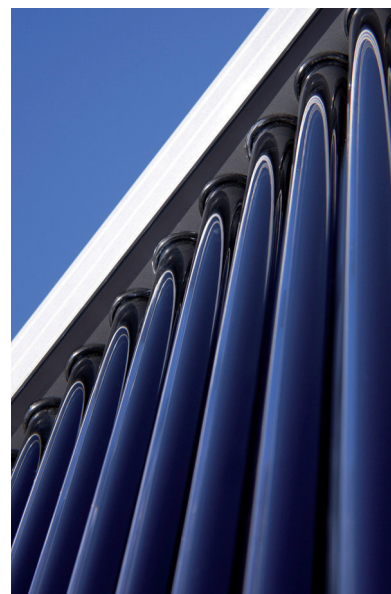
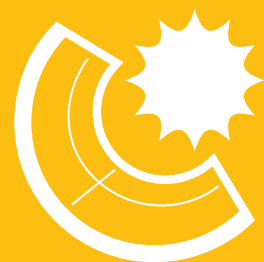


leXsolar-ThermalEnergy Ready-to-go



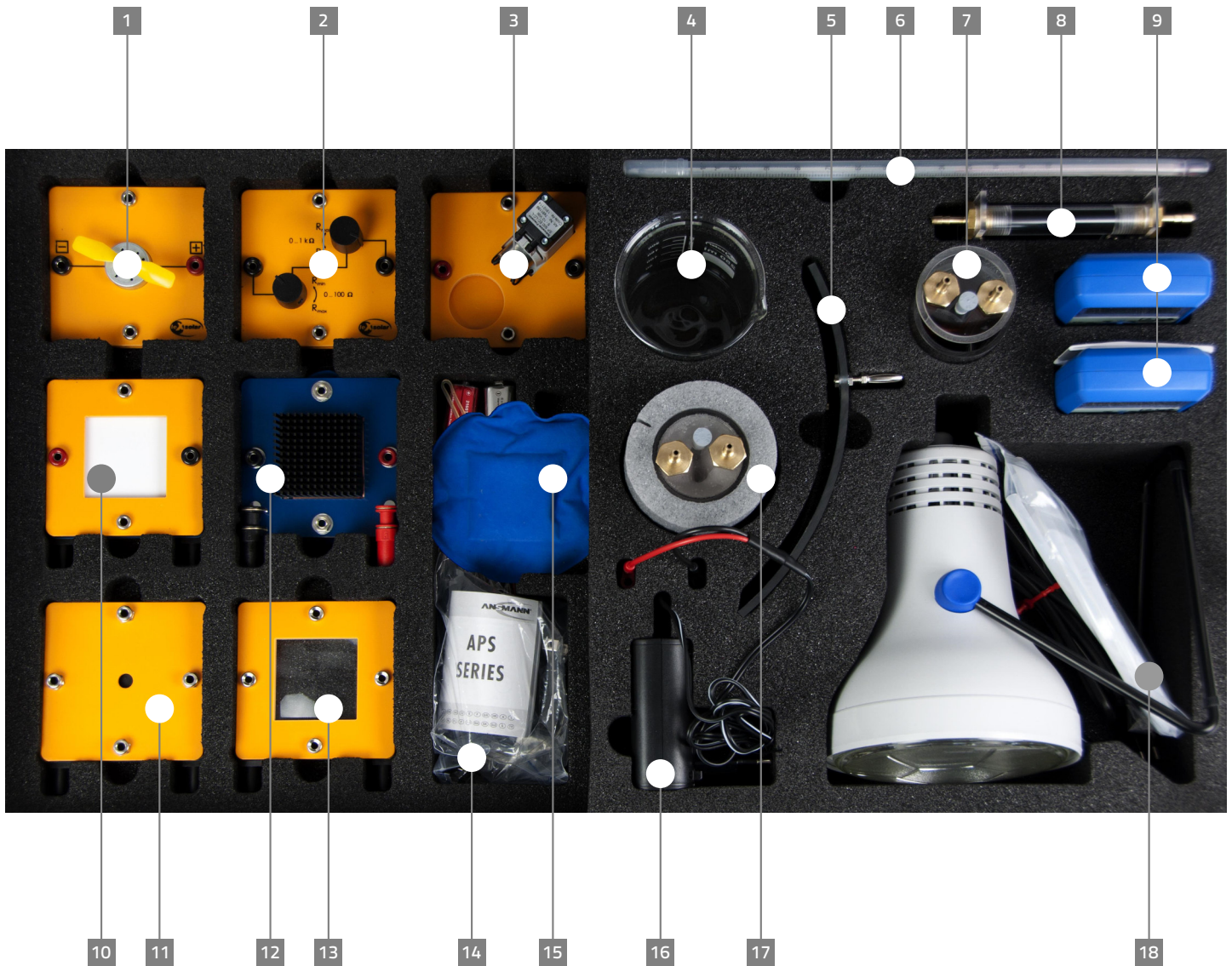
Lehrerheft

Layout diagram leXsolar-ThermalEnergy Ready-to-go 2.0

Item-No.1304

Bestückungsplan leXsolar-ThermalEnergy Ready-to-go 2.0

Art.-Nr.1304



- 1 1100-27 Motor module
1100-27 Motormodul
L2-02-017 Yellow propeller
L2-02-017 Luftschraube (Propeller) gelb
- 2 1100-23 Potentiometer module
1100-23 Potentiometermodul
- 3 1300-09 Pump module with **22**
1300-09 Pumpenmodul mit **22**
- 4 L2-06-082 Beaker 250 ml
L2-06-082 Becherglas 250 ml

- 5 1300-04 Parabolic reflector
1300-04 Parabolspiegel-Kollektor
- 6 L2-06-016 Laboratory thermometer
L2-06-016 Laborthermometer
- 7 1300-12 Heat exchanger paraffin
1300-12 Wärmetauscher Paraffin
- 8 1300-05 Absorber tube
1300-05 Absorberrohr
- 9 2xL2-06-011 Digital multimeter
2xL2-06-011 Digitalmultimeter
- 10 1300-08 Absorber B/W
1300-08 Absorber S/W
- 11 1300-07 Absorber module for lens
1300-07 Absorbermodul für Linse

- 12 1300-10 Peltier module
1300-10 Peltiermodul
- 13 1300-06 Lens module
1300-06 Linsenmodul
- 14 2xL2-06-014/015 Test leads black/red
2xL2-06-014/015 Messleitung schwarz/rot
- 15 L2-06-125 Cooling pad
L2-06-125 Kühlkissen
- 16 2105-00 Power supply
2105-00 Stromversorgungsgerät
- 17 1300-11 Heat exchanger water
1300-11 Wärmetauscher Wasser
- 18 1300-13 Hose set
1300-13 Schläuche-Set

Version number
Versionsnummer

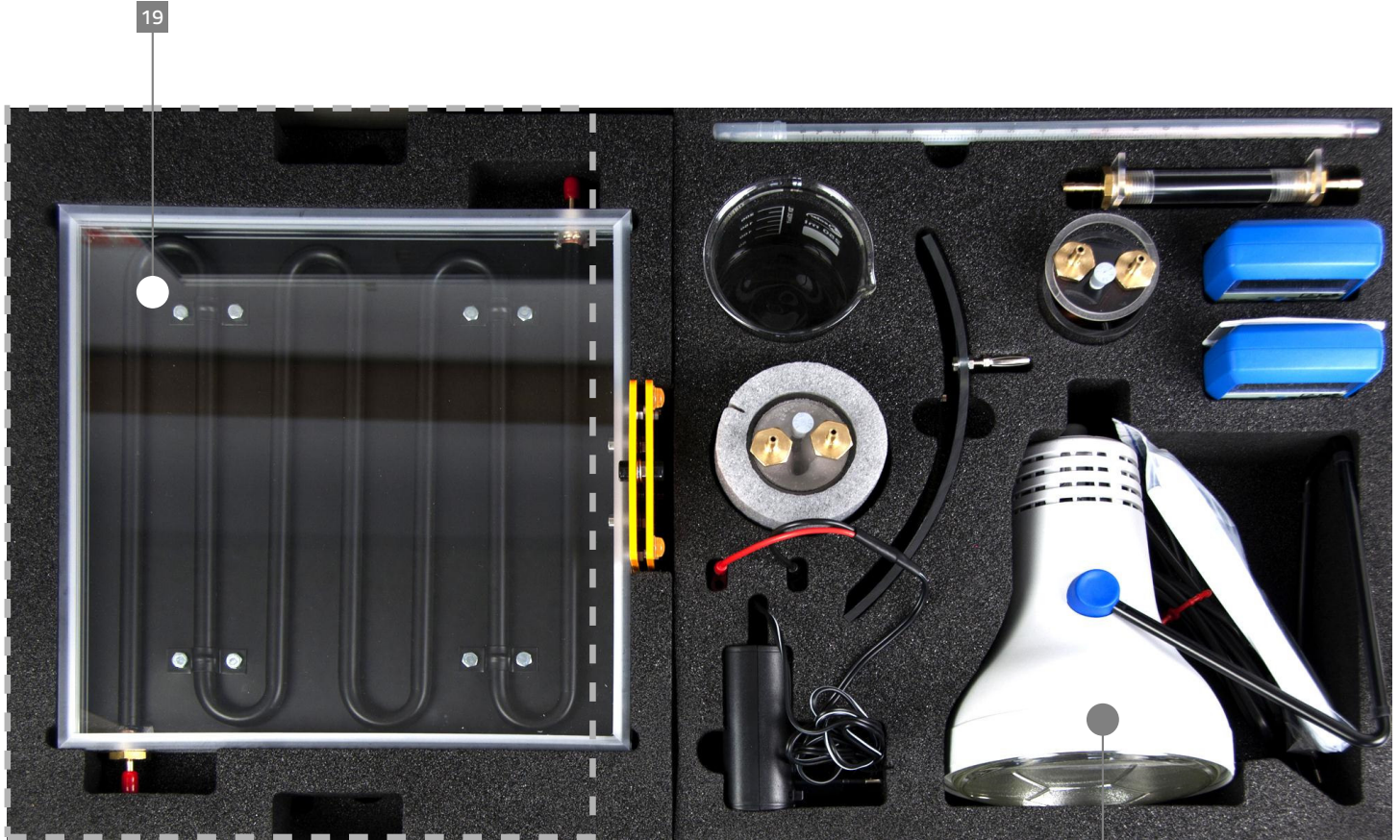
L3-03-138_10.12.2014

Layout diagram leXsolar-ThermalEnergy Ready-to-go 2.0

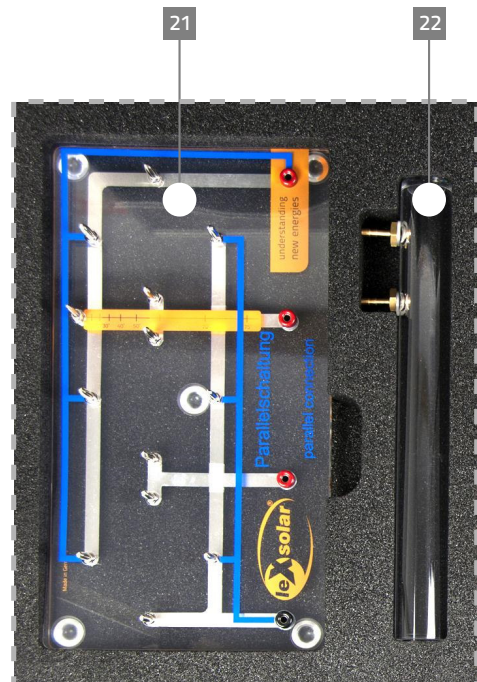
Item-No.1304

Bestückungsplan leXsolar-ThermalEnergy Ready-to-go 2.0

Art.-Nr.1304



- 19 1300-03 Solar colector
1300-03 Solar-Kollektor
- 20 L2-04-080 Lamp
L2-04-080 Lampe
- 21 1100-19 leXsolar-basic unit
1100-19 Grundeinheit groß
- 22 Balancing container with 3
Ausgleichsgefäß mit 3



leXsolar-ThermalEnergy

Lehrerheft

Inhalt

1. Absorptions- und Reflexionsvermögen unterschiedlicher Materialien	4
2. Konzentration von Licht mit Fresnel-Linse	7
3. Wärmeströmung und Wärmeschichtung	10
4. Wärmeleitung.....	12
5. Wärmedämmung.....	14
6. Solarkollektor mit Pumpenumlauf.....	17
7. Solarkollektor mit Thermosiphonumlauf	20
8. Variation der Durchflussgeschwindigkeit	23
9. Kollektorumlauf mit Wärmetauscher.....	27
10. Kollektorumlauf mit Paraffinwärmespeicher	33
11. Parabolrinnenkollektor mit Pumpenumlauf.....	38
12. Defokussierung.....	42
13. Funktionsweise eines Peltierelements	46
14. Untersuchung des Thermoelektrischen Generators	48
15. Quantitative Bestimmung der elektrischen Leistung.....	51



1. Absorptions- und Reflexionsvermögen unterschiedlicher Materialien

Aufgabe

Ermittle die Unterschiede im Absorptions- und Reflexionsverhalten von Wärmestrahlung bei einer Kupferplatte mit weißer und schwarzer Beschichtung.

Aufbau



Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Strahler
- Digitalmessgerät
- Absorbermodul Schwarz/weiß
- Messleitungen

Durchführung

1. Stecke das Absorbermodul schwarz/weiß mit der weißen Seite zum Strahler zeigend auf die Grundeinheit (Abstand zum Strahler 15cm)
2. Verbinde das Digitalmessgerät mit dem Absorbermodul schwarz/weiß, wie in der Abbildung ersichtlich.
3. Stelle am Digitalmessgerät das Symbol °C ein, um die Temperaturmessung zu starten. Lege außerdem eine Uhr bereit, um während des Experiments die Zeit zu messen.
4. Notiere die Anfangstemperatur $T(0)$ und starte die Messung, indem du den Strahler einschaltest. Notiere im Minutenabstand die Temperaturwerte, welche elektrisch direkt an der Metalloberfläche gemessen werden.
5. Schalte den Strahler ab und lasse das Absorbermodul schwarz/weiß abkühlen, bis es wieder ungefähr die Ausgangstemperatur erreicht hat.
6. Wiederhole die Messung mit der schwarzen Seite des Absorbermoduls. Achte darauf, dass der Abstand zum Strahler unverändert 15 cm beträgt.

Messwerte

Tabelle 1.1 – Temperaturentwicklung auf der weißen Seite

Zeit in Minuten	0	1	2	3	4	5	6	...
Temperatur	24	27	29	31	33	35	36	



1. Absorptions- und Reflexionsvermögen unterschiedlicher Materialien

Messwerte

Tabelle 2.1 – Temperaturentwicklung auf der schwarzen Seite

Zeit in Minuten	0	1	2	3	4	5	6	...
Temperatur	25	46	56	61	64	65	66	

Auswertung

1. Trage deine Ergebnisse in das abgebildete Diagramm ein.
2. Vergleiche die Ergebnisse aus den beiden Teilexperimenten und erkläre die beobachteten Unterschiede.
3. Erläutere welche Rückschlüsse aus dieser Erkenntnis auf die Konstruktion von Solarkollektoren zu ziehen sind.

Diagramm

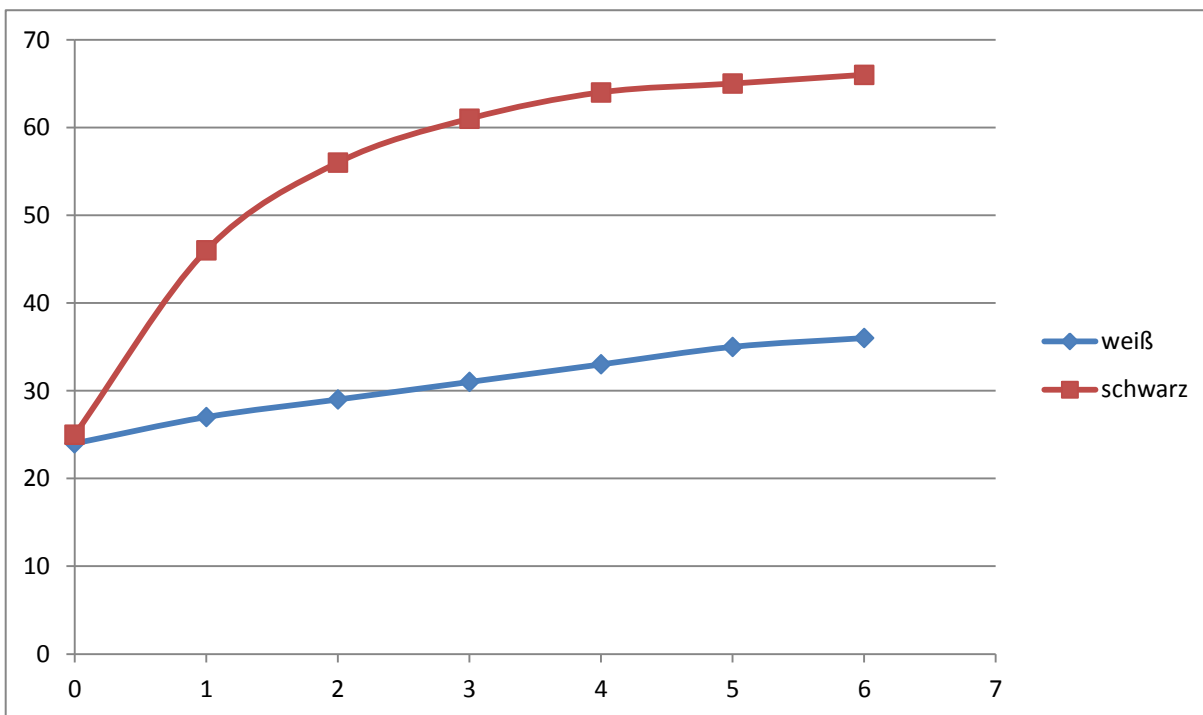


Diagramm 1.1 – Temperaturverlauf am Absorbermodul schwarz/weiß



1. Absorptions- und Reflexionsvermögen unterschiedlicher Materialien

Auswertung

2.

Die Erwärmung auf der weißen Seite ist deutlich langsamer als auf der schwarzen Seite. Schwarze Oberflächen absorbieren besonders gut das einfallende Licht und reflektieren nur einen geringen Anteil einfallender Strahlung im sichtbaren Bereich. Aus diesem Grund nimmt das menschliche Auge kaum Licht von der Oberfläche wahr, sodass uns das betreffende Material schwarz erscheint. Die Fähigkeit eines Materials, Licht zu absorbieren oder zu reflektieren liegt in der Anordnung der Atomstruktur begründet, welche sich unterschiedlich stark durch Strahlung im sichtbaren Bereich anregen lässt. Die Absorption von Licht ist demzufolge frequenz- und materialabhängig.

Besonders schwarze Materialien strahlen nach erfolgter Erwärmung einen Teil der aufgenommenen Energie in Form von Wärmestrahlung wieder ab. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Material und Umgebung, desto stärker ist dieser thermische Verlust.

Die Form der zwei verschiedenen Erwärmungskurven ist durch die Überlagerung der durch Absorption aufgenommenen thermischen Energie und den thermischen Verlusten in Form von Wärmestrahlung geprägt. Bei der weißen Oberfläche verhält sich der Anstieg der Verluste ungefähr proportional zur absorbierten thermischen Energie, sodass ein annähernd linearer Verlauf zu beobachten ist. Bei der Messung der schwarzen Oberfläche überwiegt zuerst der Anteil aufgenommener Energie, bis die thermischen Verluste so groß werden, dass die Erwärmung immer geringer wird. Die gemessene Kurve besitzt daher im Messintervall eine nichtlineare Form.

3.

Solarkollektoren haben den Anspruch, einen möglichst großen Anteil einfallenden Sonnenlichts in nutzbare thermische Energie umwandeln zu können. Der Anteil reflektierter Strahlung muss demzufolge gering gehalten werden, um viel Licht absorbieren zu können. Solarkollektoren sind deshalb überwiegend mit einer schwarzen Beschichtung versehen. Wie im Experiment ersichtlich, gibt es bei solchen einfachen schwarzen Oberflächen ein gravierendes Problem, da ein Großteil der Energie in Form von Wärmestrahlung wieder abgestrahlt wird. Einen Teil zur Lösung dieses Effekts tragen heutzutage sogenannte selektive Beschichtungen bei. Diese absorbieren das Sonnenlicht ähnlich wie eine schwarze Oberfläche, weisen jedoch eine deutlich geringere Abstrahlung auf. Der Nachteil dabei ist die aufwendige Verarbeitung solcher Farben, da sie nicht wie herkömmliche Lacke aufgespritzt oder aufgestrichen werden können.



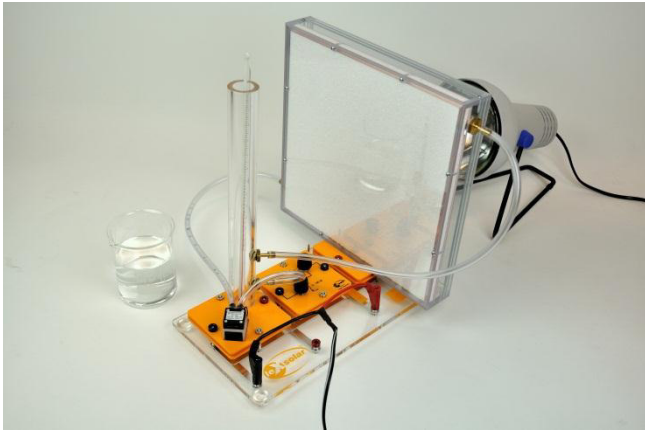
8. Variation der Durchflussgeschwindigkeit

Aufgabe

Finde heraus mit welcher Durchflussgeschwindigkeit durch den solarthermischen Kreislauf der Solarkollektor am effektivsten arbeitet.

Aufbau

8.1 Spannungsregelung am Stromversorgungsgerät



8.2 Spannungsregelung mit Spannungsteilerschaltung



Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Pumpenmodul
- Ausgleichsgefäß
- Solarkollektor
- Potentiometermodul
- Strahler
- Schläuche
- Flüssigkeitsthermometer
- Stromversorgungsgerät
- Becherglas
- Digitalmessgerät mit Messleitungen und Temperaturmessfühler

Vorbereitung

Stecke den Solarkollektor und das Pumpenmodul mit Ausgleichsgefäß, wie in der Abbildung 8.1 ersichtlich, auf die Grundeinheit und verbinde die Module mit den beiliegenden Schläuchen. Dabei musst du darauf achten, dass der linke Pumpenanschluss mit dem unteren Anschluss des Kollektors und der rechte Anschluss mit dem Ausgleichsgefäß verbunden werden. Das Ausgleichsgefäß wiederum wird dann mit dem oberen Anschluss des Kollektors verbunden, um den Wasserkreislauf zu schließen.

Durchführung

Variante A - Einstellung am Stromversorgungsgerät: Stelle am Stromversorgungsgerät die für den Versuch notwendige Spannung direkt am Stromversorgungsgerät ein. Die Spannung lässt sich jedoch nicht stufenlos regeln.



8. Variation der Durchflussgeschwindigkeit

Durchführung

Variante B - Mit Spannungsteilerschaltung:

1. Stecke auf den letzten freien Steckplatz der Grundeinheit das Potentiometermodul, sodass es in Reihe zur Pumpe geschaltet ist.
2. Verbinde jeweils parallel mit Pumpe und Potentiometer ein Digitalmessgerät zur Spannungsmessung (Messbereich 20V).
3. Fülle nun mit Hilfe des Messbechers Wasser in das Ausgleichsgefäß und schließe das Stromversorgungsgerät (9V) über Pumpe und Potentiometer an (siehe Abbildung 8.2).
4. Drehe am Potentiometer, um den Pumpendurchfluss stufenlos zu regeln. Die Pumpe befördert nun das Wasser in den Kreislauf.

Hinweis: Gegebenenfalls musst du mit dem Messbecher noch einmal Wasser nachfüllen, bis sich ein stabiler Wasserkreislauf mit ca. 200ml Flüssigkeit eingestellt hat. Um restliche Lufteinschlüsse aus dem Kollektor zu bekommen, solltest du diesen vorsichtig schwenken.

5. Um den Versuch zu beginnen, stellst du das Flüssigkeitsthermometer in das Ausgleichsgefäß und legst eine Uhr zur Zeitmessung bereit. An der Pumpe wird eine Spannung von 5V eingestellt.
6. Positioniere den Strahler vor dem Kollektor (Abstand 15cm) und schalte ihn an. Miss die Temperatur im Ausgleichsgefäß während der Erwärmung des Kollektors und trage die entsprechenden Werte in die Tabelle ein.
7. Wiederhole den Versuch mit einer Spannung von 9V. Halte auch diese Werte in der Tabelle fest.

Messwerte

Tabelle 8.1 – Erwärmung bei 5V

Zeit in Minuten	0	2	4	6	8	10	12	...
Temperatur in C°	24	28	31	34	37	39	41	

Tabelle 8.2 – Erwärmung bei 9V

Zeit in Minuten	0	2	4	6	8	10	12	...
Temperatur in C°	25	28	30	32	34	36	37	

Auswertung

1. Übertrage deine Ergebnisse in das abgebildete Diagramm.
2. Vergleiche die Ergebnisse aus den beiden Telexperimenten, indem du die Entwicklung der Temperatur für beide Fälle beschreibst.

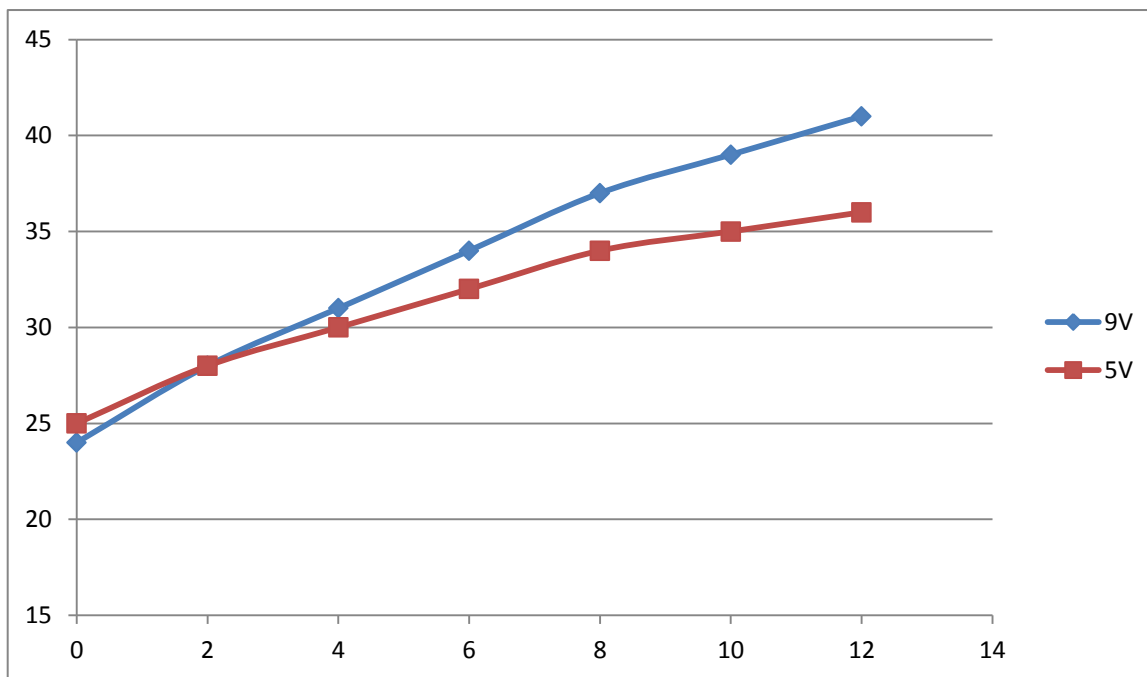


8. Variation der Durchflussgeschwindigkeit

Durchführung

3. Erkläre, weshalb die Variation der Durchflussgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Erwärmung des Kollektorkreislaufs hat.
4. Nenne mögliche Verbesserungen an Kollektoranlagen, um die Erkenntnisse aus diesem Versuch in reale Anlagen zu integrieren.

Diagramm



Auswertung

2.

Die Temperaturentwicklung im Ausgleichsgefäß ist im Messintervall annähernd linear. Die leichte Abflachung der Kurve ist nur ansatzweise erkennbar. Zwischen den beiden Temperaturverläufen bei unterschiedlichen Durchflussgeschwindigkeiten besteht ein systematischer Unterschied. Die Kurven unterscheiden sich hinsichtlich des mittleren Temperaturanstiegs voneinander. Dies bedeutet, dass die Effektivität einer solarthermischen Anlage abhängig von der Durchflussmenge ist.

3.

Zwischen zwei unterschiedlich temperierten Reservoirs, die miteinander in thermischen Kontakt stehen, findet eine Angleichung der Temperatur statt. Dabei kühlt sich der wärmere Teil ab, während sich der kältere erwärmt, bis beide die gleiche Temperatur aufweisen. Dieser Vorgang läuft umso schneller ab, je größer



8. Variation der Durchflussgeschwindigkeit

Auswertung

die Temperaturdifferenz zwischen beiden Reservoirs ist. Im Fall des Solarkollektors bringt man die heiße Oberfläche des Kollektorröhrchens mit dem Wasser im Kreislauf in Kontakt. Dabei erwärmt sich das Wasser. Eine zu niedrige Durchflussgeschwindigkeit sorgt dafür, dass nicht genügend kühles Wasser nachgespeist wird, um den Wärmeübergang effektiv zu gestalten. Eine schnellere Durchflussgeschwindigkeit durch die Schläuche reduziert zudem thermische Verluste auf dem Weg zum Wärmespeicher. Solarthermische Systeme, die mit hohen Durchflussmengen arbeiten, nennt man High-Flow-Solaranlagen. Nachteilig ist dabei der höhere Energieverbrauch durch die Pumpe. Außerdem werden geringere Absoluttemperaturen im Kollektor erreicht, da sich das System gleichmäßiger aufheizt. Bei einer Low-Flow-Solaranlage mit Schichtenspeicher entsteht eine höhere Temperaturspreizung, sodass ein Schichtenspeicher schneller beheizt werden kann.

4.

Um für jede Anwendung und jeden Temperaturzustand einer solarthermischen Anlage die optimale Durchflussgeschwindigkeit zu nutzen, kann die Pumpenleistung variabel gestaltet werden. Solche Systeme sind unter dem Titel Matched-Flow-Solaranlage erhältlich, erzielen aber aufgrund der höheren Anschaffungskosten bislang noch einen relativ geringen Marktanteil.

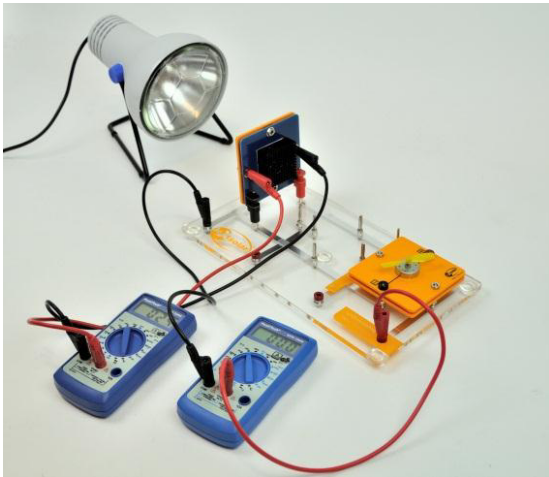


15. Quantitative Bestimmung der elektrischen Leistung

Aufgabe

Zeige quantitativ, dass durch die Erwärmung von einer Seite eines Peltierelements eine Spannung generiert wird, welche zum Betrieb eines Kleinstverbrauchers nutzbar gemacht werden kann.

Aufbau



Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Peltiermodul
- 2x Digitalmessgerät
- Messleitungen
- Strahler
- Motormodul

Durchführung

1. Stecke das Peltiermodul wie abgebildet auf die Grundeinheit.
2. Verbinde außerdem die beiden Digitalmessgeräte mit der Grundeinheit und dem Peltiermodul wie abgebildet.

Hinweis: Das Digitalmessgerät am Peltierelement wird zur Temperaturmessung verwendet. Mit dem zweiten Messgerät werden dazu Spannung und Stromstärke bestimmt.

3. Stelle den Strahler in einem Abstand von 15cm zum Peltiermodul auf und beginne die Messung.
4. Beobachte den Verlauf von Temperatur, Spannung und Stromstärke und trage deine Messwerte in die Tabelle ein.

Messwerte

Zeit in Minuten	Stromstärke in mA	Spannung in mV	Leistung in mW	Temperatur Peltierelement in °C
0	0,1	-1,5	$0,15 \cdot 10^{-3}$	25
0,5	6	100	0,6	26
1	150	8,8	1,32	28
1,5	180	11	1,98	30
2	190	11	2,09	31
2,5	204	12	2,45	32



15. Quantitative Bestimmung der elektrischen Leistung

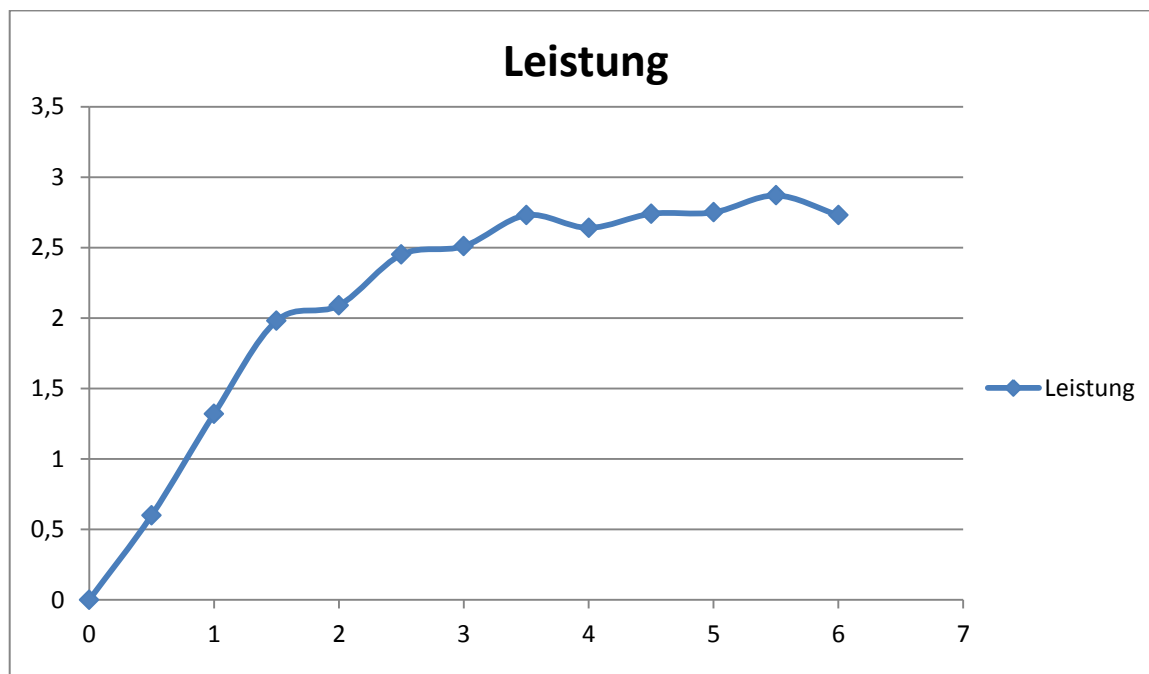
Messwerte

3	209	12	2,51	33
3,5	215	12,7	2,73	34
4	215	12,3	2,64	35
4,5	219	12,5	2,74	35
5	220	12,5	2,75	36
5,5	224	12,8	2,87	37
6	218	12,5	2,73	37

Auswertung

1. Berechne dabei die Leistung für jede Messwertreihe und notiere Sie ebenfalls in der Vorlage.
2. Trage deine Ergebnisse in das abgebildete Diagramm ein.
3. Schätze anhand der Messung die dauerhafte Leistung des thermoelektrischen Generators ab und berechne darauf aufbauend den Wirkungsgrad des Versuchsaufbaus.
4. Nenne eine Möglichkeit die Technologie des thermoelektrischen Generators trotz geringem Wirkungsgrad nutzbringend einzusetzen.

Diagramm





15. Quantitative Bestimmung der elektrischen Leistung

Auswertung

3. Die Leistung des thermoelektrischen Generators stellt sich nach kurzer Zeit auf ca. 2,75mW ein. In Anbetracht der elektrischen Leistung des Strahlers von 120W ergibt sich eine sehr geringe Effektivität von 0,000023%.
4. Auch unter Ausschluss thermischer Verluste durch die geringe effektive Einstrahlungsfläche und die Emission von Wärmestrahlung ergeben sich nur Wirkungsgrade im Promillebereich. Die technische Anwendung thermoelektrischer Generatoren ist demzufolge eher auf sehr spezielle Anwendungen im Bereich dezentraler Energieversorgung geeignet. Ein weiteres Beispiel als Einsatzvariante wäre der autarke Betrieb von Kleinstsensoren an warmen Maschinen- und Fahrzeugteilen. Der Vorteil dabei ist der geringe Installationsaufwand und der zuverlässige wartungsfreie Betrieb eines solchen Messsystems.

leXsolar GmbH
Strehleener 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
Web: www.lexsolar.de