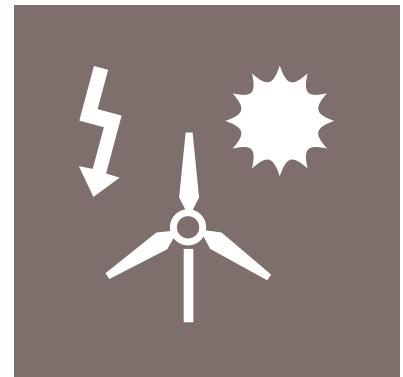
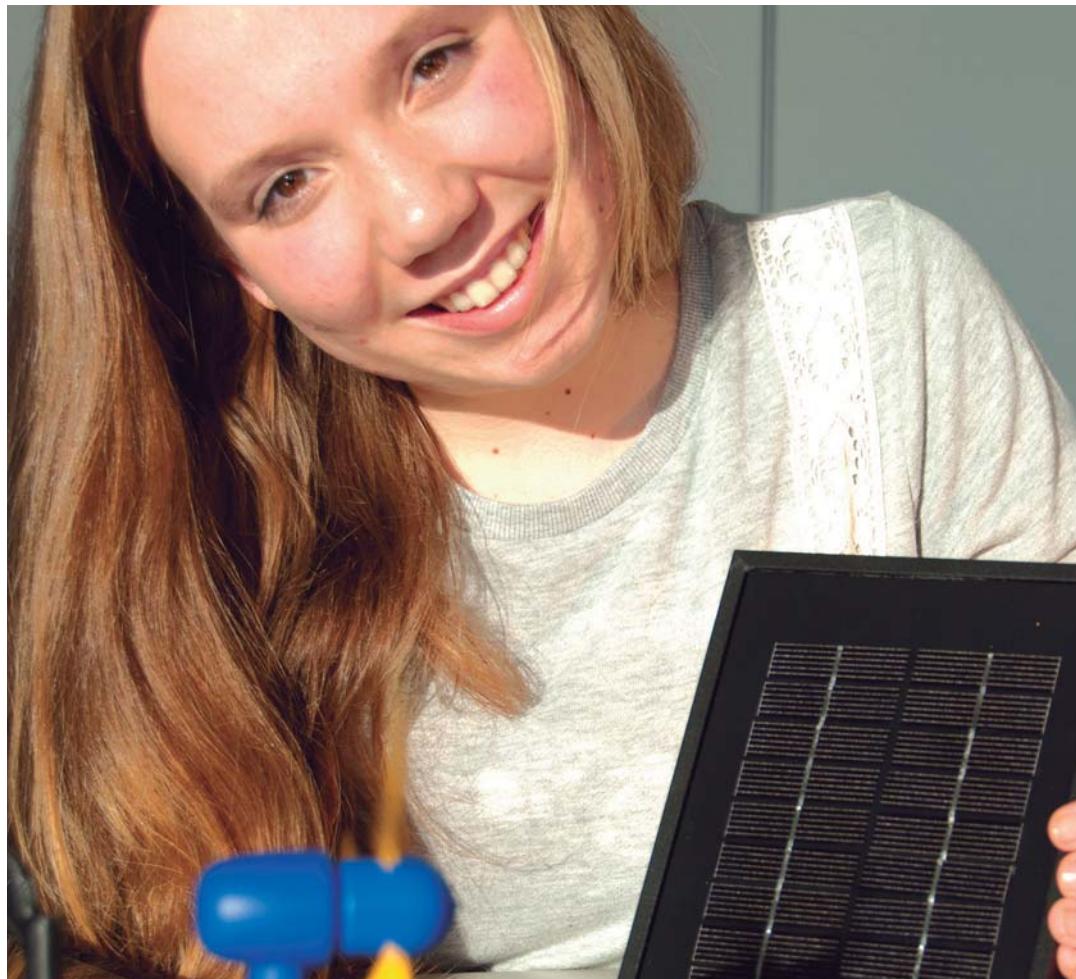


# leXsolar-SmartGrid Ready-to-go



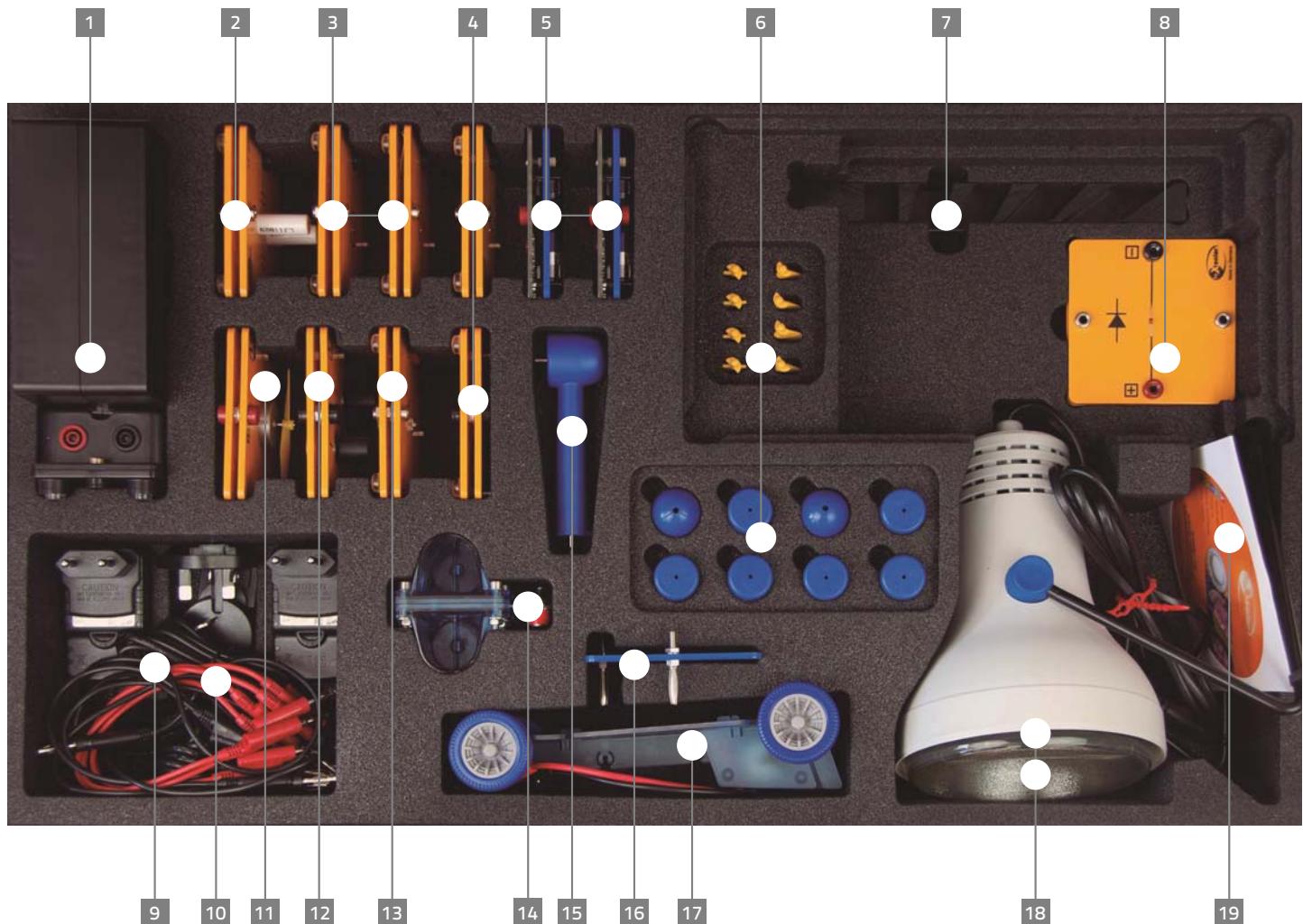
Lehrerheft

## Layout diagram leXsolar-SmartGrid Ready-to-go

Item-No.1605

## Bestückungsplan leXsolar-SmartGrid Ready-to-go

Art.-Nr.1605



- |          |  |           |  |           |   |
|----------|--|-----------|--|-----------|---|
| <b>1</b> | 1400-19 leXsolar-Wind machine<br>1400-19 leXsolar-Winderzeuger           | <b>5</b>  | 2x9100-04 SmartMeter<br>2x9100-04 SmartMeter   | <b>12</b> | 1100-23 Potentiometer module<br>1100-23 Potentiometermodul                                |
| <b>2</b> | 1600-02 Capacitor module 5.0F/5.4V<br>1600-02 Kondensatormodul 5.0F/5.4V | <b>6</b>  | 1400-12 leXsolar-Wind rotor set<br>1400-12 leXsolar-Windrotoren  | <b>13</b> | 1400-22 Wind turbine module with <b>15</b><br>1400-22 Windturbinenmodul mit <b>15</b>     |
| <b>3</b> | 2x1100-26 Light bulb module<br>2x1100-26 Glühlampenmodul                 | <b>7</b>  | 1118-17 Base for solar panel<br>1118-17 Standfuß Solarmodul  | <b>14</b> | L2-06-067 Reversible Fuel cell Pro<br>L2-06-067 Reversible Brennstoffzelle Pro            |
| <b>4</b> | 2x1600-01 Power grid module<br>2x1600-01 Stromnetzmodul                  | <b>8</b>  | 1100-21 Diode module<br>1100-21 Diodenmodul  | <b>15</b> | Wind turbine with <b>13</b><br>Windturbine mit <b>13</b>                                  |
|          |  | <b>9</b>  | L2-06-014 Test lead black<br>L2-06-014 Messleitung schwarz   | <b>16</b> | Battery adapter for <b>17</b><br>Akku-Adapter für <b>17</b>                               |
|          |  | <b>10</b> | 4x/6xL2-06-012/013 Test leads black/red<br>4x/6xL2-06-012/013 Messleitung schw./rot                                  | <b>17</b> | 1801-02 Electric model car with <b>16</b><br>1801-02 Elektro-Modellfahrzeug mit <b>16</b> |
|          |  | <b>11</b> | 1100-27 Motor module<br>1100-27 Motor module<br>L2-02-017 Yellow propeller<br>L2-02-017 Luftschaube (Propeller) gelb | <b>18</b> | L2-04-116 Illuminant 120W<br>L2-04-116 Leuchtmittel 120W                                  |
|          |  |           |  | <b>19</b> | L2-04-080 Lamp housing<br>L2-04-080 Lampengehäuse   |
|          |  |           |  |           | L3-03-016 leXsolar-CD<br>L3-03-016 leXsolar-CD  |

 Version number  
Versionsnummer

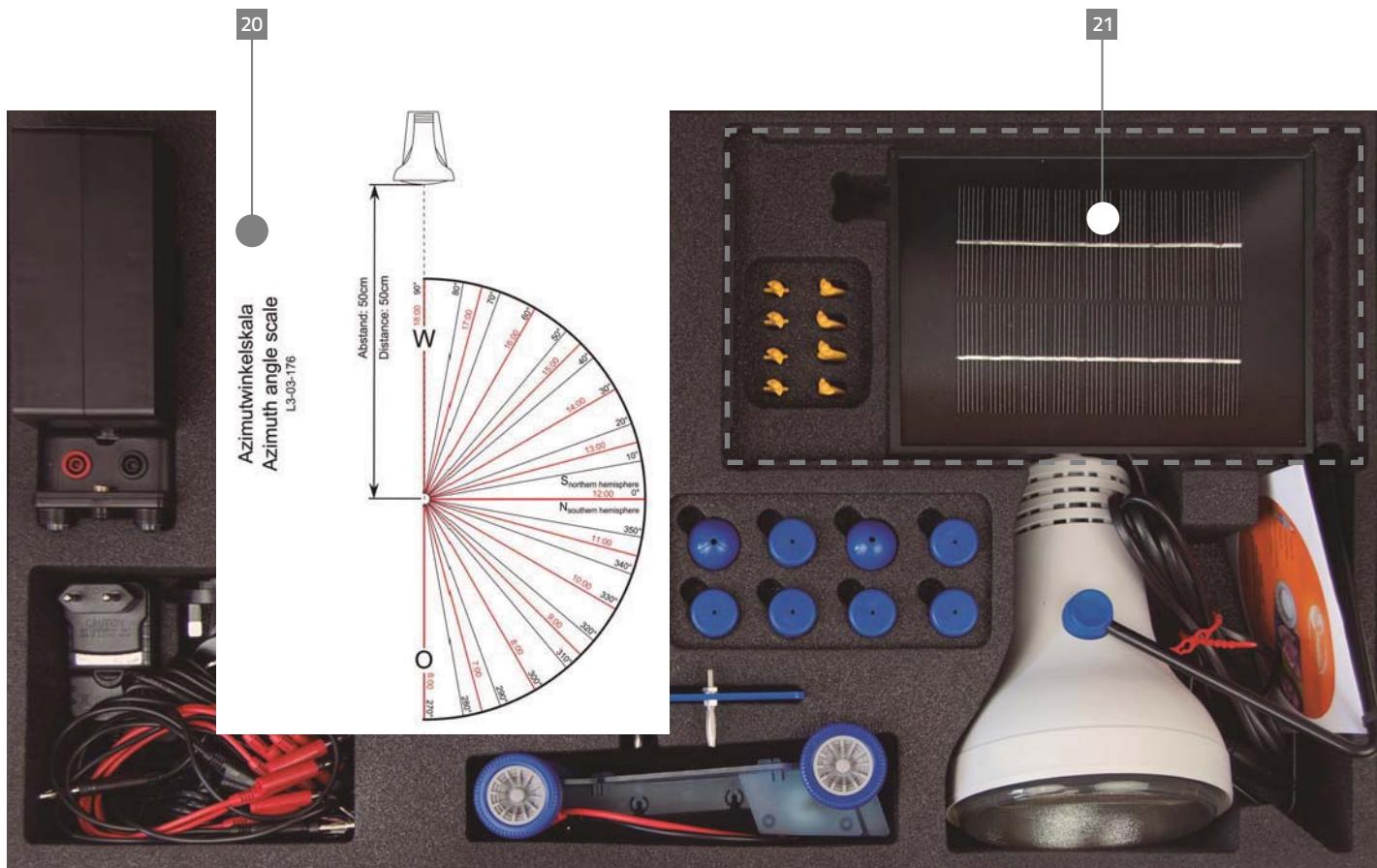
L3-03-169\_24.09.2014

## Layout diagram leXsolar-SmartGrid Ready-to-go

Item-No.1605

## Bestückungsplan leXsolar-SmartGrid Ready-to-go

Art.-Nr.1605



- 20 L3-03-176 Azimuth angle scale  
L3-03-176 Azimutwinkelskala
- 21 1100-04 Solar panel 5.22 V, 380 mA  
1100-04 Solarmodul 5.22 V, 380 mA
- 22 9100-03 AV-Module  
9100-03 AV-Modul
- 23 2x9100-05 PowerModule  
2x9100-05 PowerModul
- 24 1100-19 leXsolar-Base unit  
1100-19 leXsolar-Grundeinheit groß

# leXsolar - SmartGrid Ready-to-go

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1: Grundlagen und theoretische Einführung .....	2
1.1 Die Geschichte der Energiewende .....	2
1.2 Die Beweggründe für den Einsatz eines Smart Grids .....	3
1.2.1 Die unsichere Energieerzeugung von erneuerbaren Energiequellen .....	4
1.2.2 Die Entstehung von Netzüberlastungen durch eine dezentrale und bidirektionale Netzversorgung .....	5
1.2.3 Die Lösungsansätze .....	7
1.3 Die Zusammensetzung einzelner Lösungsansätze zu einem Smart Grid .....	11
1.3.1 Die Anpassung von Last und Erzeugung durch den Aufbau virtueller Kraftwerke .....	11
1.3.2 Die Anpassung von Last und Erzeugung durch die Einbindung privater Haushalte .....	12
1.3.3 Die Steuerung der Netzbelastung im Höchst- und Hochspannungsnetz durch intelligentes Engpassmanagement .....	12
1.3.4 Die Steuerung der Spannung und der Netzbelastung im Mittel- und Niederspannungsnetz durch intelligente Ortsnetzstationen .....	13
Kapitel 2: Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte .....	14
Kapitel 3 Musterlösungen der Experimente .....	25
<b>1. Grundlagenversuche zur Photovoltaik .....</b>	26
1.1 U-I-Kennlinie des Solarmoduls .....	27
1.2 Die I-U Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke .....	30
1.3 Die I-U Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Temperatur .....	33
<b>2. Grundlagenversuche zur Windkraft .....</b>	36
2.1 Abhängigkeit der Leistung von der Form der Flügel und dem Anstellwinkel .....	38
2.2 Abhängigkeit der Leistung von Zwei-, Drei- und Vierblatttrotoren .....	41
2.3 Abhängigkeit der Leistung von der Windrichtung .....	45
<b>3. Grundlagenversuche zu Energiespeichersystemen .....</b>	48
3.1 U-I-Kennlinie eines Elektrolyseurs .....	49
3.2 Verhalten der Spannung und Stromstärke während des Ladevorgangs eines Elektrolyseurs .....	52
3.3 I-U-Kennlinie einer Brennstoffzelle .....	54
3.4 Entladekurven einer Brennstoffzelle .....	57
3.5 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Aufladen .....	61
3.6 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Entladen .....	64
3.7 Betrieb des Elektroautos mit dem Kondensator und der Brennstoffzelle .....	68
<b>4.1 Die Leistungsschwankungen einer Photovoltaikanlage .....</b>	71
4.2 Die Leistungsschwankungen einer Windkraftanlage .....	77
4.3 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk .....	82
4.4 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk und eine Photovoltaikanlage .....	87
4.5 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk, eine Photovoltaikanlage und einen Energiespeicher (Kondensator) .....	93
4.6 Spannungsverhalten in einem herkömmlichen Strahlennetz .....	97
4.7 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage .....	103
4.8 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage in Abhängigkeit vom Verbrauch .....	107
4.9 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage in Abhängigkeit von der Länge des Leiters .....	109
4.10 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und einer intelligenten Ortsnetzstation .....	112
4.11 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Energiespeicher (reversible Brennstoffzelle/ E-Mobility) .....	115
4.12 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Lastmanagement .....	119
4.13 Leiterseilmonitoring .....	122
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	125

# Kapitel 1: Grundlagen und theoretische Einführung

## 1.1 Die Geschichte der Energiewende

Am 1. Januar 1991 kam es mit der Verabschiedung des Stromeinspeisegesetzes zu einem denkwürdigen Ereignis im deutschen Bundestag. Durch das Gesetz wurden die Elektrizitätsnetzbetreiber dazu verpflichtet, den in ihrem Gebiet erzeugten Strom aus erneuerbaren Energien abzunehmen und den Besitzern der regenerativen Energiequellen einen Mindestpreis für ihren Strom zu bezahlen.<sup>1</sup> Damit wurde die erste gesetzliche Grundlage zur Energiewende verabschiedet und der Beginn eines rasanten Aufstiegs der erneuerbaren Energien eingeläutet.

Die Ursachen für die Einführung des Gesetzes waren die zunehmende Bedeutung des Umwelt- und Klimaschutzes in den 1970ern und 80ern und der Wunsch nach einer höheren Versorgungssicherheit in der Bevölkerung. Infolge des Auftretens und der zunehmenden Vergrößerung des Ozonlochs, des Beginns des Waldsterbens und der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl kam es in den 1980ern immer wieder zu intensiven Umweltschutzdebatten in der Öffentlichkeit. Zeitgleich machten die Ölrisiken von 1973 und 1979/80 der Wirtschaft und der Politik bewusst, welche Folgen ihre Abhängigkeit vom Erdöl für die Energieversorgung hatte. So kam es insbesondere in diesen Jahren vermehrt zu Betriebsausfällen, die letztlich zu Kurzarbeit, Arbeitslosigkeit und Insolvenz von Unternehmen führten. So sah sich die Politik durch eine breite Unterstützung aus der Bevölkerung und der Wirtschaft zu Investitionen in den Umweltschutz, den Ausbau der Kern- und Kohleenergieerzeugung und zur Förderung regenerativer Energiequellen veranlasst.

Mit der Einführung des Gesetzes kam es zu einem unerwarteten Aufschwung der Windenergie in Deutschland. Bis dahin waren die einzigen nennenswerten, alternativen Energiequellen Wasserkraftanlagen mit einem Anteil am Bruttostromverbrauch von 3,1 % (17.426 GWh) und Biogasanlagen mit 0,3 % (1435 GWh). Der Anteil am Bruttostromverbrauch stieg bis zum Jahr 2000 für Wasserkraftanlagen auf 3,7 % (21.732 GWh), für Biogasanlagen auf 0,8 % (4.731 GWh) und für Windkraftanlagen von 0,01 % (71 GWh) auf 1,6 % (9.513 GWh). Andere alternative Energiequellen blieben zunächst bedeutungslos.<sup>2</sup>

Am 1. April 2000 erweiterte das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) die bisherigen gesetzlichen Bestimmungen. So wurden die Vergütungssätze differenzierter gestaltet und Unterschiede zwischen den Arten der Energiequellen, Größe der Anlagen und Windstandort festgelegt. Diese Vergütung wurde auf eine Laufzeit von 20 Jahren festgelegt, um die Planungssicherheit für Anlagenbetreiber zu erhöhen. Des Weiteren wurden weitere Technologien, wie Geothermieanlagen und Grubengasanlagen mit in die Gesetzeslage einbezogen. Zur Förderung der Weiterentwicklung erneuerbarer Energien wurde eine jährliche Degression der Vergütungssätze eingeführt, die zwischen 1 % und 5 % liegen sollte. Die Finanzierung dieser Vergütung erfolgt über eine Umlage auf die Stromrechnung aller Verbraucher.

Das Gesetz führte zu einem neuen Schub für den Ausbau etablierter, erneuerbarer Energietechniken und zur vermehrten Nutzung neuer Technologien, wie Photovoltaikanlagen und Offshore-Windparks. Die jährliche Energiegewinnung von Wind-, Wasser- und Biogasanlagen stieg bis 2013 auf 52.430 GWh, 21.220 GWh bzw. 47.900 GWh an. Die jährlich erzeugte Energie von Photovoltaikanlagen stieg bis 2013 um einen Faktor 500 von 60 GWh auf 30.000 GWh und steht damit inzwischen auf Platz 3 der wichtigsten, alternativen Energielieferanten. Die Inbetriebnahme von Offshore-Windparks begann erst ab 2009 und erreichte bis 2013 970 GWh.<sup>3</sup>

Beeinflusst wurden diese Entwicklungen durch Gesetzesanpassungen in den Jahren 2004, 2009 und 2012, die auf die aktuellen Fehlentwicklungen reagierten und die Effektivität des Gesetzes steigern, sowie die Kosten für die Energieverbraucher senken sollten. Beeinflusst wurden die Gesetzesänderungen einerseits durch Kosteneinsparungen im Ausbau, die im Vergleich zu den ursprünglichen Annahmen zu einem wesentlich schnelleren Wachstum der Kapazitäten und damit auch der Umlage führten. Andererseits ließ auch der gesellschaftliche Druck für mehr Weitsicht in der Energiepolitik nicht nach, weil die Endlichkeit von fossilen Brennstoffen im Laufe der Jahre immer

<sup>1</sup> <http://archiv.jura.uni-saarland.de/BGBI/TEIL1/1990/19902633.1.HTML>

<sup>2</sup> [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/agee-stat-grafiken-und-tabellen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-im-jahr-2013-deutsch.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/agee-stat-grafiken-und-tabellen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-im-jahr-2013-deutsch.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

<sup>3</sup> [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/agee-stat-grafiken-und-tabellen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-im-jahr-2013-deutsch.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/agee-stat-grafiken-und-tabellen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-im-jahr-2013-deutsch.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

mehr ins Bewusstsein rückte. Vor allem der endgültige Atomausstieg nach der Fukushima-Katastrophe beeinflusste die Politik sehr stark. Wichtige Änderungen am EEG waren:

2004:

- Reduzierung der Förderung von Windkraftanlagen
- Umsetzung von EU-Richtlinien zur Förderung von Strom aus erneuerbaren Energien im Elektrizitätsbinnenmarkt
- bessere juristische Stellung von Anlagenbetreibern gegenüber den Netzbetreibern<sup>4</sup>

2009:

- das Ziel eines Anteil von 35 % der Erneuerbaren am Energiemix bis 2020 wird ausgegeben
- Erlaubnis für Netzbetreiber in die Leistung der Anlagen einzutreten, um Netzstörungen zu verhindern
- Definierung des Begriffs Anlage, um einen weiteren Missbrauch der Einspeisevergütung durch die Aufteilung einer großen Anlage in viele kleine Anlagen zu verhindern
- Kürzung der Vergütung für Photovoltaikanlagen<sup>5</sup>

2012:

- vereinzelte Erhöhung der Degressionssätze (Windkraftanlagen an Land: von 1 % auf 1,5 %, Offshore-Anlagen, von 5 % auf 7 %)

Von 1991 bis heute hat das EEG mit seinem Vorläufer die Entwicklung erneuerbarer Energiequellen sehr stark gefördert. Die Internationale Energieagentur bezeichnete das EEG „als sehr wirksames Instrument zur Verbreitung der erneuerbaren Energien und insbesondere der Stromerzeugung durch Biomasse, Windenergie und Photovoltaik.“<sup>6</sup> Von 1990 stieg der Anteil am Bruttostromverbrauch von 3,4 % auf 25,4 % im Jahr 2013 an. In absoluten Zahlen bedeutet dies eine Steigerung von 18.900 GWh im Jahr 1990 auf 152.560 GWh im Jahr 2013.

In Zukunft soll sich dieser Anteil noch weiter erhöhen. Bis zum Jahr 2025 soll er zwischen 40 % und 45 % liegen und bis 2035 Werte von 60 % erreichen.<sup>7</sup>

Nichtsdestotrotz ist das EEG auch umstritten, weil es einen sehr starken Eingriff in den Markt darstellt, der zu Wettbewerbsverzerrungen führt. Kritisiert wird insbesondere, dass das EEG eine Wirtschaftsförderung der chinesischen Photovoltaik-Industrie auf Kosten deutscher Stromverbraucher sei, da heute ein Großteil der in Deutschland installierten Photovoltaikmodule aus chinesischer Produktion stammt.

## 1.2 Die Beweggründe für den Einsatz eines Smart Grids

Um die Energiewende zu schaffen, ist allerdings mehr notwendig als die Leistung fossiler Kraftwerke nach und nach durch Erneuerbare zu ersetzen. Mit dem zunehmenden Anteil von Windkraft-, Wasserkraft-, Biogas-, und Solaranlagen werden zwei Probleme in der Umsetzung deutlicher, ohne deren Lösung die Energiewende nicht gelingen kann. Zum einen ist dies die volatile Energieerzeugung von alternativen Energiequellen und zum anderen die Entstehung von Netzüberlastungen durch die dezentrale Einspeisung und das Auftreten von bidirektionalen Versorgungssituationen in ländlichen Gebieten. In beiden Fällen müssen neue „smarte“ Komponenten in das Netz integriert werden, wie Speichermedien und intelligente Ortsnetzstationen. Sie können allerdings nur auf der Basis von Informationen über Netzzustände sinnvoll arbeiten, die heute in dem Umfang noch nicht vorhanden sind. Die Einfügung neuer Komponenten, die Aufnahme, Weiterleitung und Auswertung von Daten, sowie das durch Computer automatisierte Treffen und Ausführen von Entscheidungen, sind die grundlegenden Eigenschaften eines Smart Grids.

Die Herausforderungen an die Netzbetreiber bei steigendem Anteil erneuerbarer Energien soll in den folgenden Unterabschnitten erläutert werden.

<sup>4</sup> [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/private/active/0/eeg04\\_061107.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/private/active/0/eeg04_061107.pdf)

<sup>5</sup> [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/EEG\\_2009\\_juris\\_Stand\\_110721.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/EEG_2009_juris_Stand_110721.pdf)

<sup>6</sup> <http://www.iea.org/media/executivesummaries/GermanyExecSumDEUTSCH.pdf>

<sup>7</sup> [http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Energieversorgung/ErneuerbareEnergien-Zeitalter/\\_node.html](http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Energieversorgung/ErneuerbareEnergien-Zeitalter/_node.html)



## 1. Grundlagenversuche zur Photovoltaik

### Ziele

#### Experiment 1.1: Die U-I-Kennlinie des Solarmoduls

- Die Schüler messen und zeichnen die U-I-Kennlinie und U-P-Kennlinie des Solarmoduls.
- Die Schüler beschreiben die U-I-Kennlinie und U-P-Kennlinie.
- Die Schüler interpretieren den Schnittpunkt zwischen der U-I-Kennlinie des Solarmoduls und eines Widerstands als Arbeitspunkt.
- Die Schüler erkennen und erklären, dass die Leistung und die Spannung des Solarmoduls abhängig vom angeschlossenen Widerstand ist.
- Die Schüler berechnen den Innenwiderstand des Solarmoduls am MPP bei Normaltemperatur.

#### Experiment 1.2: Die U-I-Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

- Die Schüler messen und zeichnen die U-I- und die U-P-Kennlinie.
- Die Schüler vergleichen die Spannung, die Stromstärke und die Leistungsabgabe bei einem gleichen Widerstand und unterschiedlicher Bestrahlung mit den Messergebnissen aus Experiment 1.1.

#### Experiment 1.3: Die U-I-Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Temperatur

- Die Schüler messen und zeichnen die U-I- und die U-P-Kennlinie
- Die Schüler vergleichen die Spannung, die Stromstärke und die Leistungsabgabe bei einem gleichen Widerstand und höherer Temperatur mit den Messergebnissen aus Experiment 1.1.

### Vorwissen

- Die Schüler wissen, dass eine Solarzelle Sonnenenergie in elektrische Energie umwandelt.
- Die Schüler wissen, dass die Leistung das Produkt aus Spannung und Stromstärke ist.
- Die Schüler kennen die grafische Interpretation des Ohm'schen Gesetzes.

### Experimentier- und Auswertungshinweise

- Die 3 Versuche zur U-I-Kennlinie in Abhängigkeit von der Temperatur und der Beleuchtungsstärke sollten mit der selben Versuchsanordnung erfolgen. Eine Rekonstruktion der gleichen Versuchsanordnung ist sehr aufwendig, da bereits geringe Veränderungen des Einstrahlungswinkels der Lampe zu großen Veränderungen der U-I-Kennlinie führen können. Empfehlenswert wäre es, die 3 Versuche hintereinander durchzuführen. Ansonsten könnten die Schüler beim Vergleich der Werte zu falschen Schlussfolgerungen gelangen.
- In der Auswertung bietet es sich an, auf die Ähnlichkeit zwischen Solarmodul- und Diodekennlinie hinzuweisen, die sich aus dem Aufbau beider Bauelemente aus einem p/n-Übergang ergibt.
- Den Schülern sollte mitgeteilt werden, dass reale Solaranlagen einen MPP-Tracker besitzen, der dafür sorgt, dass diese immer ihre maximale Leistung abgeben.
- Der Innenwiderstand des verwendeten leXsolar-Solarmoduls am MPP beträgt je nach Temperatur zwischen  $30\ \Omega$  und  $40\ \Omega$ . Für die Smart-Grid Experimente gilt, dass die angeschlossenen Verbraucher einen geringeren Widerstand aufweisen, d.h. der Arbeitspunkt des Solarmoduls i.d.R. links vom MPP (bei geringeren Spannungen) liegt.
- Um die U-I-Kennlinie aufzunehmen, sollten keine festen Spannungen oder Stromstärken vorgegeben werden, da es schwierig ist, diese mit dem Potentiometer einzustellen und der zunehmende Temperaturanstieg die Messwerte verfälscht.
- Natürliches Sonnenlicht ist eine weitere Messunsicherheit. Die Beispieldaten in diesem Lehrerheft wurden in einem mit Jalousien abgedunkelten Raum aufgenommen.
- Für weitere theoretische Hintergründe und physikalische Grundlagenexperimente zum Thema Photovoltaik nutzen Sie das auf der leXsolar-CD vorhandene Lehrerheft Photovoltaik, dass Sie beispielsweise über das Produkt leXsolar-PV Ready-to-go erreichen.

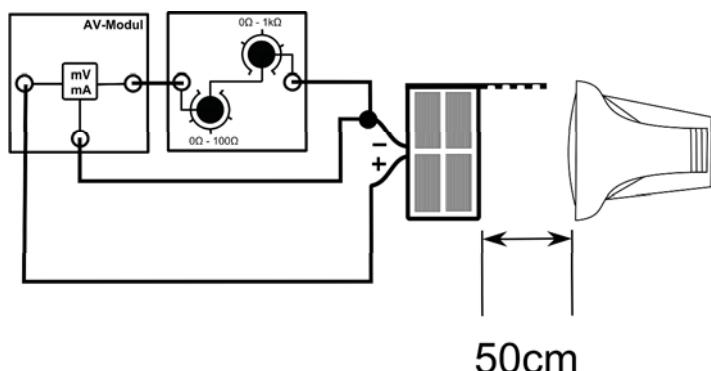


## 1.1 U-I-Kennlinie des Solarmoduls

### Aufgabe

Nimm die U-I-Kennlinie des Solarmoduls auf.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Lampe
- Solarmodul
- AV-Modul
- Potentiometer
- Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stelle das Potentiometer auf den maximalen Widerstand. Stelle das Solarmodul senkrecht zur Tischplatte und frontal zur Lampe auf, sodass es vollständig beschienen werden kann. Die Lampe soll parallel zur Tischplatte ausgerichtet werden.
2. Schalte die Lampe ein und verändere den Widerstand am Potentiometer um verschiedene Spannungen am Solarmodul zu erzeugen. Verringere zunächst den  $1\text{ k}\Omega$ -Drehwiderstand und danach den  $100\text{ }\Omega$ -Widerstand. Miss zu jeder Spannung die Stromstärke. Um sinnvolle Messwerte zu erhalten, solltest du einen Messwert immer dann aufnehmen, wenn sich die Stromstärke um etwa  $20\text{ mA}$  erhöht oder sich die Spannung um etwa  $0,5\text{ V}$  gegenüber dem vorherigen Messwert verringert hat. Versuche nicht, bestimmte vorgegebene Werte für Spannung oder Stromstärke einzustellen, da dies die Regelgenauigkeit des Potentiometers nicht zulässt.
3. Berechne die Leistung des Solarmoduls für jeden Messpunkt.

### Messwerte

U in V	5,2	5,1	5	4,9	4,8	4,7	4,6	4,4	4,1	
I in mA	4,3	21	38,7	59,9	81,5	101,5	121,2	140,7	149,7	
P in mW	22,4	107,1	193,5	293,5	391,2	477,1	557,5	619,1	613,8	

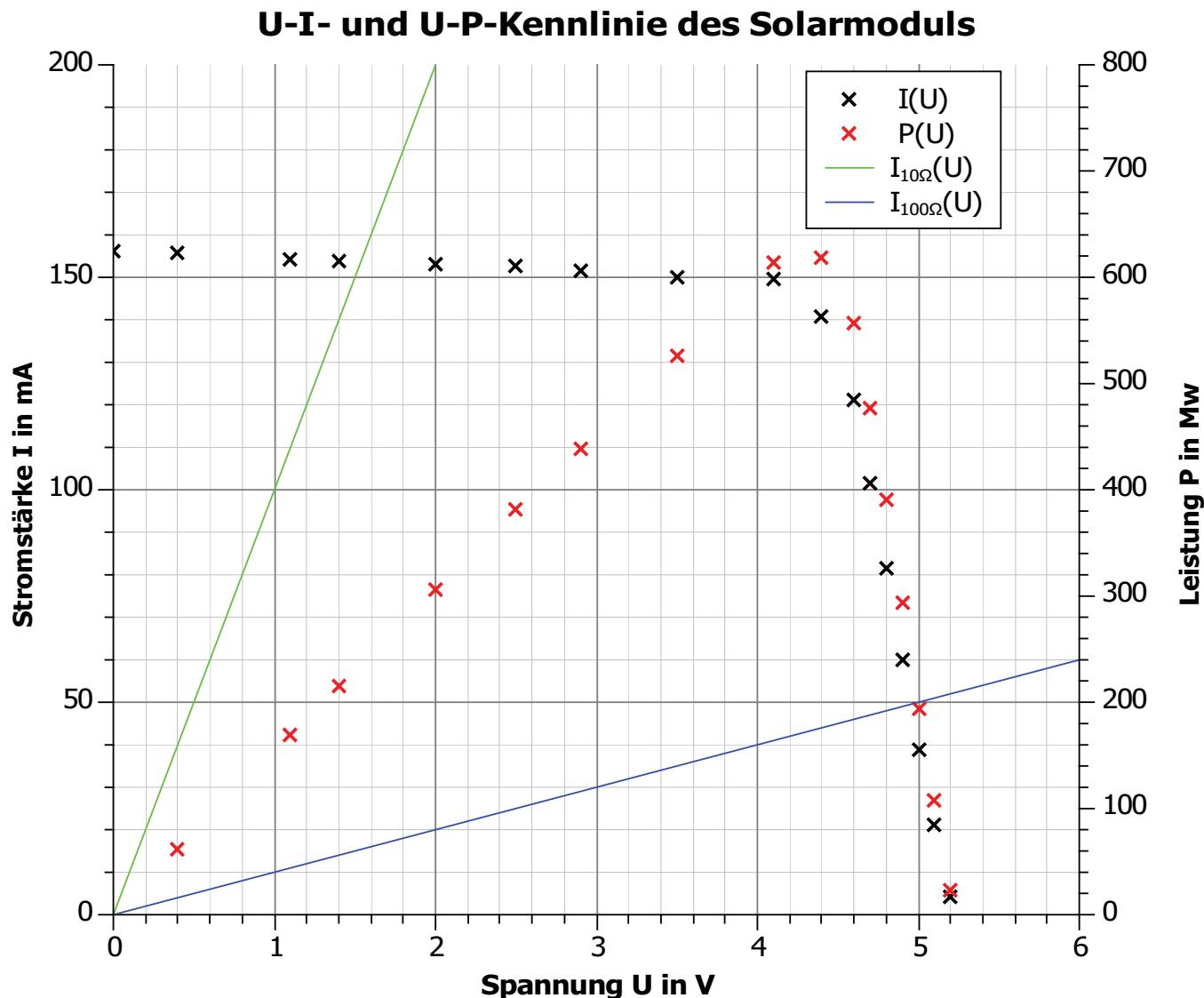
U in V	3,5	2,9	2,5	2	1,4	1,1	0,4	0		
I in mA	150,1	151,4	152,6	152,9	153,8	154,1	155,7	156,3		
P in mW	525,4	439,1	381,5	305,8	215,3	169,5	62,3	0		



## 1.1 U-I-Kennlinie des Solarmoduls

### Auswertung

- Trage deine Messwerte in das U-I- und das U-P-Diagramm und zeichne den zugehörigen Graphen.



- Beschreibe den Verlauf des Graphen

Zwischen 0V und 4V ist die Stromstärke relativ konstant bei 150mA. Ab ca. 4V sinkt die Stromstärke immer schneller bis sie bei rund 5,2V auf 0mA zurückgeht. Die Leistung ist ebenfalls von der Spannung abhängig. Die höchste Leistung wird bei einer Spannung von ungefähr 4,3 V erreicht und liegt bei 610 mW. Die kleinsten Leistungen liegen bei 0 V und 5 V und betragen 0 mW. Im Intervall [0 V;4 V] steigt die Leistung und im Intervall [4 V;5 V] sinkt die Leistung.



## 1.1 U-I-Kennlinie des Solarmoduls

3. Zeichne die U-I-Kennlinie eines  $10\ \Omega$ - und  $100\ \Omega$ -Widerstands. Erläutere die Bedeutung der Schnittpunkte der Solarmodul-Kennlinie mit den jeweiligen Widerstandskennlinien.

Der Schnittpunkt der beiden Graphen gibt die Spannung und die Stromstärke wieder, die das Solarmodul an den Widerstand abgibt.

4. Bewerte die Spannung und die Leistungsabgabe des Solarmoduls in Hinblick auf das Anschließen eines Verbrauchers.

Je nach Widerstand des Verbrauchers wird eine andere Spannung an ihn angelegt und eine andere Leistung an ihn abgegeben. Das Solarmodul ist damit weder eine Spannungsquelle, die an jeden Verbraucher die gleiche Spannung anlegt, noch eine Leistungsquelle, die an jeden Verbraucher die gleiche Leistung abgibt.

5. Berechne den Widerstand, an dem das Solarmodul die größte Leistung abgibt.

Der MPP besitzt eine Spannung von etwa  $U=4,4\text{ V}$  und eine Stromstärke von etwa  $140,7\text{ mA}$ . Somit gilt für den Widerstand, an den das Solarmodul die maximale Leistung abgibt:

$$R_{MPP} = \frac{U}{I} = \frac{4,4V}{0,14mA} \approx 31\Omega. \text{ Dies ist gleichzeitig der Innenwiderstand des Solarmoduls am MPP.}$$



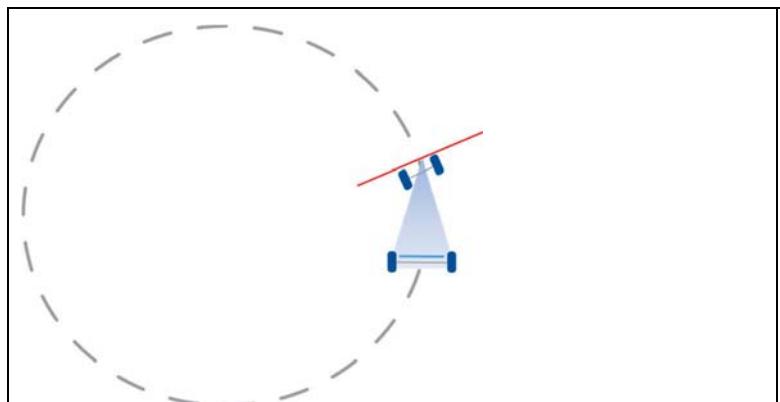
### 3.7 Betrieb des Elektroautos mit dem Kondensator und der Brennstoffzelle

#### Aufbau

Beobachte das Fahrverhalten des Autos.

#### Aufbau

#### Benötigte Geräte

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektroauto mit Modulplatte</li> <li>• PowerModul</li> <li>• Kondensatormodul</li> <li>• Reversible Brennstoffzelle</li> <li>• Kabel</li> <li>• Uhren</li> </ul>
--	---

#### Durchführung

1. Zum Aufladen werden der Kondensator und die Brennstoffzelle direkt an das PowerModul angeschlossen.
2. Lade den Kondensator bis zu einer Spannung von 3 V auf. Erhöhe dazu alle 10 s die Spannung am Powermodul um 0,5 V und verbleibe für 30 s bei einer Spannung von 3 V.
3. Lade die reversible Brennstoffzelle bei einer Spannung von 2 V so lange auf, bis Wasserstoff aus dem Tank entweicht.
4. Miss die Zeit, die das Auto mit dem Kondensator und der reversiblen Brennstoffzelle für 2, (4, 6, 8, 10, ...) Runden benötigt.
5. Berechne die Zeit  $\Delta t$  für die vergangenen 2 Runden.

#### Messwerte

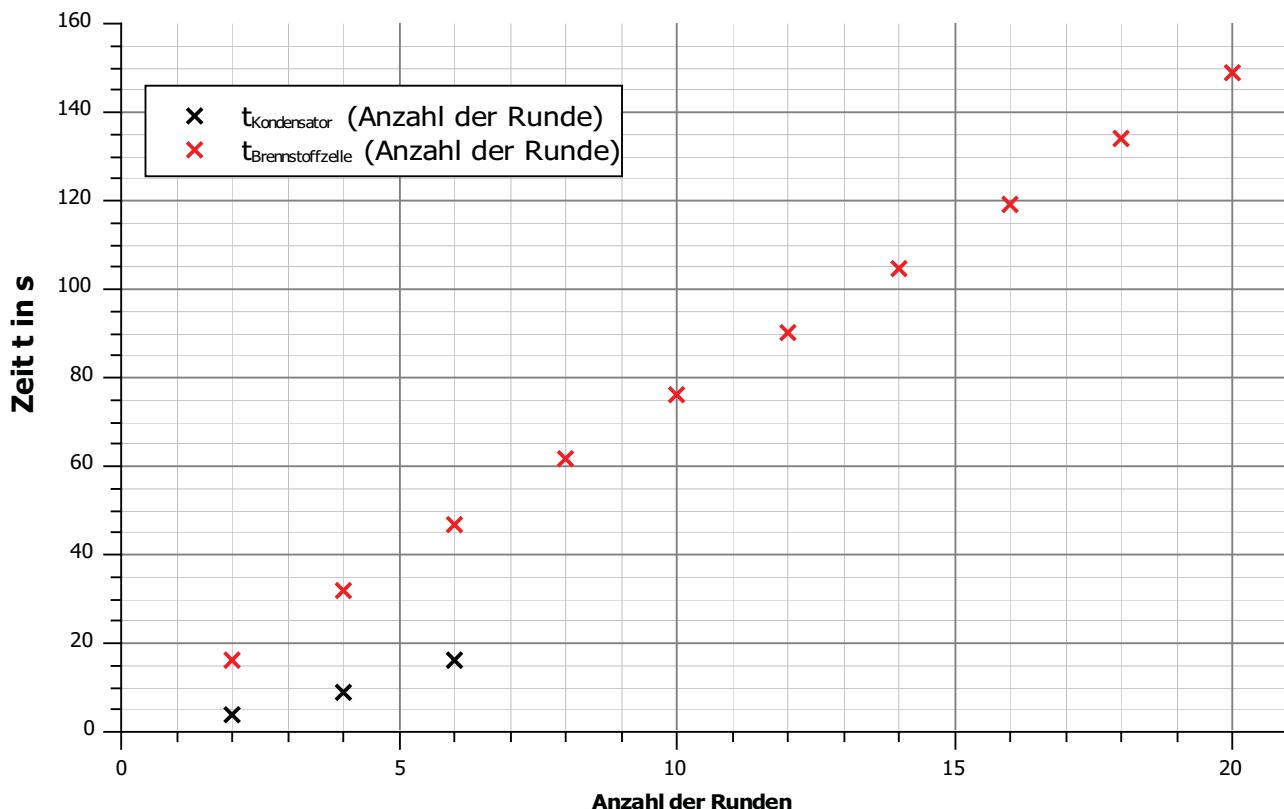
Anzahl der Runden	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$t_{\text{Kondensator}} \text{ in s}$	4	9	16	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta t_{\text{Kondensator}} \text{ in s}$	4	5	7	-	-	-	-	-	-	-
$t_{\text{Brennstoffzelle}} \text{ in s}$	16,1	31,8	46,8	61,6	76,1	90,4	104,8	119,3	134	148,9
$\Delta t_{\text{Brennstoffzelle}} \text{ in s}$	16,1	15,7	15	14,8	14,5	14,3	14,4	14,5	14,7	14,9



### 3.7 Betrieb des Elektroautos mit dem Kondensator und der Brennstoffzelle

#### Auswertung

- Trage deine Messwerte in das Anzahl der Runden-Zeit-Diagramm ein.



- Beschreibe die Bewegung der Fahrzeuge mit Hilfe deiner Beobachtungen und des Diagramms.

Mit dem Kondensator ist das Fahrzeug zu Beginn der Bewegung schneller gefahren als mit der Brennstoffzelle. Dies bestätigen die Messwerte, da das Fahrzeug in den ersten sechs Runden pro Runde weniger Zeit benötigte.

Die Geschwindigkeit des „Kondensator-Fahrzeugs“ nahm mit der Zeit allerdings ab. Für die ersten zwei Runden benötigte es 4 s, für die nächsten zwei 5 s, und für die letzten zwei 7 s. Die Geschwindigkeit des „Brennstoffzellenfahrzeugs“ blieb hingegen annähernd konstant bei 15 s. Dies erkennt man auch daran, dass die Messpunkte auf einer Linie liegen.

Mit der Brennstoffzelle als Antrieb ist das Fahrzeug länger gefahren als mit dem Kondensator. Dies hängt allerdings mit der Speicherkapazität der beiden Antriebsarten zusammen und gibt keine Rückschlüsse darauf, dass brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge länger fahren als Kondensatorbetriebene.

- Ziehe Rückschlüsse auf die Eigenschaften der Spannung, die die Kondensatoren und die Brennstoffzellen an den Motor anlegen.

Für den Kondensator war zu beobachten, dass die Geschwindigkeit immer weiter abnahm, je länger das Fahrzeug fuhr. Da eine geringere Spannung eine geringere Geschwindigkeit bedeutet, kann man darauf schließen, dass die Spannung des Kondensators abnahm.

Für die Brennstoffzelle war zu beobachten, dass die Geschwindigkeit annähernd konstant aber geringer war. Damit legt die Brennstoffzelle eine konstante Spannung an den Motor an, die allerdings geringer als die anfängliche Spannung des Kondensators ist.



## 4.13 Leiterseilmonitoring

### Ziele

- Die Schüler messen die Spannung und die Stromstärke über dem Stromnetzmodul bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten.
- Die Schüler berechnen die Leistungsabgabe und den Widerstand des Stromnetzmoduls.
- Die Schüler interpretieren die Messergebnisse als Temperaturerhöhung infolge des hohen Stromflusses innerhalb des Stromnetzmoduls.
- Die Schüler überprüfen ihre Interpretation durch ein qualitatives Experiment.
- Die Schüler benennen weitere Faktoren, die die Leiterseittemperatur erhöhen.
- Die Schüler erläutern die Auswirkungen der Temperaturerhöhungen.

### Vorwissen

- Die Schüler können das Ohm'sche Gesetz anwenden.
- Die Schüler wissen, dass die Leistung innerhalb eines Leiters in Wärme umgewandelt wird.
- Die Schüler wissen, dass der Stromfluss für die Erwärmung verantwortlich ist.
- Die Schüler wissen, dass sich Metalle durch Erwärmung ausdehnen und stärker belastet werden.

### Vorwissen

- Experiment 4.2: Leistungsschwankungen einer Windkraftanlage

### Experimentier- und Auswertungshinweise

- Das Experiment simuliert den Fall, dass die Windparks im Norden ein Lastzentrum versorgen.
- Dieses Experiment eignet sich für die Thematik Netzausbau und Auswirkungen des Auseinanderdriftens von Erzeuger- und Lastzentren.
- Die Überprüfung der Erwärmung des Leiters, findet im Experiment qualitativ statt. Die quantitative Ermittlung ist nur mit einem Temperatursensor möglich, da die Wärmeabgabe zu gering für gewöhnliche Laborthermometer ist.
- Das Solarmodul ist für diesen Versuch ungeeignet, da seine Stromstärke zu groß für die PTC-Sicherung ist.

Der Widerstand der PTC-Sicherung ist von der Umgebungstemperatur abhängig. Der Versuch funktioniert am besten, je größer die Raumtemperatur ist.

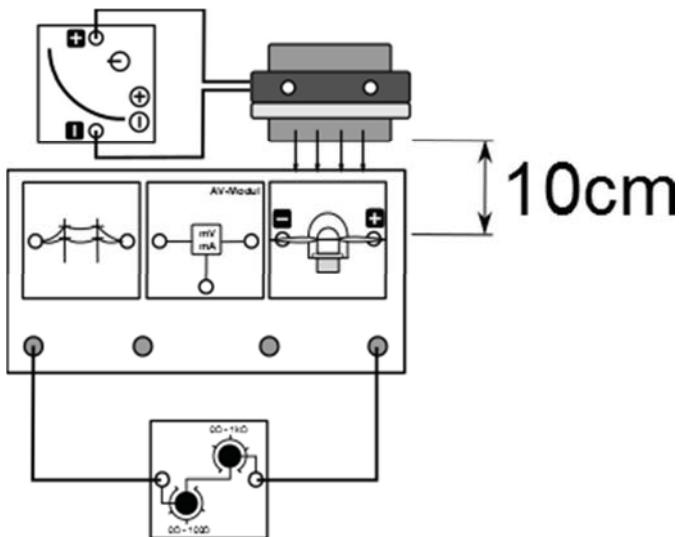


## 4.13 Leiterseilmonitoring

### Aufgabe

Miss die Spannung und die Stromstärke die über dem Stromnetz abfällt.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Powermodul
- Winderzeuger
- Windgenerator
- Optimiertes Flügelprofil 25° 4-Flügler
- AV-Modul
- Stromnetzmodul
- Potentiometermodul
- Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Platziere den Winderzeuger im Abstand von 5 cm zu den Flügeln und stelle die Flügel frontal in den Wind. Stelle das Potentiometer auf den minimalen Widerstand, um einen hohen Strombedarf zu simulieren.
2. Schalte das Powermodul bei einer Spannung von 6 V ein. Miss die Spannung und die Stromstärke am Stromnetzmodul nach 30 s und nach 60 s. Erhöhe die Spannung um 1 V.
3. Wiederhole diesen Schritt solange, bis du die Spannung am Powermodul 12 V erreichst.
4. Berechne den Widerstand des Stromnetzmoduls und die Leistung, die im Stromnetzmodul verbraucht wird.

### Messwerte

$U_{Power}$ in V	6		7		8		9	
$v_{wind}$ in $\frac{m}{s}$	4,3		5,1		5,8		6,4	
	30 s	1 min	30 s	1 min	30 s	1 min	30 s	1 min
$U_{Netz}$ in mV	38	37	245	248	317	320	380	380
$I_{Netz}$ in mA	12,4	12,7	83,5	82,2	105,5	105,2	123,7	122,9
P in mW	0,47	0,47	20,46	20,39	33,44	33,66	47,01	46,7
R in $\Omega$	3,06	2,91	2,93	3,02	3	3,04	3,07	3,09



## 4.13 Leiterseilmonitoring

$U_{Power}$ in V	10		11		12	
$v_{wind}$ in $\frac{m}{s}$	7		7,5		8	
	30 s	1 min	30 s	1 min	30 s	1 min
$U_{Netz}$ in mV	444	451	494	496	513	517
$I_{Netz}$ in mA	138	138,1	148,2	148,7	150	151,5
P in mW	61,27	62,28	73,21	73,76	76,95	78,33
R in $\Omega$	3,22	3,27	3,33	3,34	3,42	3,41

### Auswertung

1. Beschreibe und Begründe das Verhalten der Widerstandswerte des Leiters mit Hilfe deiner Messwerte.

Der Widerstand eines Leiters verändert sich nur aufgrund einer Temperaturerhöhung. Die Temperaturerhöhung kann durch die Messwerte der Stromstärke und Leistung bestätigt werden.

Da die Temperaturerhöhung sich durch den elektrischen Stromfluss erhöht, muss die Stromstärke steigen, je größer der Widerstand ist. Diesen Fall können die Messwerte bestätigen.

Eine Temperaturerhöhung bedeutet ebenfalls, dass eine größere Wärmeabgabe an die Umgebung erfolgt. Da Leiter ihre Leistung in Form von Wärme abgeben, müsste der Widerstand steigen je größer die Leistung ist. Dieser Fall kann ebenfalls bestätigt werden.

2. Überprüfe deine Begründung: Stelle am Powermodul eine Spannung von 12 V ein und simuliere einen starken Verbrauch, in dem du das Potentiometer aus dem Stromkreis herausnimmst. Hierdurch wird die Stromstärke maximal. Beobachte das Verhalten von Stromstärke und Spannung über dem Erzeuger. Berühre nach 2 min das isolierte Stück am Stromnetzmodul und beobachte die Spannung und die Stromstärke weiter.

Bei einer konstanten Windgeschwindigkeit steigt der Spannungsabfall über dem Leitungsmodul mit der Zeit an, wohingegen die Stromstärke annähernd konstant bleibt. Berührt man den Leiter, so fühlt er sich zunächst warm an. Während der Berührung sinkt die Wärmeabgabe allerdings wieder, was man auch an einer Abnahme des Spannungsabfalls erkennt. Die Stromstärke bleibt auch während des Abkühlungsvorgangs nahezu konstant. Es bestätigt sich somit, dass der Widerstand sich infolge des Stromflusses erwärmt.



## 4.13 Leiterseilmonitoring

3. Bisher wurde die Temperatur von Stromtrassen nicht überwacht. Es gibt gesetzliche Vorgaben, die aus Sicherheitsgründen nur eine Maximaltemperatur von 80°C erlauben. Diese Temperatur wird dann erreicht, wenn bestimmte Extremwetterlagen vorliegen und die Leitung vollausgelastet wird. Da diese Extremwetterlagen aber selten auftreten und die Grenzwerte der Stromstärke trotzdem eingehalten werden müssen, werden die Übertragungsleitungen bisher weit unterhalb der möglichen Kapazität genutzt. Um den Aufwand des Netzausbau einzuschränken und die bestehenden Netze besser auszulasten, soll das Smart Grid nun die Temperatur überwachen.
- Benenne und erläutere neben dem Stromfluss weitere Faktoren, die die Leiterseitentemperatur erhöhen oder erniedrigen können.
    - Je stärker die Sonneneinstrahlung ist, desto geringer ist die Wärmestrahlung der Sonne und desto geringer ist die Leiterseitentemperatur.  
Je höher die Umgebungstemperatur ist, desto größer ist die Wärmeübertragung durch die Luftteilchen.  
Je größer die Windgeschwindigkeit ist, desto mehr Wärme kann an die vorbeiströmenden Luftteilchen abgegeben werden.
    - Benenne Auswirkungen der Temperaturerhöhung, die eine gefahrenfreien Nutzung beeinträchtigen.  
Je höher die Temperatur ist, desto größer ist die thermische Ausdehnung des Materials. Durch die thermische Ausdehnung werden die Leiterseile länger und es kann eher zu einem Kurzschluss kommen. Des Weiteren wird durch die höhere Temperatur das Material stärker beansprucht und muss ausgetauscht werden. Dies verursacht höhere Kosten.

leXsolar GmbH  
Strehlener Straße 12-14  
01069 Dresden / Germany

Telefon: +49 (0) 351 - 47 96 56 0  
Fax: +49 (0) 351 - 47 96 56 - 111  
E-Mail: [info@lexsolar.de](mailto:info@lexsolar.de)  
Web: [www.lexsolar.de](http://www.lexsolar.de)