine experimentellen Ergebnisse von 1. und 2.!

*Solarzelle ohne bestrahltes Licht funktioniert wie eine Halbleiterdiode.*

- Vergleiche den Leitungsvorgang in einer Solarzelle mit dem einer Halbleiterdiode!

**3. Bestrahle eine Solarzelle mit Licht und messe  $U_L$  und  $I_K$  (Abb.3)!**

$U_L$ (V)	0,52
$I_K$ (A)	0,2

$I_K$  nennt man Kurzschlussstromstärke der Solarzelle,

$U_L$  nennt man Leerlaufspannung der Solarzelle.

a) Interpretiere deine experimentellen Ergebnisse!

*Bestrahlte Solarzelle funktioniert wie eine Quellenspannung*

b) Wie würdest du den Photovoltaischen Effekt beschreiben?

*Der Photovoltaische Effekt bewirkt die Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie in einem Halbleiterbauelement (Solarzelle).*

**4. Bei welcher der folgenden Schaltungen leuchtet die Lampe auf? Erläutere deine Antwort!**

Richtig : B :Solarzelle wird in Durchlassrichtung geschaltet

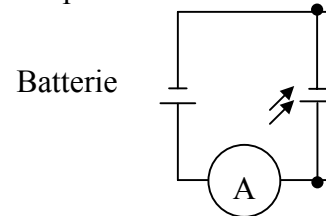


Abb.1

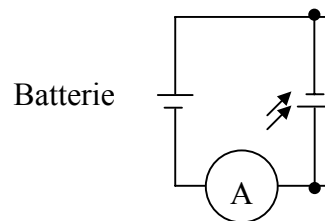


Abb.2

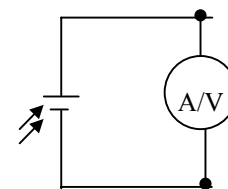
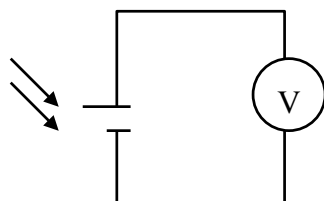


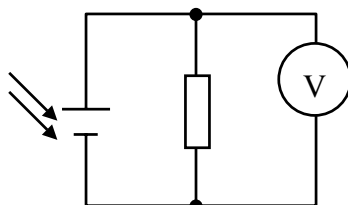
Abb.3

**Tafelbild der 3. Stunde:** Stromstärke und Spannungsmessung an einer Solarzelle

- *Leerlaufspannung:* An der Spannungsquelle (Solarzelle) ist kein äußerer Widerstand angeschlossen



- *Klemmenspannung:* An der Spannungsquelle ist ein äußerer Widerstand (Lastwiderstand) angeschlossen



- *Kurzschlussstrom:* wird kein äußerer Widerstand ( $R_L = 0$ ) an die Spannungsquelle angeschlossen, so fließt ein Kurzschlussstrom  $I_K$ .

*Spannungen:*

- Bei Reihenschaltung gilt:  $U_{\text{ges.}} = U_1 + U_2$

- Bei Parallelschaltung gilt:  $U_{\text{ges.}} = U_1 = U_2$

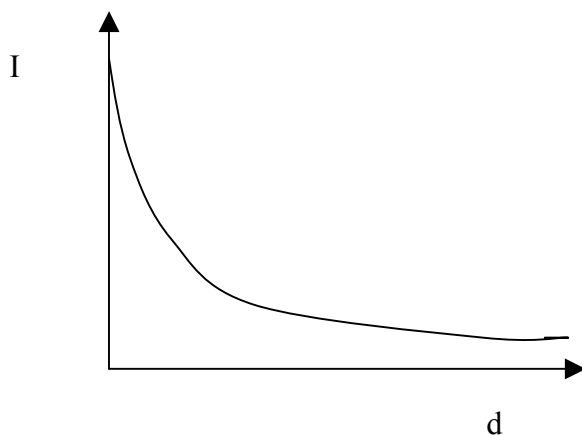
*Stromstärke:*

- Bei Reihenschaltung gilt für die Kurzschlussstromstärke:  $I_{\text{ges.}} = I_1 = I_2$

- Bei Parallelschaltung gilt:  $I_{\text{ges.}} = I_1 + I_2$

*Je größer die Beleuchtungsstärke ist, umso größer sind die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke an der Solarzelle*

*Diagramm I- d*



## Arbeitsblatt 02: Stromstärke und Spannungsmessung an einer Solarzelle

1. Erläutere mit eigenen Worten die Begriffe Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke einer Spannungsquelle!

.....

.....

.....

.....

2. Bestimme den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung einer Solarzelle

- Baue den Versuch nach Schaltplan (Abb.1) auf und beleuchte die Solarzelle 1 aus ca. 30 cm Entfernung senkrecht zur Halogenlampe. Bestimme die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom einer Solarzelle!

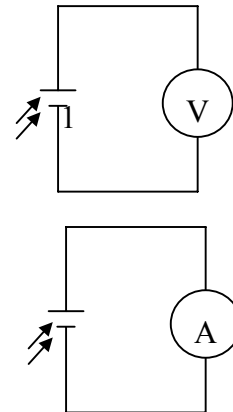
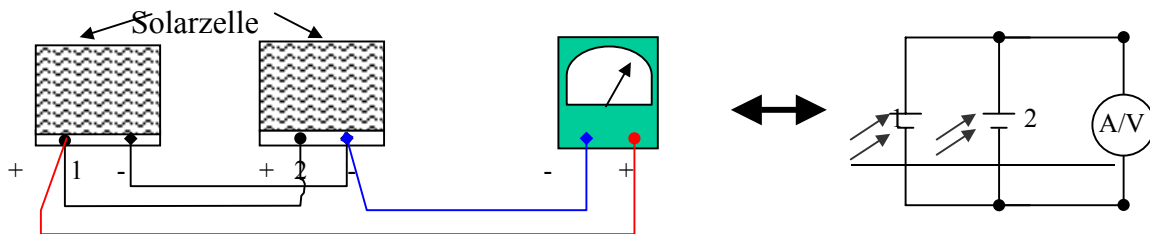


Abb.1

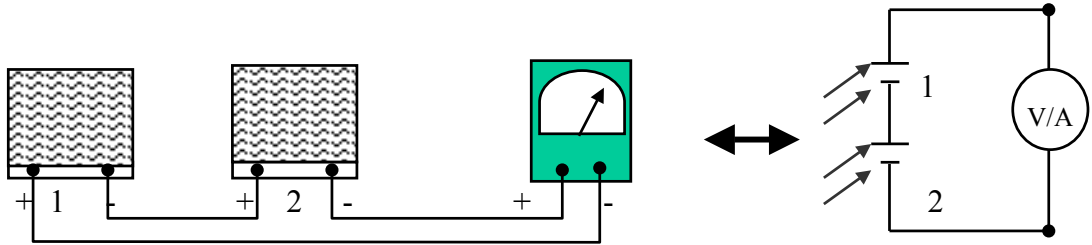
3. Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung bei Parallelschaltung von Solarzellen



- Miss den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung von Solarzelle 2 und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein!
- Schalte die beiden Solarzellen parallel zueinander und miss Kurzschlussstrom sowie Leerlaufspannung in der gleichen Entfernung von der Lampe wie bei den Einzelmessungen. Richte dabei die Solarzellenkombination so aus, dass der Strom maximal wird. Trage die Messwerte in die Tabelle ein!

**4. Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung bei Reihenschaltung von Solarzellen**

Schalte nun die Solarzellen in Reihe und wiederhole die Messungen in der gleichen Entfernung. Trage die Messwerte in diese Tabelle ein!



	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Parallelschaltung	Reihenschaltung
Kurzschlussstrom in A	$I_1 =$	$I_2 =$	$I_{ges.} =$	$I_{ges.} =$
Leerlaufspannung in V	$U_1 =$	$U_2 =$	$U_{ges.} =$	$U_{ges.} =$

Tab.1

Erläutere deine Versuchsergebnisse mit eigenen Worten! Wie wirken sich also Parallel- bzw. Reihenschaltung von Solarzellen auf Strom bzw. Spannung aus?

.....

.....

.....

.....

.....

**5. Formuliere eine Gesetzmäßigkeit für die Leerlaufspannung und die Stromstärke bei Parallel- und Reihenschaltung von Solarzellen!**

Parallelschaltung  $U_{ges.} =$   $I_{ges.} =$

Reihenschaltung  $U_{ges.} =$   $I_{ges.} =$

.....

.....

.....

**6. Welche Schaltung (Parallel-, Reihenschaltung oder Mixschaltung) findet bei Solaranlagen Anwendung?**

.....

.....

## Musterlösung der Arbeitsblatt 02: Stromstärke und Spannungsmessung an Solarzellen

### 1. Erläutere mit eigenen Worten die Begriffe Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke einer Spannungsquelle!

- *Leerlaufspannung:* An der Spannungsquelle (Solarzelle) ist kein äußerer Widerstand angeschlossen
- *Kurzschlussstrom:* wird kein äußerer Widerstand ( $R_L = 0$ ) an die Spannungsquelle angeschlossen, so fließt ein Kurzschlussstrom  $I_K$ .

### 2. Bestimme den Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung einer Solarzelle!

### 3. Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung bei Parallelschaltung von Solarzellen

- Miss den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung von Solarzelle 2 und trage die Messwerte in die untenstehende Tabelle (Tab.1) ein.
- Schalte die beiden Solarzellen parallel zueinander und miss Kurzschlussstrom sowie Leerlaufspannung in der gleichen Entfernung von der Lampe wie bei den Einzelmessungen. Richte dabei die Solarzellenkombination so aus, dass der Strom maximal wird. Trage die Messwerte in die Tabelle ein!

### 4. Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung bei Reihenschaltung von Solarzellen

Schalte nun die Solarzellen in Reihe und wiederhole die Messungen in der gleichen Entfernung. Trage die Messwerte in diese Tabelle ein.

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Parallelschaltung	Reihenschaltung
Kurzschlussstrom in A	$I_1=0,11$	$I_2=11$	$I_{ges.}=22$	$I_{ges.}=11$
Leerlaufspannung in V	$U_1=0,42$	$U_2=0,41$	$U_{ges.}=0,42$	$U_{ges.}=0,83$

Tab. 1

*Erläutere deine Versuchsergebnisse mit eigenen Worten! Wie wirken sich also Parallel- bzw. Reihenschaltung von Solarzellen auf Strom bzw. Spannung aus?*

### 5. Formuliere eine Gesetzmäßigkeit für die Leerlaufspannungen und Stromstärken bei Parallel- und Reihenschaltung von Solarzellen!

*Spannungen:*

- Bei Reihenschaltung gilt:  $U_{ges.} = U_1 + U_2$
- Bei Parallelschaltung gilt:  $U_{ges.} = U_1 = U_2$

*Stromstärke:*

- Bei Reihenschaltung gilt für die Kurzschlussstromstärke:  $I_{ges.} = I_1 = I_2$

. Bei Parallelschaltung gilt:  $I_{\text{ges.}} = I_1 + I_2$

**6. Welche Schaltung (Parallel-, Reihenschaltung oder Mixschaltung) findet bei Solaranlagen Anwendung?**

**Mixschaltung**

## Die 4.Stunde: Einfluss der Beleuchtungsstärke auf Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke einer Solarzelle

### Tafelbild

*Je größer die Beleuchtungsstärke ist, umso größer sind die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke an der Solarzelle*

Diagramm  $I_K$ -  $d$

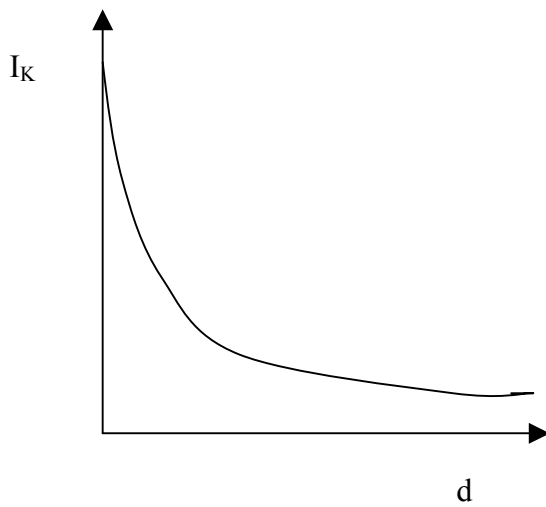
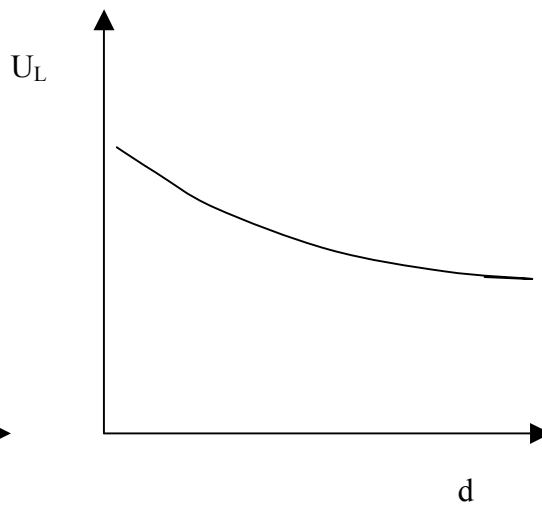


Diagramm  $U_L$ -  $d$

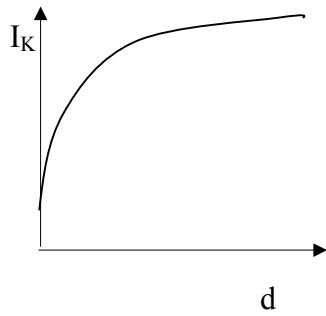




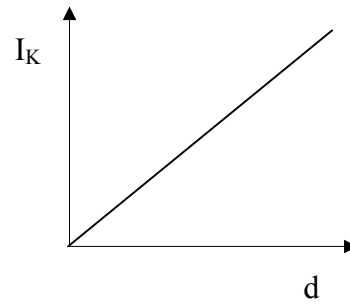


3 Es wird der Abstand zwischen der Solarzelle und einer Lampe vergrößert. Welches folgende  $I_K$ - $d$ -Diagramm ist richtig?

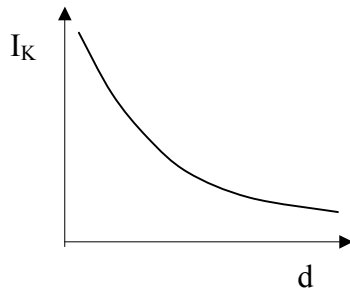
A.



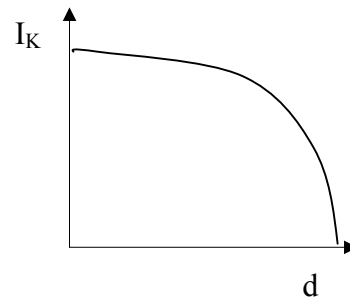
B.



C.



D.



### Musterlösung der Arbeitsblatt 03: Einfluss der Beleuchtungsstärke auf die Solarzelle

**1. Hypothesenbildung:** Formuliere eine Hypothese (Vermutung) für einen möglichen Zusammenhang von Beleuchtungsstärke und der an einer Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke! Erläutere deine Vermutung auf der Grundlage des Aufbaus und der Wirkungsweise einer Solarzelle!

**Hypothese:** Je größer die Beleuchtungsstärke ist, um so größer sind die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke an der Solarzelle.

#### 2. Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese

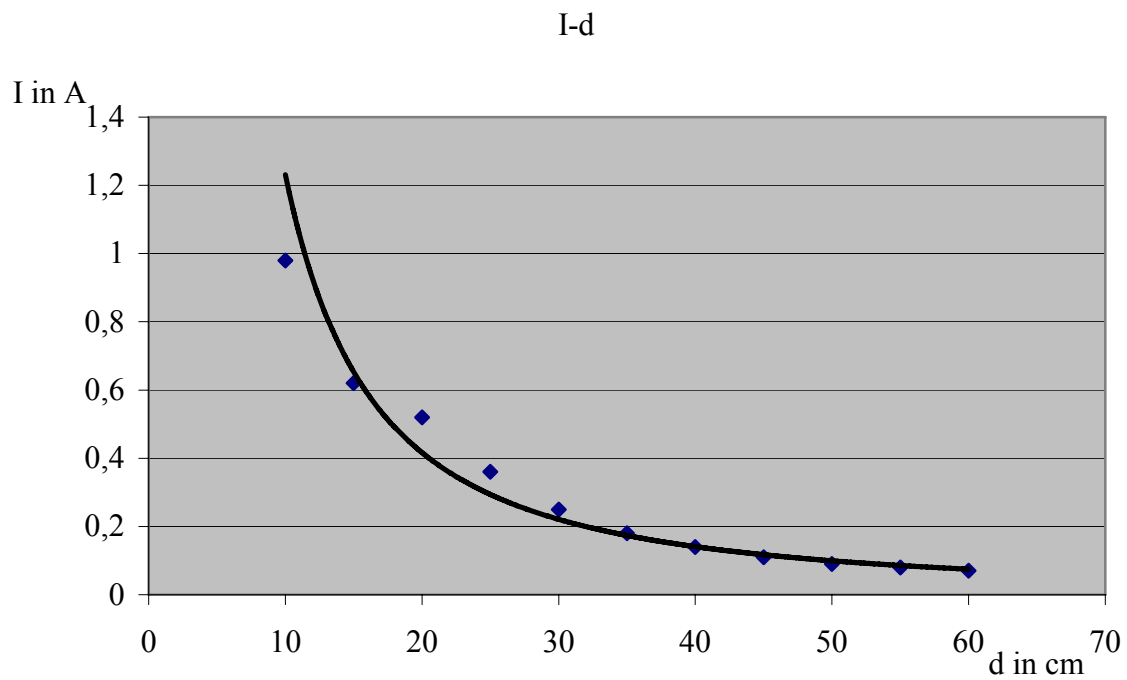
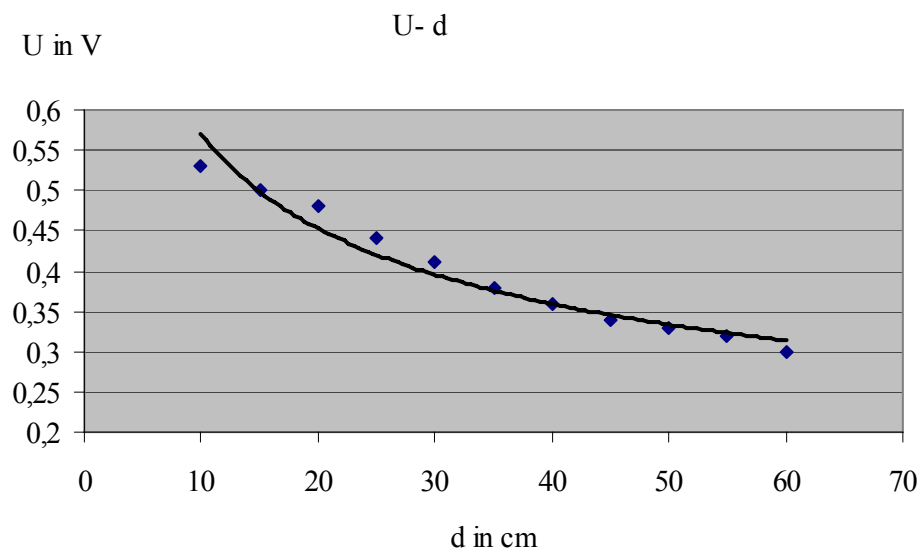
a) Entwirf eine Skizze für die Experimentieranordnung zur Prüfung deiner Hypothese! Welche experimentelle Folgerung leitest du aus deiner Hypothese ab? Welche Messgeräte benötigst du? Wie kannst du die Beleuchtungsstärke verändern? Schlage experimentelle Varianten vor!

- Änderung des Abstand zwischen Solarzelle und Lampe
- Erhöhen der Anzahl der Lampen

b) Aufnahme von Messreihen

d in cm	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$U_L$ in V	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,46	0,45	0,43	0,41
$I_K$ in A	0,95	0,58	0,39	0,27	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04

c) Grafische Auswertung



**3 Es wird der Abstand zwischen der Solarzelle und einer Lampe vergrößert. Welches folgende  $I_K$ -d-Diagramm ist richtig?**

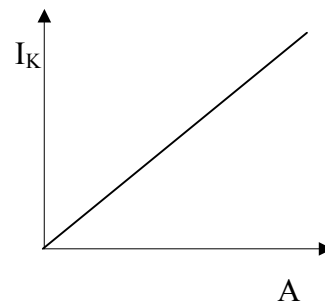
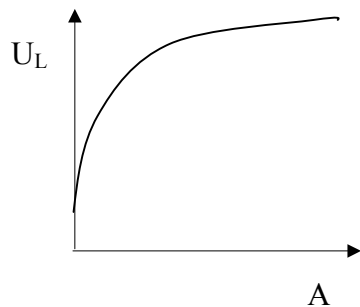
Antwort:C

C

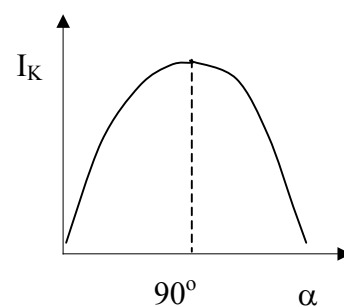
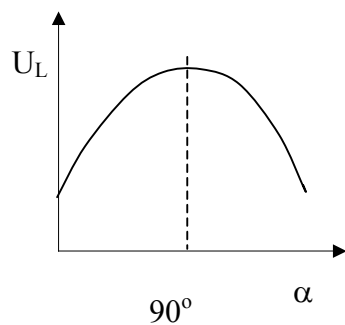
**Die 5. Stunde: Einfluss der bestrahlten Solarfläche und des Einfallswinkels auf die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke****Tafelbild:**

Einfluss der bestrahlten Solarfläche, des Einfallswinkels und der Außentemperatur auf die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke der Solarzelle

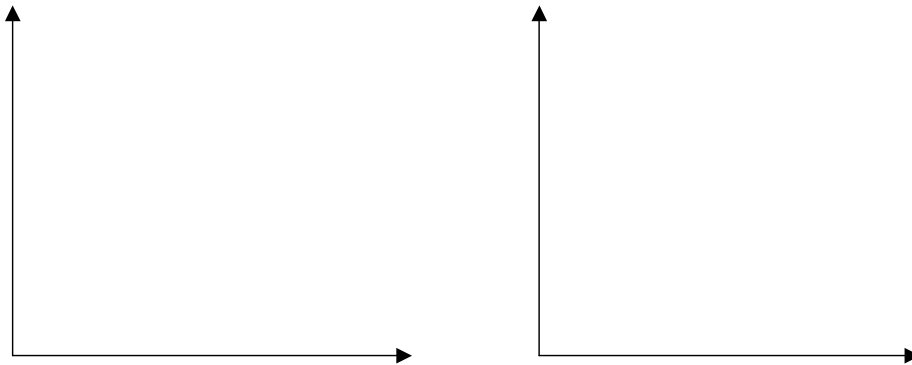
Je größer die bestrahlte Solarzellenfläche ist, um so größer ist die Leerlaufspannung und die Leerlaufspannung.



- Fällt Licht senkrecht auf die Solarzelle, so wird an der Solarzelle die größtmögliche Leerlaufspannung als auch der größtmögliche Kurzschlussstrom gemessen.







c) Grafische Auswertung

#### 4. Deuten der experimentellen Ergebnisse:

a) Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung!

.....

.....

.....

.....

b) Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

.....

.....

.....

#### 5. Nur eine der Messreihen kann richtig sein. Welche ist das?

( $A$ : Solarzellenfläche,  $U_L$ : Leerlaufspannung,  $I_K$ : Kurzschlussstromstärke)

A.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U_L$ in V	0,2	0,25	0,3	0,36	0,44
$I_K$ in A	0	0,03	0,04	0,05	0,08

B.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U_L$ in V	0	0,3	0,36	0,40	0,45
$I_K$ in A	0	0,04	0,06	0,08	0,12

C.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U_L$ in V	0	0,3	0,36	0,40	0,45
$I_K$ in A	0	0,14	0,09	0,07	0,03

D.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U_L$ in V	0	0,4	0,6	0,8	1,0
$I_K$ in A	0,03	0,05	0,07	0,12	0,14



### **Musterlösung der Arbeitsblatt 04: Einfluss der Solarzellenfläche und der Lichtwellenlänge der Lichtstrahlung auf die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom der Solarzelle**

1. **Problemstellung:** *Finde heraus, welchen Einfluss die Solarzellenfläche auf die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom der Solarzelle hat!*

2. **Hypothesenbildung:** Formuliere eine Vermutung (Hypothese) für einen möglichen Zusammenhang zwischen der Solarzellenfläche und der an einer Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke!

**Je größer die bestrahlte Solarzellenfläche ist, um so größer ist die Leerlaufspannung**

### **3. Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese**

a) Entwirf eine Skizze für die Experimentieranordnung zur Prüfung deiner Hypothese. Welche experimentelle Folgerung leitest du aus deiner Hypothese ab? Welche Messgeräte benötigst du? Wie änderst du die bestrahlte Solarzellenfläche?

Messgeräte: Solarzelle, Karton, Multimeter, Netzgeräte

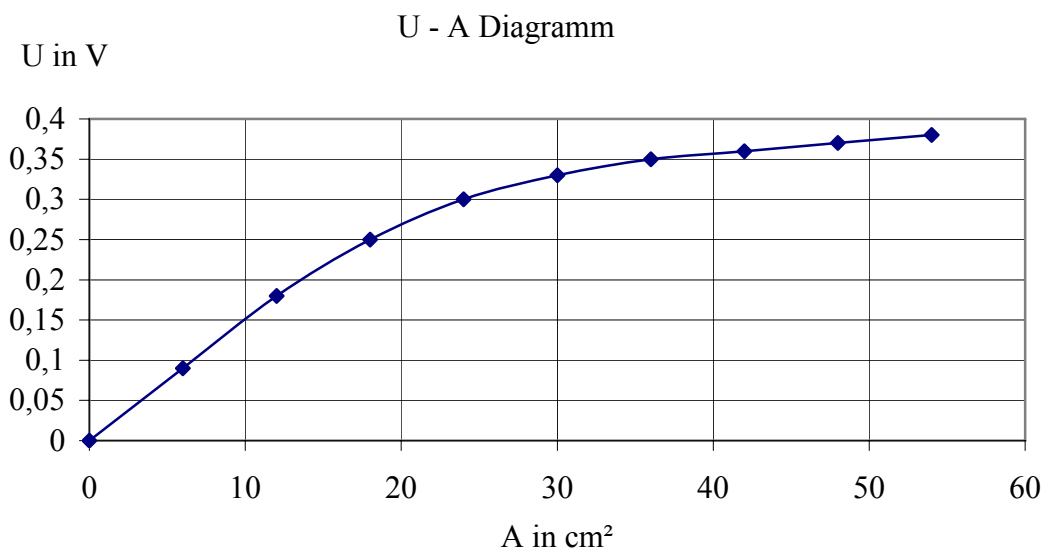
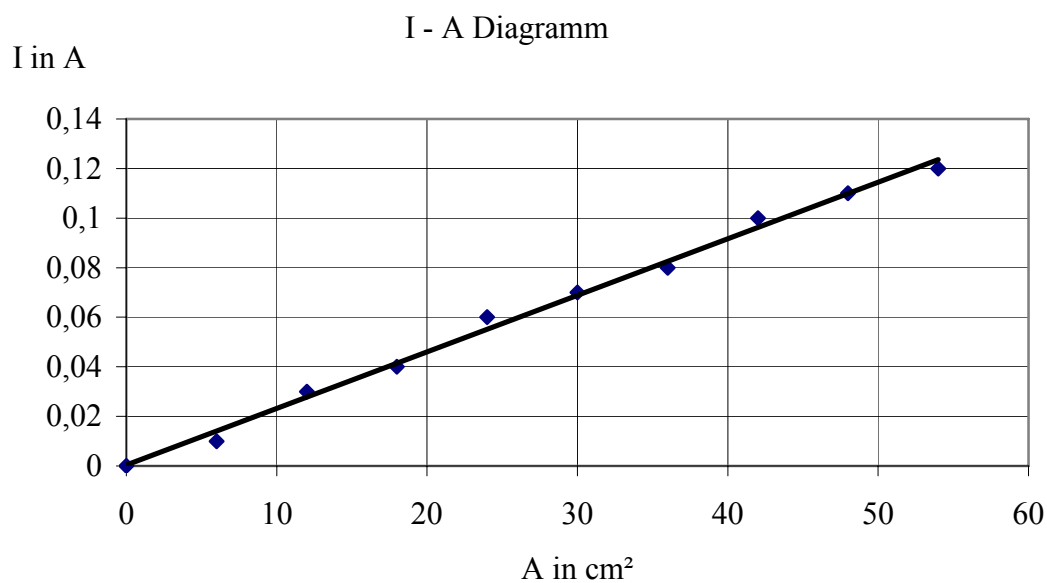
b) Aufnahme von Messreihen

0	A/4	A/2	3A/4	A
0	0,32	0,41	0,44	0,48
0	0,03	0,05	0,07	0,1

Oder:

Oberfläche in $\text{cm}^2$	6	12	18	24	30	36	42	48	54
$U_K$ in V	0,09	0,18	0,25	0,30	0,32	0,35	0,36	0,37	0,38
$I_L$ in A	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12

c) Grafische Auswertung:



#### 4. Deuten der experimentellen Ergebnisse:

Hinweise : Abstand zwischen Solarzelle und Halogenlampe beträgt ca. 30cm.

#### 5. Nur eine der Messreihen kann richtig sein. Welche ist das?

Antwort: B

## Arbeitsblatt 05: Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom bei unterschiedlichen Einfallswinkeln

1. **Problemstellung:** *Finde heraus, welchen Einfluss der Einfallswinkel der Lichtstrahlung auf den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung der Solarzelle hat!*

2. **Hypothesenbildung:** Formuliere eine Hypothese (Vermutung) für einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel des Lichts und der an einer Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke bei konstanter Beleuchtungsstärke!

.....

.....

.....

.....

.....

### 3. Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese

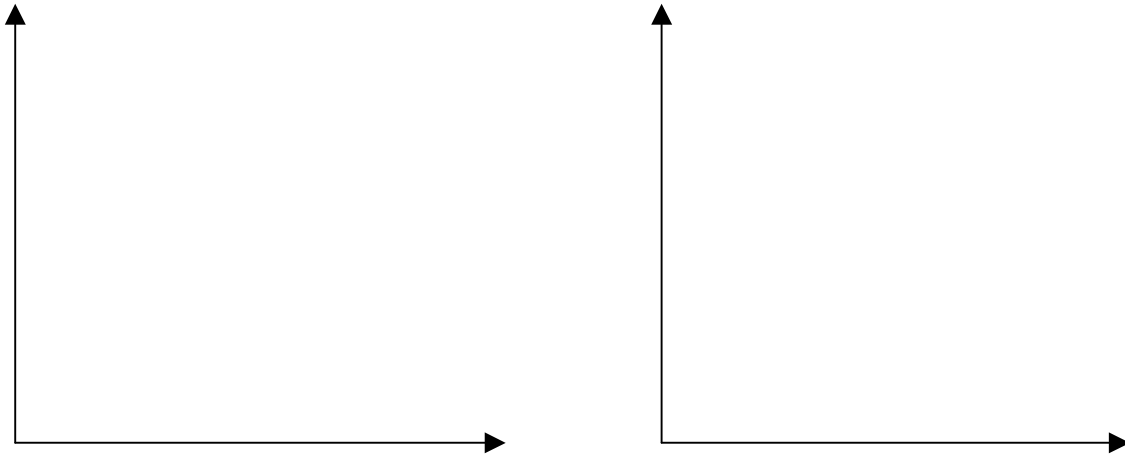
Welche Messgeräte benötigst du?

Messgeräte:

b) Aufnahme von Messreihen


**Hinweis:** Fällt das Sonnenlicht (bzw. das Licht der Experimentierlampe) senkrecht auf die Solarzelle, so wird an der Solarzelle die größtmögliche Leerlaufspannung bzw. Kurzschlussstromstärke gemessen.

c) Grafische Auswertung:



**4. Deuten der experimentellen Ergebnisse:**

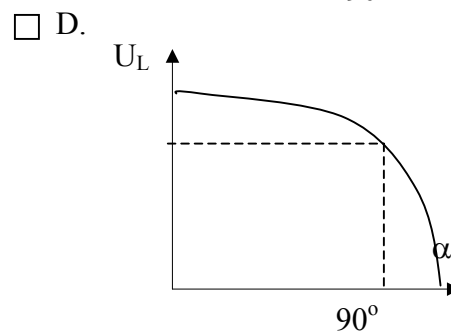
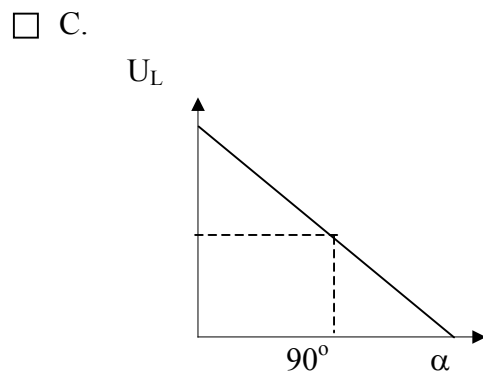
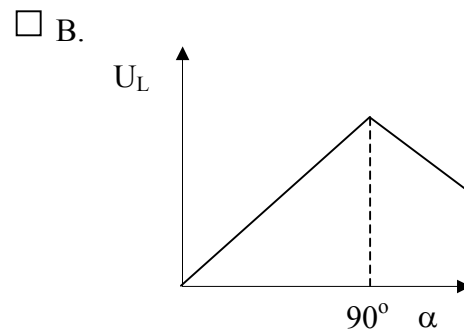
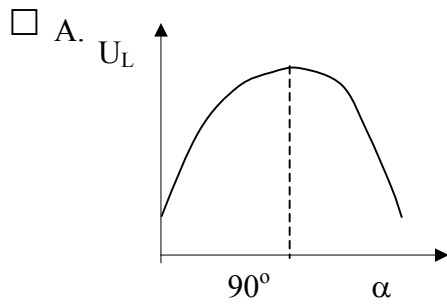
a) Vergleiche deine experimentellen Ergebnisse mit deiner Hypothesenbildung!

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

b) Formuliere deine experimentellen Ergebnisse mit eigenen Worten!

.....  
.....  
.....  
.....

5.  $U$  ist die Leerlaufspannung der Solarzelle. Welches folgende  $U - \alpha$  - Diagramm ist richtig?



6. Welcher Zusammenhang gilt unter idealen Bedingungen zwischen dem Einfallswinkel  $\alpha$  der solaren Strahlung und der Kurzschlussstromstärke  $I_K$ :

- A.  $I_K \sim \alpha$ 
 B.  $I_K \sim \alpha^2$
- C.  $I_K \sim \sin \alpha$ 
 D.  $I_K \sim 1 - \cos \alpha$

### Musterlösung der Arbeitsblatt 05: Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom bei unterschiedlichem Einfallswinkel

**1. Problemstellung:** Finde heraus, welchen Einfluss der Einfallswinkel der Lichtstrahlung auf den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung der Solarzelle hat!

**2. Hypothesenbildung:** Formuliere eine Vermutung (Hypothese) für einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel des Lichts und der an einer Solarzelle gemessenen Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke bei konstanter Beleuchtungsstärke!

*Hypothese:  $U, I \sim \alpha$*

- Vorschlag für eine Experimentieranordnung

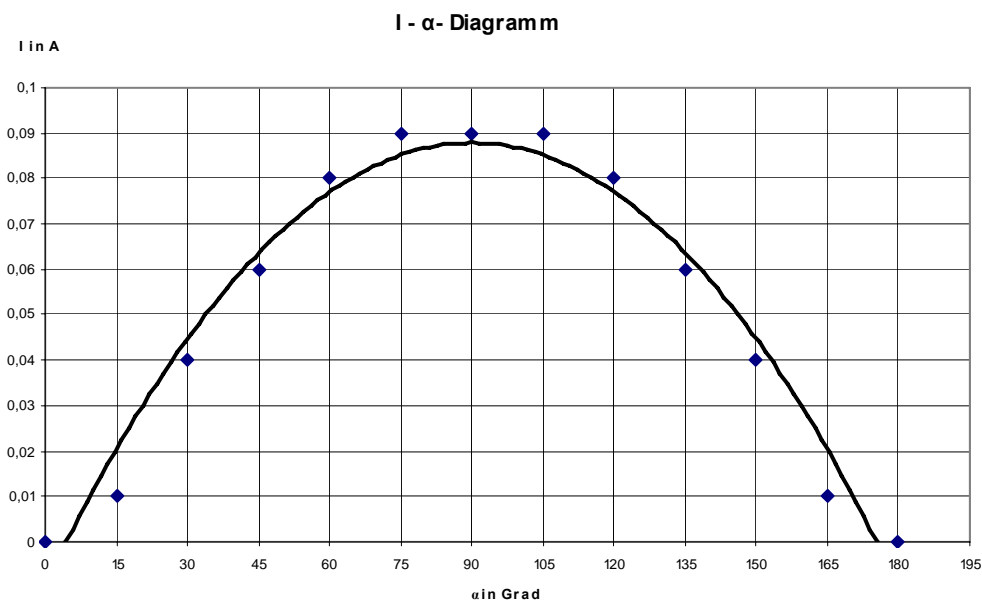
### 3. Durchführung von Experimenten zur Prüfung der Hypothese.

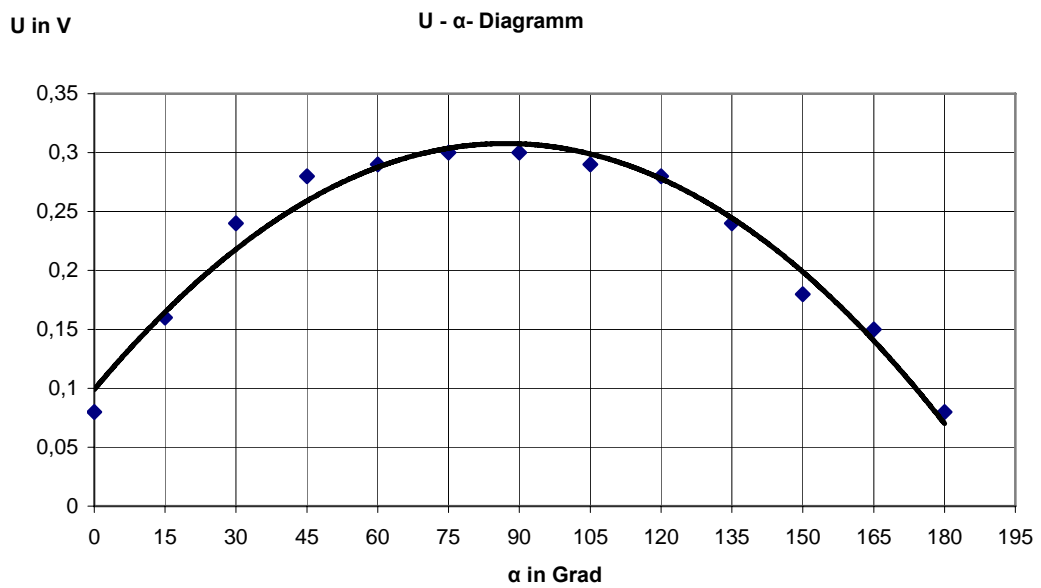
b) Aufnahme von Messreihen

$\alpha$ in $^\circ$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
U in V	0,08	0,16	0,24	0,26	0,29	0,3	0,3	0,29	0,29	0,26	0,24	0,16	0,08
I in A	0	0,01	0,04	0,07	0,09	0,1	0,1	0,1	0,08	0,07	0,04	0,01	0

Hinweis: Fällt das Sonnenlicht (bzw. das Licht der Experimentierlampe) senkrecht auf die Solarzelle, so wird an der Solarzelle die größtmögliche Leerlaufspannung bzw. Kurzschlussstromstärke gemessen.

c) Grafische Auswertung:





#### 4. Deuten der experimentellen Ergebnisse:

*Fällt das Licht der Experimentierlampe senkrecht auf die Solarzelle, so wird an der Solarzelle die größtmögliche Leerlaufspannung als auch der Kurzschlussstromstärke gemessen.*

#### 5. U ist die Leerlaufspannung der Solarzelle. Welches folgende U- $\alpha$ -Diagramm ist richtig?

*Antwort : A.*

#### 6. Welcher Zusammenhang gilt unter idealen Bedingungen zwischen den Einfallswinkel $\alpha$ der solaren Strahlung und der Kurzschlussstromstärke $I_K$ :

*Antwort: C*

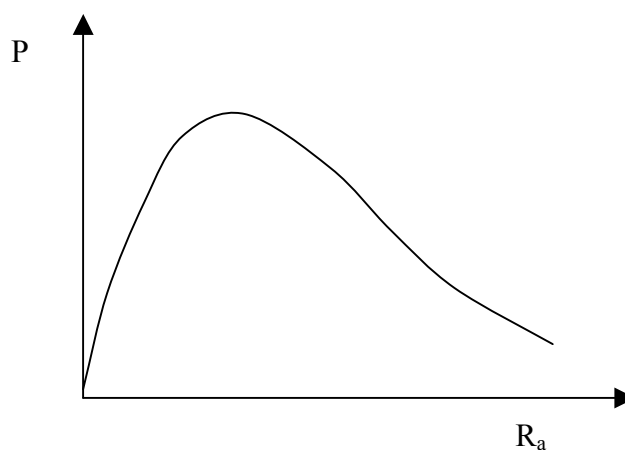
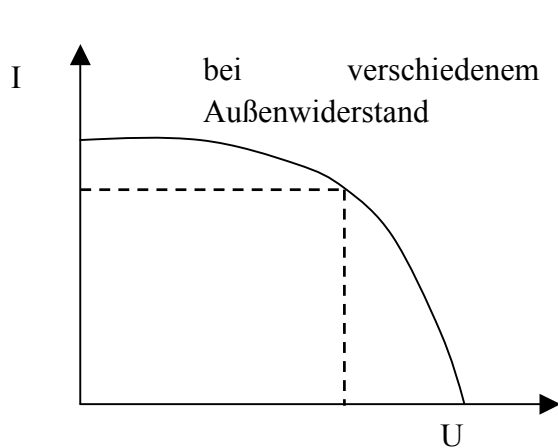
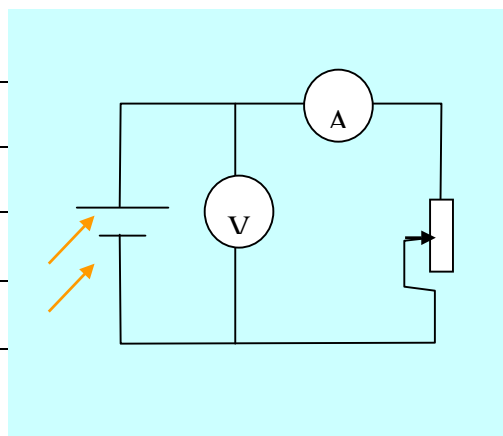
## Die 6. und 7. Stunde: Die belastete Solarzelle

### Tafelbild:

Die belastete Solarzelle – ökonomische und ökologische Betrachtungen zum Einsatz von Solarzellen

- Mit wachsendem Außenwiderstand ändert sich die Klemmenspannung

U in V					
I in A					
$R_a$ in $\Omega$					
P in W					

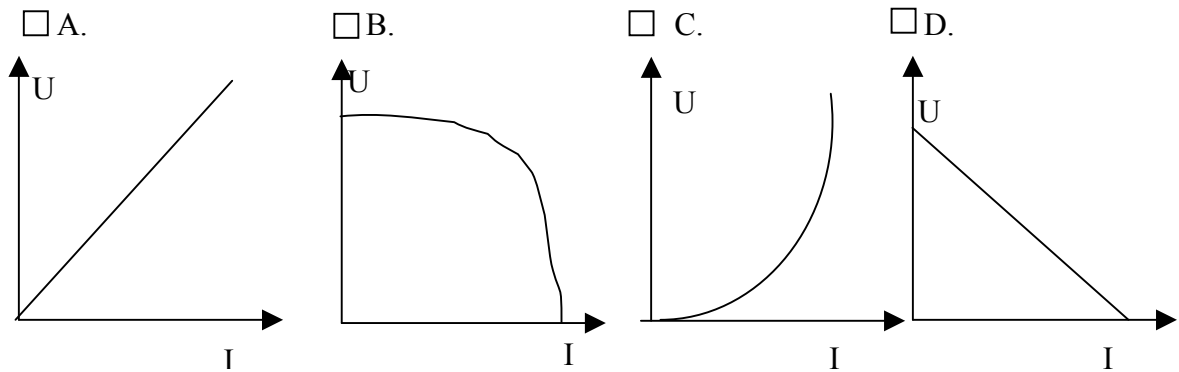


- Die Solaranlage muss der Belastung (Außenwiderstand) angepasst werden.

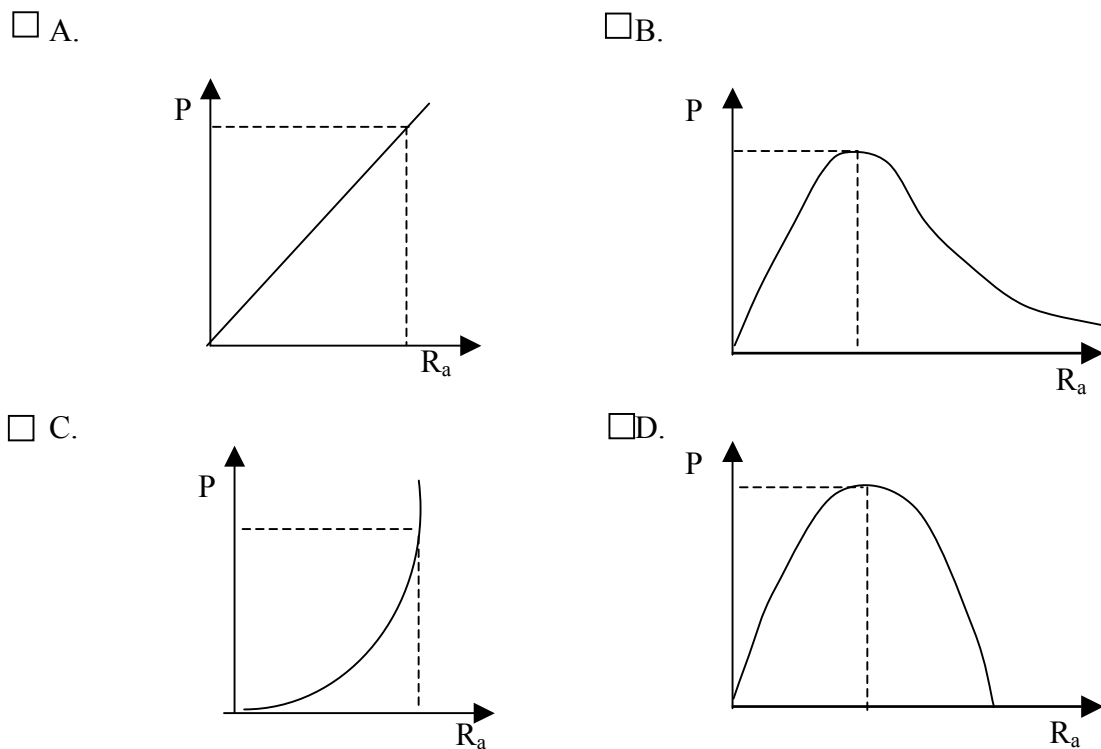


### Arbeitsblatt 06: Übung

1. Welches Diagramm beschreibt den Zusammenhang zwischen der an einer belasteten Solarzelle gemessenen Spannung  $U$  und der Stromstärke  $I$  einer Solarzelle bei konstanter Beleuchtungsstärke ?



2. Welches Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen der Leistung und dem Außenwiderstand einer Solarzelle?



### 3. Welche der folgenden Gleichungen ist richtig?

- A.  $P = U_L \cdot I_K$ 
 B.  $P = U_K \cdot I_K$   
 C.  $P = U_K \cdot I$ 
 D.  $P = U_L^2 / R_a$

Anbei:  $U_L$ : Leerlaufspannung,

$I_K$ : Kurzschlussstromstärke,

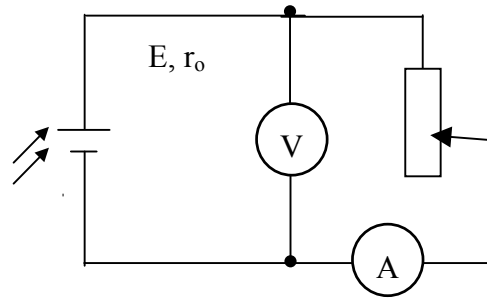
$r_o$ : Innenwiderstand,

$R_a$ : Außenwiderstand,

$U_K$ : Klemmenspannung ,

$I$  : Stromstärke

$P$  : Leistung einer Solarzelle



### 4. Welcher Zusammenhang zwischen der Außentemperatur und der Leistung einer Solarzelle ist richtig?

- A. Je größer die Außentemperatur, desto kleiner die Leistung einer Solarzelle.  
 B. Je größer die Außentemperatur, desto größer die Leistung einer Solarzelle.  
 C. Die Leistung einer Solarzelle ist nicht von der Außentemperatur abhängig.  
 D. Es besteht ein quadratischer Zusammenhang zwischen der Außentemperatur und der Leistung einer Solarzelle.

## Aufgaben

**Führe mit Hilfe des Handouts folgende Berechnungen durch und interpretiere deine Ergebnisse unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten!**

1. Wie viel Elektroenergie benötigt durchschnittlich ein Einfamilienhaus mit 4 Personen? (*siehe Handout!*)

$$8kWh * 4 = 32kWh \text{ pro Tag}$$

2. Wie viel Elektronenergie ist notwendig, um eine 5 kW-Solaranlage herzustellen und zu montieren? (*siehe Handout!*)

*Es wird angenommen, dass die Anlage 5 Jahre lang täglich 10 Stunden eine Leistung von 5 kW liefert.*

$$W = 5kW \times 5 \times 365 \times 10h = 91250 kWh$$

3. Wie viel CO<sub>2</sub> wird eingespart, wenn die in Aufgabe 2 beschriebene Anlage ein Jahr lang täglich 8 Stunden arbeitet? (*siehe Handout!*)

*1 kWh Elektronenergie erzeugt 0,62 kg CO<sub>2</sub>*

$$5kW \times 8h \times 365 \rightarrow 5 \times 8 \times 365 \times 0,62 = 9052 \text{ kg CO}_2 \text{ pro Jahr}$$

4. Wie viel CO<sub>2</sub> wird von einem Kohlekraftwerk ausgestoßen um die in Aufgabe 2 benötigte Elektronenergie bereitzustellen? (*siehe Handout!*)

*1kW Elektronenergie erzeugt 0,62 kg CO<sub>2</sub>*

$$91250 kWh \text{ erzeugt } 0,62 \times 91250 = 56575 \text{ kg CO}_2$$

## 10.2 Anhang B: Erhebungsinstrumente

### 10.2.1 Anhang B1: Befragung zur Solarzelle

Universität Koblenz-Landau, Campus Landau, Abteilung Physik

#### Befragung zur Solarzelle

Klasse:.....	Alter:.....	Mädchen: <input type="checkbox"/>	Junge: <input type="checkbox"/>
--------------	-------------	-----------------------------------	---------------------------------

Sicher hast du aus der Zeitung oder im Fernsehen bzw. in Gesprächen mit deinen Eltern, Geschwistern, Lehrern oder Mitschülern schon einmal den Begriff „**Solarzelle**“ gehört. Wir wollen von dir wissen, was du über diesen Begriff schon weißt.

1. In welchem Zusammenhang hast du den Begriff „Solarzelle“ schon einmal gehört?

.....  
 .....  
 .....

2. Wozu dient eine Solarzelle?

.....  
 .....  
 .....  
 .....

3. Hast du im Alltag schon Solarzellen gesehen? Wenn ja, wo?

.....  
 .....  
 .....

4. Kannst du mit einfachen Worten beschreiben, welche Vorgänge in einer Solarzelle stattfinden?

.....  
 .....  
 .....  
 .....

.(siehe nächste Seite→)

5. Hast du bereits etwas gehört über die

Vorteile einer Solarzelle?

(Solaranlage):

.....  
.....  
.....

Nachteile einer Solarzelle?

(Solaranlage):

.....  
.....  
.....

6. Welche Einsatzbereiche von Solarzellen kannst du dir vorstellen? Wozu kann man Solarzellen einsetzen?

.....  
.....  
.....

7. Welche Vorteile haben Solarzellenkraftwerke (Photovoltaikanlagen) gegenüber Kohlekraftwerken oder Kernkraftwerken?

.....  
.....  
.....  
.....

8. Kannst du erklären, weshalb es bisher so wenige Solarzellenkraftwerke (Photovoltaikanlagen) gibt?

.....  
.....  
.....

9. Welche Umweltfaktoren (Temperatur, Sonnenstand, Wind, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit usw.) haben einen oder keinen Einfluss auf die Leistung einer Solarzelle? Begründe deine Antwort mit eigenen Worten!

.....  
.....  
.....

***Vielen Dank für deine Mitarbeit!***

### 10.2.2 Anhang B2: Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung (sw\_sc)

trifft gar nicht zu	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu	trifft voll und ganz zu
- -	-	(-)	(+)	+	+ +

1.	Wenn ich mich in der Schule anstrenge, erziele ich auch gute Leistungen.	- -	-	(-)	(+)	+	++
2.	Ich kann mir meistens selbst helfen, wenn ein Problem für mich auftaucht.	- -	-	(-)	(+)	+	++
3.	Mir fällt meistens etwas ein, wenn ich in der Klemme bin.	- -	-	(-)	(+)	+	++
4.	Wenn ich mich angestrengt habe, kann ich zufriedenstellende Leistungen erbringen.	- -	-	(-)	(+)	+	++
5.	Auch wenn wir eine unangekündigte Arbeit schreiben, gelingt es mir immer, gut abzuschneiden.	- -	-	(-)	(+)	+	++
6.	Wenn ich mich in der Schule anstrenge, läuft bei mir alles wie am Schnürchen.	- -	-	(-)	(+)	+	++
7.	Anstrengung lohnt sich bei mir immer, auch wenn der Erfolg nicht sofort eintritt.	- -	-	(-)	(+)	+	++
8.	Ich habe in der Schule die Erfahrung gemacht, dass hoher Einsatz auch hohe Gewinne bringt.	- -	-	(-)	(+)	+	++
9.	Ich habe die Erfahrung gemacht, dass eine gründliche Vorbereitung auf eine Klassenarbeit das beste Mittel ist, um die gewünschte Zensur zu erhalten.	- -	-	(-)	(+)	+	++
10.	Wenn ich genügend übe, gelingt es mir immer, eine gute Arbeit zu schreiben.	- -	-	(-)	(+)	+	++
11.	Es fällt mir nicht schwer, bei unerwartet schwierigen schulischen Problemen eine Lösung zu finden.	- -	-	(-)	(+)	+	++
12.	Egal was auch kommen mag, ich werde es schon in den Griff bekommen.	- -	-	(-)	(+)	+	++
13.	Ich weiß genau, was ich machen muss, um gute Noten zu bekommen.	- -	-	(-)	(+)	+	++

### 10.2.3 Anhang B3: Physikspezifische Selbstwirksamkeitserwartung (sw\_ph)

trifft gar nicht zu	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu	trifft voll und ganz zu
<b>- -</b>	<b>-</b>	<b>(-)</b>	<b>(+)</b>	<b>+</b>	<b>++</b>

1.	Ich kann mich an alle Gleichungen im Physikunterricht erinnern.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
2.	Mir fällt es leicht, Hausaufgaben in Physik selbst zu machen.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
3.	Ich kann gut physikalische Experimente planen.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
4.	Mir fällt es nicht schwer, Experimente aufzubauen und durchzuführen.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
5.	Ich kann im Physikunterricht richtige Vermutungen (Hypothesen) aufstellen.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
6.	Ich kann Diagramme und Tabellen meistens gut interpretieren.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
7.	Ich bin in der Lage Vermutungen experimentell zu überprüfen.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
8.	Ich bin in der Lage Experimentieranordnungen zu entwerfen.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
9.	Ich kann physikalische Begriffe verständlich erläutern.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
10.	Ich fühle mich in der Lage Daten eines physikalischen Experimentes auszuwerten und sie grafisch bzw. mathematisch zu interpretieren.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
11.	Ich kann einfache Freihandversuche selbst aufbauen.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
12.	Ich kann die physikalischen Alltagsphänomene verstehen und erklären.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
13.	Ich diskutiere in der Gruppe sehr aktiv über physikalische Probleme.	-	-	-	(-)	(+)	+	++
14.	Ich glaube, ich bin für Physik begabt.	-	-	-	(-)	(+)	+	++

## 10.2.4 Anhang B4: Interesse am Fach Physik (iphy)

trifft gar nicht zu	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu	trifft voll und ganz zu
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> +

1.	Ich finde es wichtig, mich mit physikalischen Fragestellungen auseinander zu setzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
2.	Physik finde ich langweilig!	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
3.	Physik gehört für mich persönlich zu den wichtigen Dingen im Leben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
4.	Physik liegt mir nicht besonders.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
5.	Experimente in der Physik durchzuführen macht mir einfach Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
6.	Obwohl ich mir bestimmt Mühe gebe, fällt mir Physik schwer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
7.	Im Physikunterricht lerne ich Dinge, die ich später gebrauchen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
8.	In meiner Freizeit beschäftige ich mich auch über die Hausaufgaben hinaus mit Themen, die mit Physik zu tun haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
9.	Mich interessiert persönlich die zukünftige Energiebereitstellung der Menschheit sehr.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
10.	Ich kann mir nicht vorstellen Physik im Leben gebrauchen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
11.	Ich halte persönlich die Diskussion über regenerative Energie für überflüssig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++
12.	Im Physikunterricht gibt es etwas Neues für mich zu entdecken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (-)	<input type="checkbox"/> (+)	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> ++



### 10.2.5 Anhang B5: Aussagen der Frankfurter Allgemeinen Zeitung (FAZ) zur heimischen Solarstrom-Nutzung

In der Frankfurter Allgemeinen Zeitung (FAZ) waren in den letzten Jahren folgende Aussagen zur Photovoltaik zu lesen. Wie bewertest du die folgenden Behauptungen?

Behauptung	Bewerte und Begründe deinen eigenen Standpunkt!				
1. Der zusammenhängende Flächenbedarf für Photovoltaikanlagen ist zu groß!	Stimme voll zu	Stimme zu	Weiß ich nicht/keine Meinung	Stimme nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu
	++	+	?	-	--
2. Der Energieaufwand für die Herstellung ist höher als die später gelieferte Energie!	++	+	?	-	--
3. Solarstrom ist für die Elektrizitätswirtschaft wertlos, weil er nur anfällt, wenn die Sonne scheint. Photovoltaik kann kein konventionelles Kraftwerk ersetzen.	++	+	?	-	--
4. Kernenergie löst das CO <sub>2</sub> -Problem besser als Photovoltaikanlagen!	++	+	?	-	--

5. Energiesparen zur CO <sub>2</sub> -Verringerung ist billiger. Deshalb sollte man zunächst alle Energie-sparmöglichkeiten nutzen, bevor man die Photovoltaik einsetzt	Stimme voll zu	Stimme zu	Weiß ich nicht/keine Meinung	Stimme nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu
	++	+	?	-	--
6. Die Leistung von Photovoltaikanlagen reicht nicht für Großverbraucher!	++	+	?	-	--
7. Nur in südlichen Ländern scheint genug Sonne, um Solaranlagen effektiv zu nutzen!	++	+	?	-	--
8. Die Umweltbelastung durch Chlorchemie und Probleme bei der Entsorgung machen den Einsatz von Photovoltaikanlagen fragwürdig!	++	+	?	-	--

### 10.2.6 Anhang B6: Fachwissenstest zur Photovoltaik

#### Fachwissenstest zur Photovoltaik

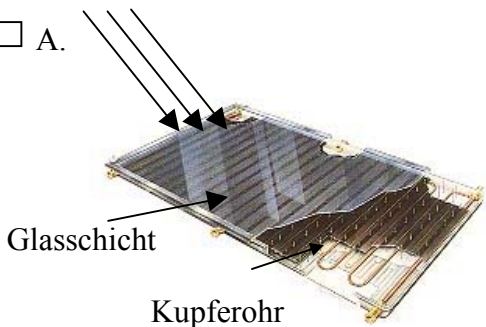
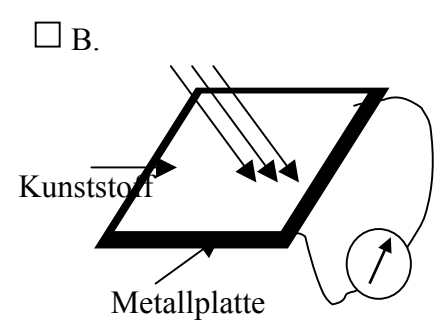
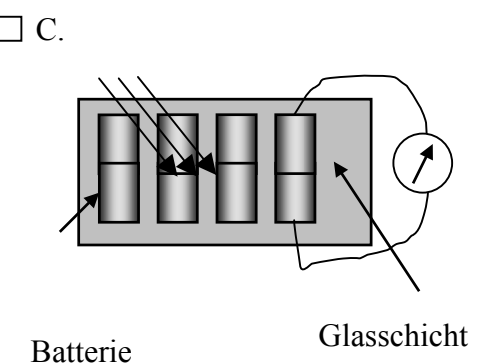
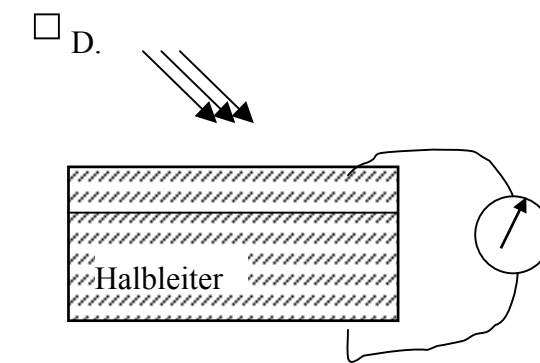
Hinweise: Auf jede Frage gibt es nur eine richtige Antwort! Fragen, bei denen mehrere Antworten angekreuzt sind, müssen wir als falsch bewerten, auch wenn die richtige Antwort dabei ist. Das Wort Item bedeutet Frage!

#### I. Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle

**Item 01.** *In den letzten Jahren findet man im Zusammenhang mit der zukünftigen Energiebereitstellung den Begriff "Solarzelle"! Welche der folgenden Aussagen würdest du als richtig bewerten?*

- A. Eine Solarzelle dient ausschließlich dazu, die Wärme der Sonne zu nutzen, um warmes Wasser für ein Einfamilienhaus bereitzustellen.
- B. Eine Solarzelle dient ausschließlich in der kalten Jahreszeit zur Züchtung von Pflanzen.
- C. Eine Solarzelle dient zur Umwandlung von Strahlungsenergie der Sonne in elektrische Energie.
- D. Eine Solarzelle dient zur Untersuchung in der Astronomie.

**Item 02.** *In den letzten Jahren wurden in intensiver Forschung neue Typen von Solarzellen hergestellt. Welche Skizze gehört zu einer Solarzelle?*

- A. 
- B. 
- C. 
- D. 

**Item 03: Welche Beschreibung trifft für den Aufbau einer Solarzelle zu?**

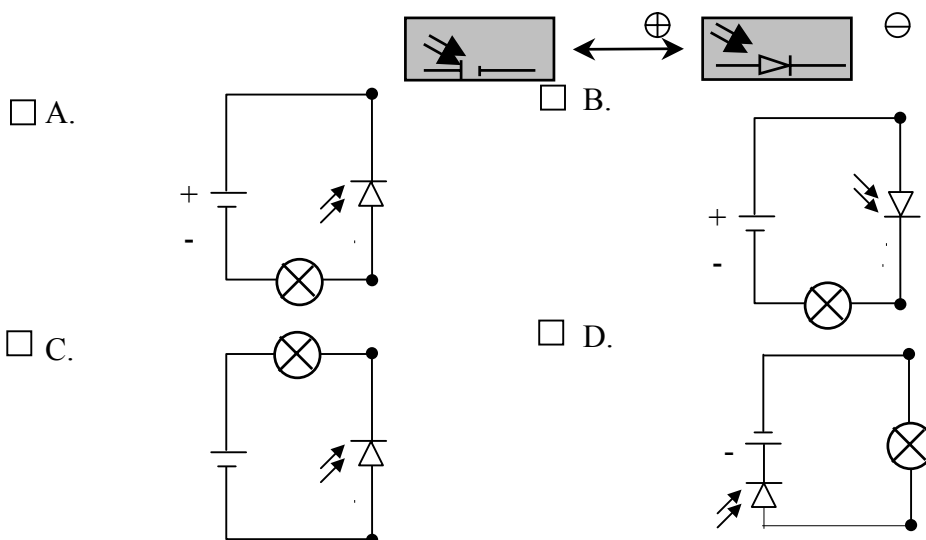
- A. Eine Solarzelle ist eine spezielle Halbleiterdiode mit großer Oberfläche. Das n-Gebiet (*es überwiegen in diesem Gebiet die Elektronen*) ist sehr dünn und lichtdurchlässig.
- B. Eine Solarzelle besteht aus Metall und Kunststoff. Im Gegensatz dazu besteht eine Halbleiterdiode aus Halbleitermaterial.
- C. Eine Solarzelle hat immer Quadratform und eine Halbleiterdiode ist immer kreisförmig.
- D. Zwischen einer Solarzelle und einer Halbleiterdiode gibt es keinen Unterschied im Aufbau, beide Begriffe kennzeichnen das gleiche Bauteil.

**Item 04 : Welche Beschreibung trifft für die Funktionsweise einer Solarzelle zu?**

- A. In einer Halbleiterdiode gibt es eine Durchlassrichtung und eine Sperrrichtung, aber in einer Solarzelle sind beide Richtungen Durchlassrichtungen.
- B. Eine Solarzelle liefert Gleichstrom, wenn sie vom Licht angestrahlt wird. Eine Halbleiterdiode kann den Strom nur durchlassen oder sperren.
- C. Eine Solarzelle kann den Strom besser als eine Halbleiterdiode leiten, weil eine Solarzelle eine größere Oberfläche hat.
- D. In einer Solarzelle gibt es mehr freibewegliche Löcher, weil die n-Schicht der Solarzelle sehr dünn ist. Deshalb ist die Solarzelle positiv geladen. Im Gegensatz dazu ist eine Halbleiterdiode stets neutral.

**Item 05: In den folgenden Bildern arbeitet eine Solarzelle als Halbleiterdiode. In welchem Bild leuchtet die Lampe auf?**

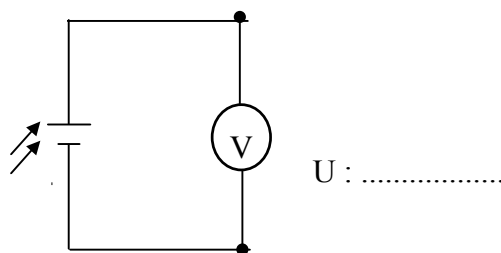
*Eine Solarzelle funktioniert wie eine Halbleiterdiode*



## II. Physikalische Größen einer Solarzelle

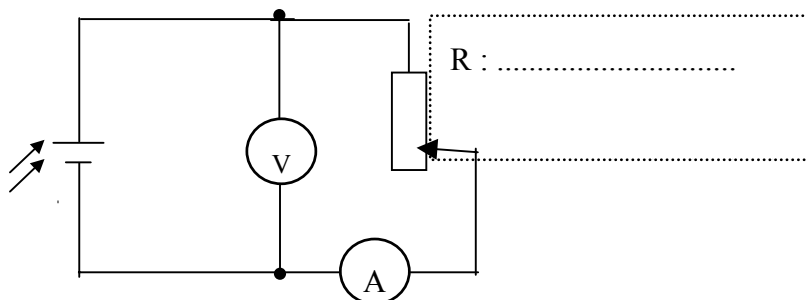
Item 06: *Welcher Begriff passt zu der Skizze?*

- A. Leerlaufspannung  
 B. Kurzschlussstrom  
 C. Innenwiderstand  
 D. Belastungswiderstand



Item 07: *Welcher Begriff passt in das rechte Kästchen ?*

- A. Klemmspannung  
 B. Stromstärke  
 C. Innenwiderstand  
 D. Belastungswiderstand



Item 08: *Welche der folgenden Gleichungen ist richtig?*

- A.  $P = U_L \cdot I_K$   
 B.  $P = U_K \cdot I_K$   
 C.  $P = U_K \cdot I$   
 D.  $P = U_L^2 / R_a$

*Anbei:*

$U_L$ : *Leerlaufspannung,*

$I_K$ : *Kurzschlussstromstärke,*

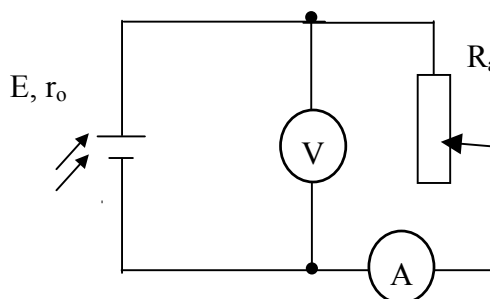
$r_o$ : *Innenwiderstand,*

$R_a$ : *Belastungswiderstand,*

$U_K$ : *Klemmspannung,*

$I$ : *Stromstärke*

$P$ : *Leistung einer Solarzelle*

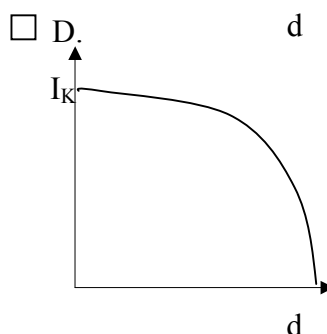
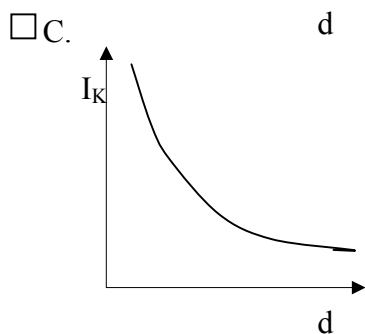
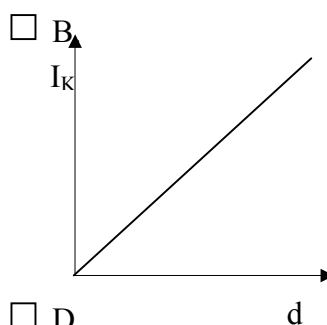
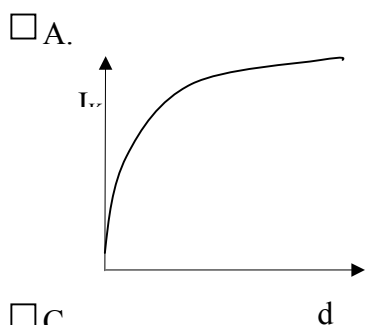


### III. Einfluss der physikalischen Größen auf die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke der Solarzelle

Item 09: *Welcher der folgenden Sätze ist richtig ?*

- A. Wenn die Beleuchtungsstärke zunimmt, nimmt die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke einer Solarzelle ab.
- B. Wenn die Beleuchtungsstärke zunimmt, nimmt die Leerlaufspannung einer Solarzelle zu, aber ihre Kurzschlussstromstärke nimmt ab.
- C. Wenn die Beleuchtungsstärke zunimmt, nimmt die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke einer Solarzelle zu.
- D. Wenn die Beleuchtungsstärke zunimmt, nimmt die Leerlaufspannung einer Solarzelle ab, aber ihre Kurzschlussstromstärke nimmt zu.

Item 10: *Es wird der Abstand zwischen der Solarzelle und einer Lampe vergrößert. Welches Diagramm ist richtig?*



Item 11: *Welche der folgenden physikalischen Größen haben keinen Einfluss auf eine Solarzelle?*

- A. Beleuchtungsstärke, Außentemperatur, Atmosphärendruck
- B. Windgeschwindigkeit, Lichtwellenlänge, Außentemperatur
- C. Lichtwellenlänge, Einfallswinkel der Strahlung
- D. Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Atmosphärendruck

**Item 12. Nur eine der Messreihen kann richtig sein. Welche ist das?**

(A: Solarzellenfläche,  $U_L$ : Leerlaufspannung,  $I_K$ : Kurzschlussstromstärke)

A.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U_L$ in V	0,2	0,25	0,3	0,36	0,44
$I_K$ in A	0	0,03	0,04	0,05	0,08

B.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U$ in V	0	0,3	0,36	0,40	0,45
$I_K$ in A	0	0,04	0,06	0,08	0,12

C.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U$ in V	0	0,3	0,36	0,40	0,45
$I_K$ in A	0	0,14	0,09	0,07	0,03

D.

$A$ in $cm^2$	0	10	20	30	40
$U$ in V	0	0,4	0,6	0,8	1,0
$I_K$ in A	0,03	0,05	0,07	0,12	0,14

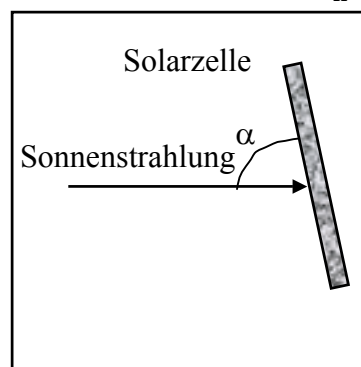
**Item 13: Welcher Zusammenhang gilt unter idealen Bedingungen zwischen dem Einfallswinkel  $\alpha$  der Sonnenstrahlung und der Kurzschlussstromstärke  $I_K$ :**

A.  $I_K \sim \alpha$

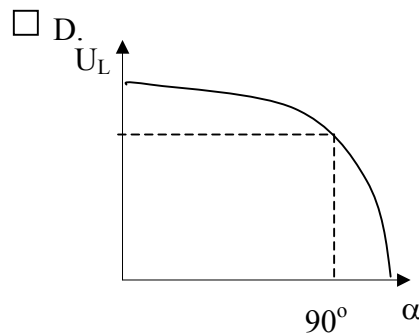
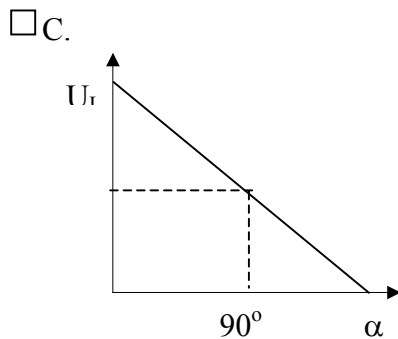
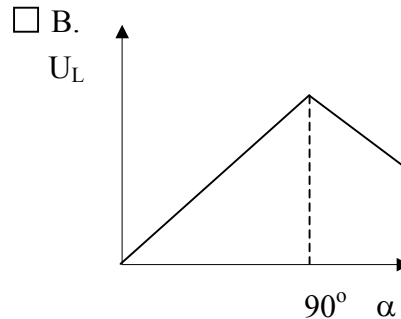
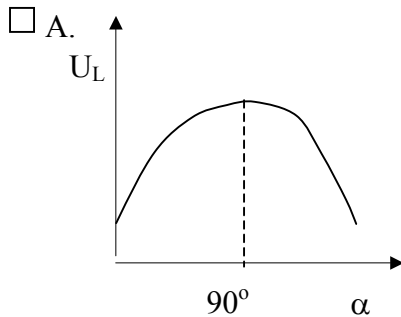
B.  $I_K \sim \alpha^2$

C.  $I_K \sim \sin\alpha$

D.  $I_K \sim 1 - \cos\alpha$



**Item 14: Drehe die Solarzelle um den Einfallswinkel  $\alpha$ .  $U_L$  ist die Leerlaufspannung der Solarzelle. Welches Diagramm ist richtig?**



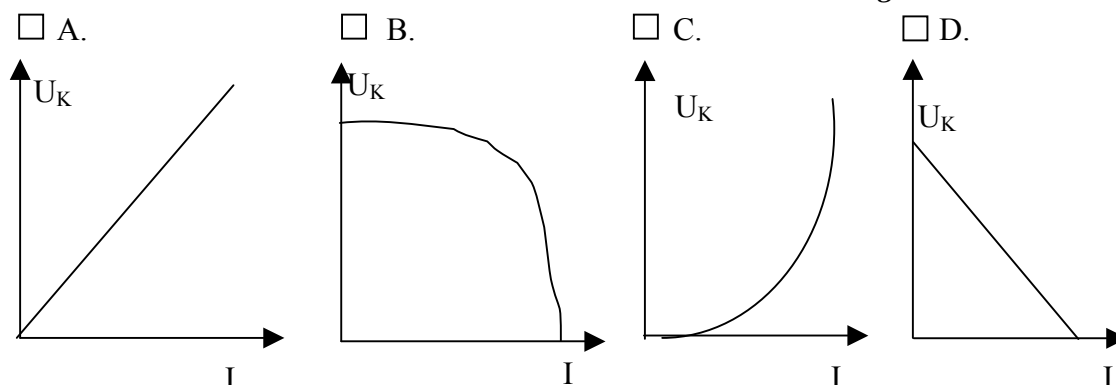
#### IV. Belastete Solarzelle (Solarzelle mit Außenwiderstand $R_a$ )

**Item 15: Welcher Zusammenhang zwischen der Temperatur einer Solarzelle und der Leistung der Solarzelle ist richtig?**

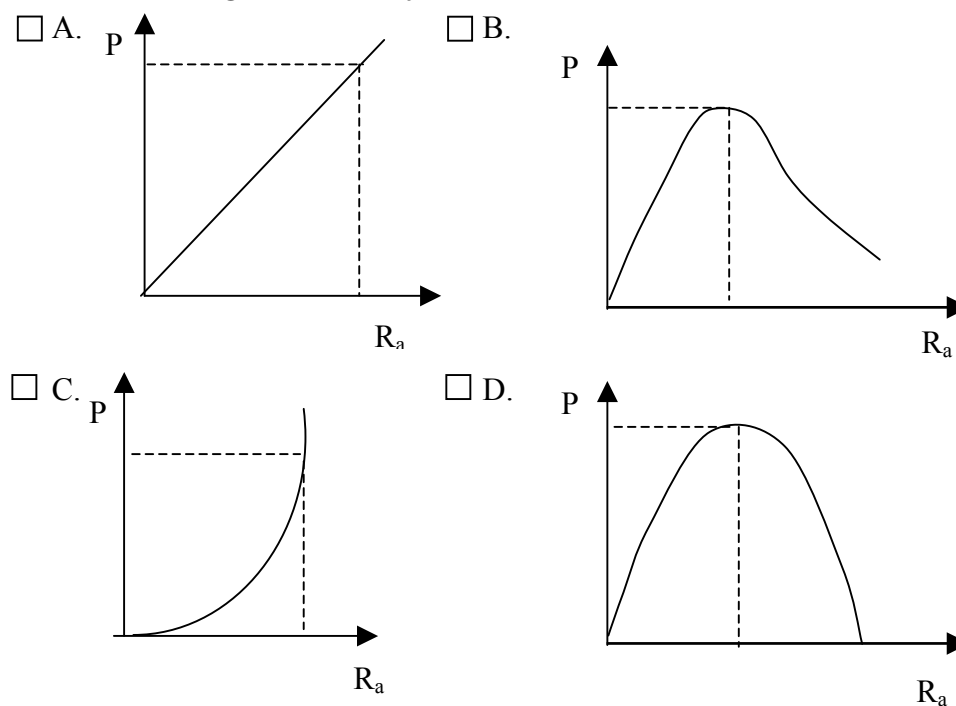
- A. Je größer die Temperatur einer Solarzelle, desto kleiner die Leistung der Solarzelle.
- B. Je größer die Temperatur einer Solarzelle, desto größer die Leistung der Solarzelle.
- C. Die Leistung einer Solarzelle ist nicht von der Temperatur einer Solarzelle abhängig.
- D. Es besteht ein quadratischer Zusammenhang zwischen der Temperatur einer Solarzelle und der Leistung der Solarzelle.



**Item16: Welches Diagramm beschreibt den korrekten Zusammenhang zwischen der an einer belasteten Solarzelle gemessenen Klemmenspannung  $U_K$  und der Stromstärke  $I$  einer Solarzelle bei konstanter Beleuchtungsstärke ?**



**Item 17: Welches Diagramm zeigt den korrekten Zusammenhang zwischen der Leistung und dem Außenwiderstand einer Solarzelle?**



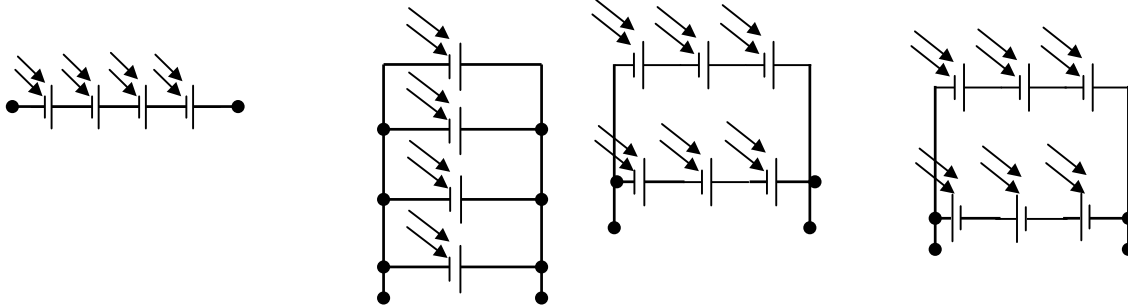
**Item 18: Bei welchem Außenwiderstand erreicht man die maximale Leistung der Solarzelle?**

	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
Außenwiderstand	R1	R2	R3	R4
U in V	0,05	0,01	0,25	0,30
I in A	0,13	0,12	0,1	0,05

## V. Solaranlage und Anwendung

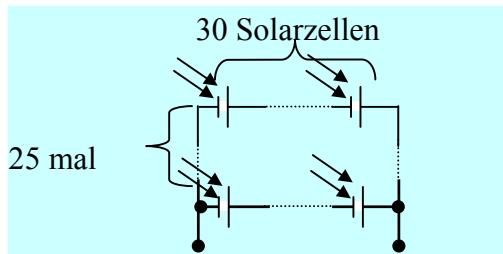
**Item 19:** Welche Schaltskizze finden wir bei einem Solarmodul (Solaranlage) wieder?

- A. Reihenschaltung       B. Parallelschaltung       C. kombinierte Schaltung       D. kombinierte Schaltung

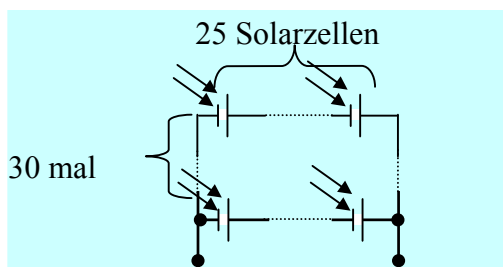


**Item 20:** Wie kann man eine 12V-5A-Solaranlage aufbauen? Es stehen nur 0,4V-0,2A-Solarzellen zur Verfügung.

- A. Man schaltet 750 Solarzellen in Reihe
- B. Man schaltet 750 Solarzellen parallel zueinander
- C. Man schaltet 750 Solarzellen in kombinierter Schaltung. Es sind jeweils 30 Solarzellen in Reihe zu schalten. Diese Reihenschaltung ist 25 mal parallel zu schalten.



- D. Man schaltet 750 Solarzellen in kombinierter Schaltung. Es sind jeweils 25 Solarzellen in Reihe zu schalten. Diese Reihenschaltung ist 30 mal parallel zu schalten.



**Item 21: Wie viele Jahre reichen die Energievorräte an fossilen Energieträgern noch aus, wenn man den heutigen Energiebedarf zugrunde legt?**

- A. 10 Jahre       B. 70 Jahre       C. 1000 Jahre       D. endlos
- 
- 

**Item 22: Welche Umweltprobleme kann der Einsatz der Solarenergie reduzieren?**

- A. Elektrosmog, radioaktive Belastung, Massentourismus       B. Erderwärmung, CO<sub>2</sub>-Anstieg, Luftverschmutzung
- C. Belastung der Atmosphäre durch Treibhausgase, Grundwasserbelastung, Müllberge       D. UV- Belastung, Überdüngung, Verkehrsemission
- 
- 

**Item 23. Um 1 kWh Elektroenergie in einem Kohlekraftwerk zu erzeugen werden 0,62 kg CO<sub>2</sub> freigesetzt. Eine Photovoltaikanlage eines Einfamilienhauses mit einer Leistung von 5 kW ist täglich 10 Stunden in Betrieb. Wie viel kg CO<sub>2</sub> werden jährlich durch die Photovoltaikanlage eingespart?**

- A. ca. 11300 kg       B. ca. 5100 kg
- C. ca. 100kg       D. ca. 220000 kg
- 
- 

**Lösung:**

<b>1C, 2D, 3A, 4B, 5B, 6A, 7D, 8C, 9C, 10C, 11D, 12B, 13C, 14A, 15A, 16B, 17B, 18C, 19C, 20C, 21B, 22B, 23A</b>
---

### 10.2.7 Anhang B7: Einschätzung des Lernens an Stationen

(Fragestellung in Anlehnung an Ralph Hepp: Planung, Durchführung und Beurteilung von Projekten. Friedrich Verlag UP CD-ROM Projektorientierter Physikunterricht)

#### 1. Was findest du am Lernen an Stationen gut?

ja /nein

- selbstständiges Erarbeiten neuen Wissens
  - ständiger Gedankenaustausch mit dem Schüler, mit dem ich zusammenarbeite
  - selbstständiges Planen und Durchführen von Experimenten
  - zeitlich längeres selbstständiges Arbeiten an einer neuen Thematik
  - persönliche Einschätzung:
- .....

#### 2. Was findest du am Lernen an Stationen weniger gut?

ja /nein

- zu lange Texte im Handout
  - zu ausführliche und rezeptartige Versuchsbeschreibungen
  - keine vollständige Absicherung und Überprüfung der gewonnenen Erkenntnisse und Versuchsergebnisse während der Erarbeitungsphase (Rückkopplung durch den Lehrer)
  - zu wenig fakultative Stationen
  - persönliche Einschätzung
- .....

#### 3. Hattest du genügend Zeit, die einzelnen Aufgaben zu bearbeiten?

- 3.1  Zeitvorgabe war nicht ausreichend
  - 3.2  Zeitvorgabe reichte knapp aus
  - 3.3  Zeitvorgabe war angemessen
  - 3.4  Zeitvorgabe war zu umfangreich
  - persönliche Einschätzung:
- .....

#### 4. Hast du das Gefühl, während des Lernens an Stationen etwas gelernt zu haben?

- 4.1  nein, gar nichts
- 4.2  nein, eher nichts
- 4.3  teils, teils
- 4.4  ja, etwas
- 4.5  ja, sehr viel
- persönliche Einschätzung:

**5. Wenn du das Gefühl hast, während des Lernens an Stationen etwas gelernt zu haben, worin siehst du die Ursache? (hier sind mehrere Antworten möglich!)**

ja /nein

- ich musste mich stärker auf die konkreten Fragestellungen konzentrieren als beim normalen Unterricht
  - ich habe mehr Sicherheit in das eigene Experimentieren gewonnen
  - ich habe an Selbstvertrauen gewonnen, mich selbstständig in eine neue Thematik einzuarbeiten
  
  - ich halte die Kommunikation mit meinem Experimentierpartner bei der Lösung der Aufgabenstellungen für sehr wichtig. Diese Kommunikation ist im normalen Unterrichtsablauf nicht möglich.  
persönliche Einschätzung
- .....
- .....

**6. Lohnt sich deiner Meinung nach überhaupt der Aufwand des Arbeitens an Lernstationen?**

ja /nein

- man muss sich später auch neues Wissen selbstständig erarbeiten
  - Lernen an Stationen ist eine gute Möglichkeit das Selbstvertrauen des Lernenden zu stärken
  - das Lernen an Stationen ist kein Ersatz für systematisches Lernen
  - beim Lernen an Stationen verliere ich den Überblick  
persönliche Einschätzung
- .....

**7. Was würdest du an der Organisation oder am Inhalt der Lernstation Photovoltaik ändern? (hier sind mehrere Antworten möglich!)**

ja /nein

- Selbstkontrolle und Ergebniskontrolle nach der Durchführung der Station als Handout verstärken
- Systematisierungsstationen einbauen, um den Überblick zu behalten
- mehr Argumentationsmuster zu angebotenen Halbwahrheiten aus der populärwissenschaftlichen Literatur
  
- praktische Bedeutung des erarbeiteten neuen Wissens ist noch zu verstärken.  
persönliche Einschätzung

### 10.3 Anhang C: Tabellen zur statistischen Auswertung des Wissenstests

\* : richtige Antwort

#### Item 1.

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	2	2,6	1	1,3	9	10,8	0	,0
Antwort B	2,00	0	,0	2	2,5	0	,0	2	2,5
<b>Antwort C*</b>	<b>3,00</b>	<b>75</b>	<b>97,4</b>	<b>75</b>	<b>94,9</b>	<b>73</b>	<b>88,0</b>	<b>77</b>	<b>97,5</b>
Antwort D	4,00	0	,0	1	1,3	1	1,2	0	,0
Gesamt		77	100,0	79	100,0	83	100,0	79	100,0

#### Item 2.

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	38	47,5	4	5,1	50	60,2	4	5,1
Antwort B	2,00	18	22,5	1	1,3	10	12,0	2	2,5
Antwort C	3,00	2	2,5	4	5,1	5	6,0	1	1,3
<b>Antwort D*</b>	<b>4,00</b>	<b>22</b>	<b>27,5</b>	<b>69</b>	<b>88,5</b>	<b>18</b>	<b>21,7</b>	<b>72</b>	<b>91,1</b>
Gesamt		80	100,0	78	100,0	83	100,0	79	100,0

#### Item 3

Kategorien		Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
<b>Antwort A*</b>	<b>1,00</b>	<b>46</b>	<b>58,2</b>	<b>73</b>	<b>92,4</b>	<b>41</b>	<b>55,4</b>	<b>74</b>	<b>93,7</b>
Antwort B	2,00	18	22,8	1	1,3	17	23,0	2	2,5
Antwort C	3,00	5	6,3	4	5,1	6	8,1	0	,0
Antwort D	4,00	10	12,7	1	1,3	10	13,5	3	3,8
Gesamt		79	100,0	79	100,0	74	100,0	79	100,0

**Item 4**

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	5	6,4	9	11,4	3	4,1	8	10,4
<b>Antwort B*</b>	<b>2,00</b>	<b>29</b>	<b>37,2</b>	<b>33</b>	<b>41,8</b>	<b>30</b>	<b>40,5</b>	<b>28</b>	<b>36,4</b>
Antwort C	3,00	18	23,1	18	22,8	19	25,7	12	15,6
Antwort D	4,00	26	33,3	19	24,1	22	29,7	29	37,7
Gesamt		78	100,0	79	100,0	74	100,0	77	100,0

**Item 5**

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	8	10,4	5	6,3	12	15,8	7	9,0
<b>Antwort B*</b>	<b>2,00</b>	<b>30</b>	<b>39,0</b>	<b>67</b>	<b>84,8</b>	<b>37</b>	<b>48,7</b>	<b>57</b>	<b>73,1</b>
Antwort C	3,00	26	33,8	4	5,1	21	27,6	4	5,1
Antwort D	4,00	13	16,9	3	3,8	6	7,9	10	12,8
Gesamt		77	100,0	79	100,0	76	100,0	78	100,0

**Item 6**

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
<b>Antwort A*</b>	<b>1,00</b>	<b>47</b>	<b>61,0</b>	<b>70</b>	<b>88,6</b>	<b>54</b>	<b>67,5</b>	<b>71</b>	<b>89,9</b>
Antwort B	2,00	15	19,5	4	5,1	11	13,8	8	10,1
Antwort C	3,00	10	13,0	1	1,3	7	8,8	0	,0
Antwort D	4,00	5	6,5	4	5,1	8	10,0	0	,0
Gesamt		77	100,0	79	100,0	80	100,0	79	100,0

## Item 7

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	6	7,7	11	13,9	7	9,0	14	17,9
Antwort B	2,00	6	7,7	1	1,3	6	7,7	2	2,6
Antwort C	3,00	22	28,2	19	24,1	24	30,8	9	11,5
<b>Antwort D*</b>	<b>4,00</b>	<b>44</b>	<b>56,4</b>	<b>48</b>	<b>60,8</b>	<b>41</b>	<b>52,6</b>	<b>53</b>	<b>67,9</b>
Gesamt		78	100,0	79	100,0	78	100,0	78	100,0

## Item 8

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	27	34,2	40	50,6	20	27,4	35	44,3
Antwort B	2,00	6	7,6	5	6,3	9	12,3	9	11,4
<b>Antwort C*</b>	<b>3,00</b>	<b>27</b>	<b>34,2</b>	<b>30</b>	<b>38,0</b>	<b>29</b>	<b>39,7</b>	<b>33</b>	<b>41,8</b>
Antwort D	4,00	19	24,1	4	5,1	15	20,5	2	2,5
Gesamt		79	100,0	79	100,0	73	100,0	79	100,0

## Item 9

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	12	15,8	7	8,9	13	17,3	6	7,6
Antwort B	2,00	24	31,6	5	6,3	14	18,7	7	8,9
<b>Antwort C*</b>	<b>3,00</b>	<b>22</b>	<b>28,9</b>	<b>59</b>	<b>74,7</b>	<b>30</b>	<b>40,0</b>	<b>61</b>	<b>77,2</b>
Antwort D	4,00	18	23,7	8	10,1	18	24,0	5	6,3
Gesamt		76	100,0	79	100,0	75	100,0	79	100,0



**Item 10**

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachtest		Vortest		Nachtest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	12	15,4	2	2,5	11	13,8	14	17,7
Antwort B	2,00	18	23,1	6	7,6	16	20,0	4	5,1
<b>Antwort C*</b>	<b>3,00</b>	<b>26</b>	<b>33,3</b>	<b>63</b>	<b>79,7</b>	<b>33</b>	<b>41,3</b>	<b>49</b>	<b>62,0</b>
Antwort D	4,00	22	28,2	8	10,1	20	25,0	12	15,2
Gesamt		78	100,0	79	100,0	80	100,0	79	100,0

**Item 11**

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachtest		Vortest		Nachtest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	5	6,3	2	2,5	1	1,2	0	,0
Antwort B	2,00	8	10,1	6	7,6	9	11,0	4	5,1
Antwort C	3,00	5	6,3	1	1,3	6	7,3	3	3,8
<b>Antwort D*</b>	<b>4,00</b>	<b>61</b>	<b>77,2</b>	<b>70</b>	<b>88,6</b>	<b>66</b>	<b>80,5</b>	<b>72</b>	<b>91,1</b>
Gesamt		79	100,0	79	100,0	82	100,0	79	100,0

**Item 12**

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachtest		Vortest		Nachtest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	13	17,8	20	25,6	7	9,5	12	15,2
<b>Antwort B*</b>	<b>2,00</b>	<b>22</b>	<b>30,1</b>	<b>42</b>	<b>53,8</b>	<b>27</b>	<b>36,5</b>	<b>57</b>	<b>72,2</b>
Antwort C	3,00	25	34,2	10	12,8	22	29,7	6	7,6
Antwort D	4,00	13	17,8	6	7,7	18	24,3	4	5,1
Gesamt		73	100,0	78	100,0	74	100,0	79	100,0

**Item 13**

	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
Kategorien		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	25	33,3	5	6,4	13	17,1	12	15,2
Antwort B	2,00	11	14,7	2	2,6	17	22,4	5	6,3
<b>Antwort C*</b>	<b>3,00</b>	<b>24</b>	<b>32,0</b>	<b>66</b>	<b>84,6</b>	<b>34</b>	<b>44,7</b>	<b>59</b>	<b>74,7</b>
Antwort D	4,00	15	20,0	5	6,4	12	15,8	3	3,8
Gesamt		75	100,0	78	100,0	76	100,0	79	100,0

**Item 14**

	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
Kategorien		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
<b>Antwort A*</b>	<b>1,00</b>	<b>24</b>	<b>31,6</b>	<b>73</b>	<b>92,4</b>	<b>26</b>	<b>34,2</b>	<b>75</b>	<b>94,9</b>
Antwort B	2,00	12	15,8	2	2,5	15	19,7	0	,0
Antwort C	3,00	19	25,0	2	2,5	18	23,7	2	2,5
Antwort D	4,00	21	27,6	2	2,5	17	22,4	2	2,5
Gesamt		76	100,0	79	100,0	76	100,0	79	100,0

**Item 15**

	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
Kategorien		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
<b>Antwort A</b>	<b>1,00</b>	<b>3</b>	<b>4,0</b>	<b>69</b>	<b>87,3</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>71</b>	<b>89,9</b>
Antwort B	2,00	26	34,7	6	7,6	35	44,3	4	5,1
Antwort C	3,00	36	48,0	2	2,5	31	39,2	3	3,8
Antwort D	4,00	10	13,3	2	2,5	11	13,9	1	1,3
Gesamt		75	100,0	79	100,0	79	100,0	79	100,0

**Item 16**

	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
Kategorien		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	28	37,8	20	25,3	42	56,0	22	28,2
<b>Antwort B*</b>	<b>2,00</b>	<b>7</b>	<b>9,5</b>	<b>48</b>	<b>60,8</b>	<b>2</b>	<b>2,7</b>	<b>43</b>	<b>55,1</b>
Antwort C	3,00	32	43,2	8	10,1	27	36,0	8	10,3
Antwort D	4,00	7	9,5	3	3,8	4	5,3	5	6,4
Gesamt		74	100,0	79	100,0	75	100,0	78	100,0

**Item 17**

	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
Kategorien		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	24	31,6	1	1,3	26	33,8	6	7,7
<b>Antwort B*</b>	<b>2,00</b>	<b>20</b>	<b>26,3</b>	<b>69</b>	<b>87,3</b>	<b>11</b>	<b>14,3</b>	<b>62</b>	<b>79,5</b>
Antwort C	3,00	26	34,2	5	6,3	26	33,8	7	9,0
Antwort D	4,00	6	7,9	4	5,1	14	18,2	3	3,8
Gesamt		76	100,0	79	100,0	77	100,0	78	100,0

**Item 18**

	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
Kategorien		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	20	26,7	13	16,5	17	22,1	6	7,9
Antwort B	2,00	13	17,3	9	11,4	10	13,0	4	5,3
<b>Antwort C</b>	<b>3,00</b>	<b>24</b>	<b>32,0</b>	<b>46</b>	<b>58,2</b>	<b>26</b>	<b>33,8</b>	<b>34</b>	<b>44,7</b>
Antwort D	4,00	18	24,0	11	13,9	24	31,2	32	42,1
Gesamt		75	100,0	79	100,0	77	100,0	76	100,0

## Item 19

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	12	15,6	8	10,1	8	9,9	5	6,3
Antwort B	2,00	28	36,4	7	8,9	32	39,5	2	2,5
<b>Antwort C*</b>	<b>3,00</b>	<b>20</b>	<b>26,0</b>	<b>55</b>	<b>69,6</b>	<b>23</b>	<b>28,4</b>	<b>64</b>	<b>81,0</b>
Antwort D	4,00	17	22,1	9	11,4	18	22,2	8	10,1
Gesamt		77	100,0	79	100,0	81	100,0	79	100,0

## Item 20

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	12	16,0	2	2,5	8	10,8	0	,0
Antwort B	2,00	17	22,7	5	6,3	25	33,8	5	6,3
<b>Antwort C*</b>	<b>3,00</b>	<b>34</b>	<b>45,3</b>	<b>60</b>	<b>75,9</b>	<b>33</b>	<b>44,6</b>	<b>66</b>	<b>83,5</b>
Antwort D	4,00	12	16,0	12	15,2	8	10,8	8	10,1
Gesamt		75	100,0	79	100,0	74	100,0	79	100,0

## Item 21

Kategorien	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	5	6,7	2	2,5	5	6,5	2	2,5
<b>Antwort B*</b>	<b>2,00</b>	<b>50</b>	<b>66,7</b>	<b>69</b>	<b>87,3</b>	<b>43</b>	<b>55,8</b>	<b>72</b>	<b>91,1</b>
Antwort C	3,00	20	26,7	5	6,3	26	33,8	3	3,8
Antwort D	4,00	0	,0	3	3,8	3	3,9	2	2,5
Gesamt		75	100,0	79	100,0	77	100,0	79	100,0

**Item 22**

	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
Kategorien		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Antwort A	1,00	5	6,5	6	7,6	5	6,4	1	1,3
<b>Antwort B</b>	<b>2,00</b>	<b>56</b>	<b>72,7</b>	<b>67</b>	<b>84,8</b>	<b>51</b>	<b>65,4</b>	<b>70</b>	<b>88,6</b>
Antwort C	3,00	8	10,4	4	5,1	16	20,5	8	10,1
Antwort D	4,00	8	10,4	2	2,5	6	7,7	0	,0
Gesamt		77	100,0	79	100,0	78	100,0	79	100,0

**Item 23**

	Code	Kontrollgruppe				Untersuchungsgruppe			
Kategorien		Vortest		Nachttest		Vortest		Nachttest	
		n	%	n	%	n	%	n	%
<b>Antwort A</b>	<b>1,00</b>	<b>28</b>	<b>38,4</b>	<b>67</b>	<b>85,9</b>	<b>27</b>	<b>35,5</b>	<b>62</b>	<b>78,5</b>
Antwort B	2,00	27	37,0	5	6,4	35	46,1	13	16,5
Antwort C	3,00	7	9,6	3	3,8	7	9,2	1	1,3
Antwort D	4,00	11	15,1	3	3,8	7	9,2	3	3,8
Gesamt		73	100,0	78	100,0	76	100,0	79	100,0



## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, Nguyen Van Bien, dass die vorliegende Dissertation, abgesehen von der Beratung durch meinen Betreuer Herrn Prof. Dr. W. Müller, nach Inhalt und Form meine eigene Arbeit ist. Zu ihrer Anfertigung habe ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

Ich erkläre, dass ich die Dissertation oder Teile hiervon nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Einrichtung eingereicht habe und dass ich die gleiche oder eine andere Abhandlung nicht in einem anderem Fachbereich oder anderen wissenschaftlichen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Landau, den 11.10.07

Nguyen Van Bien





## **Danksagung**

Der dankbare Teil der Arbeit: Gerne möchte ich die Gelegenheit nutzen, all den Menschen meinen Dank auszusprechen, die mich bei dieser Arbeit unterstützt und ermutigt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. W. Müller, der meine Arbeit von Beginn an begleitet und mit großem Einsatz unterstützt hat und Herrn Prof. Dr. Andreas Müller für die Bereitschaft, diese Arbeit zu begutachten.

Ich danke:

- Herrn Dr. Oliver Schwarz für die anregenden Hinweise und die konkreten Verbesserungsvorschläge,
- Herrn Dr. Christoph Schneider für die spontane Unterstützung bei der statistischen quantitativen Datenauswertung,
- den Lehrkräften, die sich und ihre Lerngruppen für diese Arbeit zur Verfügung gestellt haben: Dr. Jochen Kuhn, Dr. Thomas Müller, Jürgen Monnerjahn,
- den Mitarbeitern/innen der Abteilung Physik, Institut für Naturwissenschaften an der Universität Koblenz- Landau für vier schöne Jahre in Landau und viele hilfreiche Rückmeldungen zu Teilthemen dieser Arbeit,
- allen Schülern/innen, die sich für diese Untersuchung zur Verfügung gestellt haben, Fragebögen ausgefüllt haben und damit diese Arbeit überhaupt ermöglicht haben,
- dem vietnamesischen Ministerium für die finanzielle Unterstützung,
- Herrn Prof. Dr. Nguyen, Ngoc Hung und Prof. Dr. Pham, Xuan Que für die vielen sinnvollen Hinweisen und Anleitungen,
- meinen Eltern – für die jahrelange und andauernde, vorbehaltlose und vertrauensvolle Unterstützung,
- meiner Frau, einfach dafür, auf der Welt zu sein und diese damit lebenswerter zu machen.



# Lebenslauf

## Persönliche Daten

Name Van Bien, Nguyen  
Anschrift Queichheimer Hauptstraße 91  
76829 –Landau

Telefon 06341 / 280-359  
06341/705 351

E- Mail [bien@uni-landau.de](mailto:bien@uni-landau.de)  
[ppgdvl@yahoo.com](mailto:ppgdvl@yahoo.com)

Geburtsdatum 05.08.1979  
Geburtsort, -Land Ha Tay- Viet Nam  
Staatsangehörigkeit vietnamesisch  
Familienstand verheiratet  
Präsenzdienst Lehrkraft an der pädagogischen Universität Hanoi



## Schulbildung

9/1985-7/1990 Grundschule in Ha Tay  
9/1990-7/1994 Gesamtschule in Ha Tay, Mittelschulabschluss: Sehr gut  
9/1994-7/1997 Gymnasium für begabte Schüler in Physik an der Universität Hanoi.  
Abitur: Gut, Noten in Mathe, Physik und Chemie: 1

## Studium

9/1997-7/2001 Lehramt Physik an Gymnasien in der Spezialklasse der Pädagogischen Hochschule Hanoi. Diplomabschluss: Sehr gut  
9/2001-9/2002 Master-Studiengang Physik in der Sektion Physik der Pädagogischen Hochschule Hanoi.  
1/2004-heute Promotion Studium an der Universität Koblenz- Landau, Campus Landau

## Studienbegleitende Tätigkeiten

9/2001-9/2002 Physiklehrer am privaten Gymnasium Nguyen Sieu, Hanoi  
10/2001-7/2003 Wissenschaftlicher Hilfsassistent in der Sektion Physik der Pädagogischen Hochschule Hanoi.  
7/2003-12/2003 Mitarbeiter in der Sektion Physik der Pädagogischen Universität Hanoi.



## **Eigene Veröffentlichungen**

1. MÜLLER, W., NGUYEN, VAN BIEN, Die Physik des Infrarot- Ohrthermometers. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule. 8/53, Dez. 2004
2. NGUYEN, VAN BIEN, OHLER, D., MÜLLER, W., Solarteich- Ein interessantes Naturphänomen, Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule. Heft 8/55, Dez. 2006
3. NGUYEN, VAN BIEN, MÜLLER, W., Kompetenzerwerb beim Lernen an Stationen. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule,. Heft 8/55, Dez. 2006
4. MÜLLER, W., NGUYEN, VAN BIEN, GERSTANDT, K., PEINENMANN, K.-V., Osmosekraftwerk - ein etwas anderes Wasserkraftwerk. . Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 4/56, 2007
5. NGUYEN, VAN BIEN, MÜLLER, W., Empirische Untersuchungen zur Effektivität des Lernens an Stationen um Themenbereich „Photovoltaik“. GDGP-Band, Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich, Bern (Ch), 2007

## **Vorträge**

1. MÜLLER, W., NGUYEN, VAN BIEN, MONNERJAHN, J., Lernstationen zur Photovoltaik. Lehrerfortbildung am IFB in Speyer, Okt. 2005
2. MÜLLER, W., NGUYEN, VAN BIEN, Experimentalvortrag und Workshop an der sächsischen Akademie für Lehrerfortbildung in Meissen, Jan. 2006
3. MÜLLER, W., NGUYEN, VAN BIEN, Workshop „Lernen an Stationen“ MNU-Bundestagung in Karlsruhe, März 2006
4. NGUYEN, VAN BIEN, MÜLLER, W., Empirische Untersuchungen zur Umsetzung der Bildungsstandards, GDGP- Tagung in Bern (Ch) Sep. 2006
5. MÜLLER, W., NGUYEN, VAN BIEN, Workshop „Lernstationen zur Photovoltaik“ MNU-Bundestagung in Berlin, April 2007

