

Nachhaltigkeit - Solarthermie

## Wie kann ich Sonnenenergie effizient nutzen, um Wasser zu erhitzen?

Die SchülerInnen erkunden, welche Methode und welche Materialien sich am besten eignen, um Wasser mit der Sonne zu erhitzen.

**Zyklus:** 2-4

**Dauer:** 60 Minuten

### Benötigtes Material:

- Thermometer
- Gefäße in verschiedenen Formen und Materialien (z. B. hoch, flach, Metall, Plastik, Glas, Holz, dunkles Stück Schlauch)
- Acrylfarben o. Ä. in verschiedenen Tönen (schwarz, weiß, rot, gelb, ...)
- Pinsel
- Materialien, um die Gefäße abzudecken (Deckel, Plexiglasscheiben, ...)
- ein großes Gefäß mit Wasser in Zimmertemperatur
- Messbecher
- Dämm-Material (Jacke oder Pulli)



Je nach Vorgehensweise (SchülerInnenanzahl, Einzel- oder Gruppenarbeit o. ä.) musst Du die angegebenen Mengen anpassen. Da die SchülerInnen bei diesem Experiment viel probieren können, sollte eine große Anzahl an verschiedenen Gefäßen vorhanden sein.

### Sicherheitshinweise

Dieses Experiment ist ungefährlich.

### Praktische Tipps

Das Experiment sollte man an einem warmen, sonnigen Tag durchführen. Das Wasser, das zu den einzelnen Experimenten benötigt wird, sollte möglichst immer die gleiche Anfangstemperatur haben. Die Anfangstemperatur des Wassers sollte auch unter der Außentemperatur liegen. Achte darauf, dass bei den Materialien der Gefäße mindestens ein guter Wärmeleiter (Metall) und ein eher schlechter Wärmeleiter (Plastik, Glas, Keramik, Holz) dabei sind.

### Ablauf

Um Dich mit dem Ablauf und dem Material vertraut zu machen, ist es wichtig, dass Du das Experiment im Vorfeld einmal durchführst.

Möchtest Du die SchülerInnen das Experiment dokumentieren lassen? Am Ende dieses Artikels (über der Infobox) findest Du ein Forschertagebuch (PDF mit zwei A4 Seiten), welches deine SchülerInnen hierfür nutzen können.

## **Einstieg**

Vorab kannst Du die Frage stellen, woher das Warmwasser aus der Dusche kommt. Wissen die SchülerInnen, dass die meisten Haushalte mit einem Warmwasserboiler ausgerüstet sind? Woher kommt die Energie, um dieses Wasser zu erhitzen? In den meisten Fällen handelt es sich um elektrische oder gasbetriebene Boiler, die Wärme an das Wasser übertragen (bei dem elektrischen Boiler erwärmt sich eine Heizspirale). Du kannst nun die Frage stellen, ob die SchülerInnen vielleicht auch an andere Methoden denken, mit denen man sein Duschwasser erhitzen kann. Können die SchülerInnen sich vorstellen Wasser zu erhitzen mit dem, was die Natur uns zur Verfügung stellt? Tatsächlich ist die Energie, die von der Sonne ausgeht, stark genug, um etwas zu erwärmen. Reicht es aber, einen Topf Wasser einfach in die Sonne zu stellen oder muss man sich schon etwas mehr einfallen lassen, um nach einer Weile eine warme Dusche genießen zu können? Manche SchülerInnen besitzen vielleicht eine Solarthermieanlage auf dem Hausdach oder haben schon mal davon gehört. Solarthermie bedeutet, dass die Energie der Sonne in thermische Energie (Wärme) umgewandelt wird.

## **Schritt 1: Stellt eine Frage und formuliert Hypothesen**

Die Frage, die Ihr euch in dieser Einheit stellt, lautet:

Wie kann ich Sonnenenergie effizient, d.h. mit hoher Wirksamkeit nutzen, um Wasser zu erhitzen?

Zusammen mit den SchülerInnen geht die Klasse das Material durch, das zu diesem Experiment zur Verfügung steht. Zu diesem Zweck kann die Lehrperson jedes mitgebrachte Material kurz vorführen und es vor den Schülern auslegen. Jede/r soll sich Gedanken dazu machen, mit welchem Material und anhand von welchen Arbeitsschritten sie/er das Wasser am besten erhitzen kann. Dazu können die SchülerInnen ihre Überlegungen anhand eines Satzes oder einer Zeichnung festhalten.

Später soll sich die Klasse darüber austauschen, welche Methode ihrer Meinung nach am wirksamsten ist, um Wasser schnell zu erhitzen – also am effizientesten.

Mögliche Hypothesen der SchülerInnen:

- Unterschiedliche Form der Gefäße: hoch oder flach?
- Unterschiedliches Material der Gefäße: Metall oder Plastik?
- Farbe der Gefäße: hell oder dunkel?
- Zustand der Gefäße: offen oder besser zu?
- Isolieren und dämmen oder besser nicht?

Diese Hypothesen werden schriftlich an der Tafel festgehalten.

Falls die SchülerInnen nur sehr wenige mögliche Erklärungen liefern, kannst du sie gezielt auf andere Hypothesen stoßen. Die richtige Antwort zu finden ist hier nebensächlich. Es geht vielmehr darum Ideen zu entwickeln und herauszufinden, was die SchülerInnen bereits wissen.

### Schritt 2: Führt das Experiment durch

Um herauszufinden, wie man das Wasser am effizientesten erwärmen kann, werden die SchülerInnen nun ihre Hypothesen überprüfen.

Diese Überprüfungen werden in Gruppen oder mit der ganzen Klasse vorgenommen.

Jede einzelne Hypothese sollte mit einem passenden Experiment überprüft werden. Diskutiere mit den SchülerInnen, wie sie ihre Hypothesen am besten testen können.

Ausgehend von den Hypothesen der SchülerInnen, einige Überprüfungsmöglichkeiten.

Hypothesen	Experimente
a. unterschiedliche Form: Die Form der Gefäße spielt eine Rolle beim Erhitzen des Wassers. Besser hoch oder flach?	Die SchülerInnen schütten die gleiche Menge an Wasser in die verschiedenen Gefäße. Anfangstemperatur niederschreiben. Nach einer im Voraus festgelegten Zeit in der Sonne wird die Wassertemperatur gemessen.
b. Farbe der Gefäße: Die Farbe der Gefäße spielt eine Rolle. Besser hell, dunkel?	Die SchülerInnen schütten die gleiche Menge an Wasser in Gefäße gleicher Größe aber verschiedener Farben. Anfangstemperatur niederschreiben. Nach einer im Voraus festgelegten Zeit in der Sonne wird die Wassertemperatur gemessen.
c. Zustand der Gefäße: Ob das Gefäß offen oder verschlossen ist spielt eine Rolle.	Die SchülerInnen schütten die gleiche Menge an Wasser in zwei Gefäße gleicher Größe und gleichen Materials, wovon eins geschlossen ist, das andere aber offenbleibt. Anfangstemperatur niederschreiben. Nach einer im Voraus festgelegten Zeit in der Sonne wird die Wassertemperatur gemessen.
d. Material der Gefäße: Kann das Material in denen das Wasser enthalten ist eine Rolle spielen? Eignet sich Holz oder Plastik besser als Metall?	Die SchülerInnen schütten die gleiche Wassermenge in Gefäße aus verschiedenen Materialien. Anfangstemperatur niederschreiben. Nach einer im Voraus festgelegten Zeit in der Sonne wird die Wassertemperatur gemessen.
e. Dämmung der Gefäße:	Die SchülerInnen schütten die gleiche Menge an Wasser in Gefäße gleicher

Ist es besser das Gefäß außen herum zu dämmen oder nicht?	Größe, wovon die einen gedämmt sind, z. B. mit einer Jacke und die anderen nicht. Anfangstemperatur niederschreiben. Nach einer im Voraus festgelegten Zeit in der Sonne wird die Wassertemperatur gemessen.
f. Wenn Schüler noch andere Hypothesen haben, sollten diese, wenn nur möglich, auch getestet werden.	

Jedes Experiment sollte im gleichen Zeitraum durchgeführt werden. An einem sonnigen und warmen Tag (etwa 25°C) reichen 30 Minuten schon aus, um einen halben Liter Wasser von 19°C auf 37°C zu erwärmen. Das zu erwärmende Wasser sollte für jedes Experiment die gleiche Anfangstemperatur haben. Ein großer Wasserkanister eignet sich hier gut. Die Anfangstemperatur des Wassers sollte auch unter der Außentemperatur liegen.



a. unterschiedliche Form



b. Farbe der Gefäße



c. Zustand der Gefäße



d. Material der Gefäße

### Schritt 3: Beobachtet was passiert

Lasse die SchülerInnen regelmäßig berichten, was sie beobachtet haben. Um wie viel Grad hat sich die Temperatur des Wassers bei den verschiedenen Bedingungen erhöht? Welche Hypothesen haben sich als richtig erwiesen? Es zeigt sich z. B., dass die Form und die Farbe der Gefäße Unterschiede ausmachen. Auch ist es wichtig,

dass der Behälter geschlossen ist. Könnten die SchülerInnen sich vorstellen verschiedene Methoden zu kombinieren, um Wasser am effizientesten zu erhitzen? Probiert es als Klasse aus. Welche Temperatursteigerung können die SchülerInnen erreichen?

#### **Schritt 4: Erklärt das Ergebnis**

Beim Erhitzen von Wasser durch Sonnenenergie spielen viele Faktoren eine Rolle. Ein flaches und breites Gefäß, das dem Wasser erlaubt sich auf einer großen Fläche auszudehnen, ist besser als ein hohes und schmales Gefäß. Ein schwarzer Topf eignet sich besser als ein weißer, da die schwarze Farbe mehr Licht absorbiert als weiße oder helle Farben. Ist der Behälter geschlossen, kann das erwärmte Wasser nicht durch Verdunsten wieder abkühlen. Auf welcher Oberfläche das Experiment durchgeführt wird, spielt ebenfalls eine Rolle, da ein Gefäß auf einer Grünfläche eher abkühlt als ein Gefäß auf asphaltiertem Untergrund, der von vornherein schon durch die Sonne erwärmt wurde. Allgemein erweist sich ein dunkler Schlauch als besonders effizient, da sich das Wasser auf einer großen Fläche verteilt und da der Schlauch außen eine große Oberfläche anbietet, die von der Sonne erwärmt wird und dann die Wärme an das Wasser abgibt.

Die Kollektoren einer Solarthermie-Anlage funktionieren auf ähnliche Weise. Sie befinden sich oft auf dem Hausdach und in südlicher Lage. Dabei durchströmt eine Flüssigkeit die Kollektoren, die erhitzt wird und Wärme an Wasser in einem Pufferspeicher abgibt.

Eine detailliertere Erklärung und weitere Infos findest Du in der **Infobox**.

Anmerkung: Du musst als LehrerIn nicht alle Antworten und Erklärungen bereits kennen. Es geht in dieser Rubrik „Ideen für den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Grundschule“ vielmehr darum den SchülerInnen die wissenschaftliche Methode (Frage - Hypothese - Experiment - Beobachtung/Fazit) näher zu bringen, damit sie lernen diese selbstständig anzuwenden. Ihr könnt die Antwort(en)/Erklärung(en) in einem weiteren Schritt gemeinsam in Büchern, im Internet oder durch Experten-Befragung erarbeiten.

Oft werfen das Experiment und die Beobachtung (Schritt 2 & 3) neue Fragen auf. Nimm Dir die Zeit auf diese Fragen einzugehen und Schritt 2 und 3 mit Hinblick auf die neugewonnenen Erkenntnisse und mit anderen Variablen zu wiederholen.

#### **Hintergrundwissen**

Wenn wir in der Sonne sitzen, spüren wir die Wärme der Sonnenstrahlen. Das Sonnenlicht ist Millionen von Kilometern durch den Weltraum gereist und sorgt auf der Erde für Helligkeit und Wärme. Während es im Weltraum eisig kalt ist, wärmt das Sonnenlicht die Erdoberfläche, das Wasser in den Ozeanen, die Luft, die Lebewesen und die Pflanzen. Wie ist das möglich? Wie kann Licht wärmen?

Das von der Sonne ausgehende Licht besteht aus elektromagnetischen Wellen. Für das menschliche Auge sind elektromagnetische Wellen nur zwischen 380-780nm sichtbar. Die verschiedenen Wellenlängen werden in nm (1 Nanometer =  $10^{-9}$  Meter) gemessen und haben verschiedene Farben. Wellen mit einer Wellenlänge von 380-430nm sind lila, Wellen mit einer Wellenlänge von 640-780nm sind rot. Dazwischen liegen Wellen in den Farben Blau, Grün, Gelb, und Orange. Auf der Erde kommt eine Mischung der Wellen mit unterschiedlichen Wellenlängen an, die zusammen weiß erscheinen. Das Spektrum der verschiedenen farbigen Lichtstrahlen wird Lichtspektrum oder Farbspektrum genannt und sieht wie ein Regenbogen aus. Unter 380nm wird elektromagnetische Strahlung als ultraviolettes Licht bezeichnet, oberhalb von 780nm als Infrarot.

Viele der sogenannten Infrarotlampen, beispielsweise bei der Kükenaufzucht, geben ein dunkles rotes Licht ab. Das rote Licht dient als optischer Reiz für die Tiere, die eigentliche Wärme, die von der Lampe ausgeht, wird aber hauptsächlich durch elektromagnetische Strahlung im Infrarotbereich erzeugt, die für das menschliche Auge nicht sichtbar ist. Infrarotstrahlung wird teilweise auch zur Raumheizung verwendet. Anders als bei herkömmlichen Heizkörpern, die die Umgebungsluft direkt erwärmen, wird bei Infrarotheizungen eine Fläche erwärmt, die dann Wärme an die Umgebungsluft abgibt.

Die Sonne und alle anderen Körper (auch kalte) können elektromagnetische Strahlung oder elektromagnetische Wellen aussenden. Für Menschen sichtbares Licht entsteht bei großer Hitze wie bei den Vorgängen in der Sonne. Die Oberflächentemperatur der Sonne liegt bei etwa  $5.500^{\circ}\text{C}$ . (Zum Vergleich: im Sonneninneren herrschen Temperaturen von ca.  $15.000.000^{\circ}\text{C}$ ). Von der Erde aus gesehen wird die Sonnenoberfläche als fast weiß wahrgenommen, weil Lichtstrahlen in allen Farbtönen gleichzeitig leuchten. Ähnliches geschieht beim Erhitzen von Metall: erst glüht das Metall rot, dann orange, dann gelb und wird immer heller, bis oberhalb von  $5.400^{\circ}\text{C}$  die sogenannte Weißglut erreicht ist.

### **Absorbiertes Licht wird zu Wärme**

Elektromagnetische Wellen sind eine Form von Energie. Die Wellen, die von der Sonne ausgehen, können ohne großen Energieverlust durch den Weltraum reisen, da es im Weltraum kaum Materie gibt. Im Weltraum herrscht ein Vakuum, also ein Raum ohne Materie. Das bedeutet, dass sich auch keine Gase wie Luft im Weltraum befinden, denn auch Gase bestehen aus Materie. Treffen die elektromagnetischen Wellen des Lichts auf Materie, können verschiedenen Dinge passieren: das Licht wird reflektiert, das Licht wird gebrochen, das Licht wird gestreut oder das Licht wird absorbiert. Bei der Absorption wird elektromagnetische Energie in Wärme umgewandelt. Bei der Reflektion und der Streuung ändert das Licht seine Richtung, ohne durch die Reflektionsfläche hindurchzutreten. Bei der Brechung ändert das Licht seine Richtung, geht aber durch die Grenzschicht hindurch. Ist diese Grenzschicht ein Prisma, bzw. trifft der Lichtstrahl in einem bestimmten Winkel auf, werden die unterschiedlich farbigen Bestandteile des Lichtstrahls getrennt.

Sobald die Sonnenstrahlen in die Erdatmosphäre, also die gasförmige Hülle um die Erde, eintreten, treffen sie auf Materie. Materie können Gase wie Luft, aber auch verschiedene

Festkörper wie eine Asphaltstraße oder die Haut eines Menschen sein, oder Flüssigkeiten wie Wasser. Ein Teil der elektromagnetischen Wellen wird absorbiert und erwärmt die Luft und die Festkörper und Flüssigkeiten, die sich auf der Erde und in der Erdatmosphäre befinden. Überall dort, wo Wärme entsteht, wird sie auch an die Umgebung abgegeben. Die Wärme verteilt sich von der wärmeren zu der kühleren Materie. Die Erde und die Atmosphäre würden sonst immer heißer werden. Da der Mond nicht von einer Gashölle umgeben ist, ist die Mondoberfläche auf der Tagseite (wo die Sonne auf den Mond scheint) 100°C warm und heißer. Auf der Nachtseite des Mondes ist die Oberfläche ca. -160°C kalt.

### **Wassererwärmung durch Licht**

Treffen Lichtstrahlen auf eine Wasseroberfläche, wird ein Teil zurück in die Luft reflektiert. Ein anderer Teil bricht sich an der Grenzfläche und tritt mit etwas veränderter Richtung ins Wasser ein. Unter Wasser werden die Lichtstrahlen unter Wärmeentwicklung absorbiert: erst die langwelligen roten, dann die orangen, gelben, grünen und schließlich die kurzwelligeren blauen Lichtstrahlen. Wenn ein Mensch taucht, werden die optischen Eindrücke daher stückweise immer bläulich. Spätestens bei 60 Metern herrscht absolute Dunkelheit. Da bei der Absorption die elektromagnetische Energie in Wärme umgewandelt wird, erwärmt sich das Wasser durch den Lichteinfall. Wasser hat bei 4°C die größte Dichte, ist also bei 4°C am schwersten. Je wärmer das Wasser, desto leichter wird es. In natürlichen Gewässern gibt es daher im Sommer eine Schichtung unterschiedlich warmen Wassers, die sich nur langsam durchmischt. Ist ein Gewässer sehr tief, hat auch im Sommer die unterste Schicht nur 4°C. Flachere Gewässer können dagegen vollständig erwärmt werden.

### **Volumen**

Vielleicht machen die SchülerInnen den Vorschlag, dass sich eine kleinere Menge Wasser schneller erwärmt als eine größere. Bei größeren Wassertiefen in natürlicher Umgebung kann das argumentiert werden (s.o.), aber es ist schwierig, diese Bedingung (Volumen) im Versuch isoliert nachzustellen. Wird beispielsweise die Erwärmung von 100ml, 200ml und 300ml in identischen Behältern verglichen, spielen außer der direkten Erwärmung des Wassers durch den Lichteinfall an der Oberfläche noch andere Faktoren eine Rolle. Stehen die Behälter auf einem warmen Untergrund wie einer Asphaltstraße, kann es gut sein, dass sich die Wärme vom Untergrund aus überträgt. Dann haben kleinere Volumen wegen der Weitergabe der Wärme einen Vorteil und erwärmen sich schneller. Handelt es sich um Glasgefäße, kann das Sonnenlicht auch durch die Glaswand scheinen. Ein kleines Volumen hat dann verglichen mit einem größeren Volumen eine größere Fläche zur Verfügung, an der Sonnenlicht in das Wasser scheint und kann sich schneller erwärmen. Ähnlich ist es bei dem Erwärmen von Wasser in einem Schlauch – verhältnismäßig wenig Wasser kommt mit der verhältnismäßig großen erwärmten Schlauchoberfläche in Berührung. Das Wasser erwärmt sich daher in einem dünnen Schlauch schneller, als wenn ein dicker Schlauch verwendet wird. Der Grund dafür ist aber nicht das Volumen des Wassers, sondern die relative Größe der Schlauchoberfläche. Um den Faktor Volumen von anderen Einflüssen getrennt zu untersuchen, können identische, nicht-transparente, gedämmte Plastikgefäße verwendet werden, die auf einem Isolator-Material stehen.

## Form

Die SchülerInnen haben festgestellt, dass sich dasselbe Volumen an Wasser in einem flachen Gefäß besser erwärmt. Durch die größere Oberfläche kann mehr Licht in das Wasser fallen und hier absorbiert (in Wärme umgewandelt) werden.

## Farbige Oberflächen

Nicht nur die Form des Gefäßes, sondern auch seine Beschaffenheit spielt bei der Erwärmung des Wassers eine Rolle. Unterschiedliche Farbqualitäten absorbieren Licht sehr unterschiedlich und erwärmen sich dementsprechend besser oder schlechter. Wenn die SchülerInnen im Sommer barfuß laufen, haben sie bestimmt schon mal bemerkt, dass eine dunkle Asphaltstraße sehr heiß werden kann, ein heller Betonweg aber nicht. Materialien oder Gefäße, die sich selbst gut erwärmen, können auch Wärme an die Umgebung abgeben. Weiße oder helle Oberflächen reflektieren einen Großteil des einfallenden Lichtes, sie können sich daher nicht so stark erwärmen. Gleichzeitig erscheinen sie dem menschlichen Auge als weiß bzw. hell, weil alle verschieden farbigen Lichtstrahlen der Sonne reflektiert werden und zusammen wieder einen hellen Farbton ergeben. Schwarze Oberflächen absorbieren einen Großteil des einfallenden Lichtes. Sie können sich so gut erwärmen und erscheinen dem menschlichen Auge als schwarz. Rote Oberflächen reflektieren nur das rote Licht und absorbieren den Rest, blaue Oberflächen reflektieren das blaue Licht, usw...

Ein schwarzer oder dunkler Wasserbehälter erwärmt sich schneller als ein heller, da das schwarze Material das Licht absorbiert, in Wärme umwandelt und an das Wasser abgibt. Gute Wärmeleiter wie Metalle sind besser dafür geeignet, Wärme abzugeben, als schlechte Wärmeleiter wie Holz oder Plastik. Schlechte Wärmeleiter können die Wärme nicht gut abgeben und wirken daher eher wie Isolatoren. Wasser in einer Metallschüssel erwärmt sich daher schneller, als in einer Plastikschüssel. Der Effekt gilt allerdings auch für das Abkühlen: schüttet man heißes Wasser in eine Metallschüssel und eine Plastikschüssel, kühlt sich das Wasser in der Metallschüssel schneller ab. Wenn die SchülerInnen den Behälter mit Wasser isoliert haben, wird die Wärme nicht so schnell an die Umgebung abgegeben. Auch die Beschaffenheit des Untergrunds, auf dem der Wasserbehälter steht, ist wichtig: wird das Experiment auf einer warmen Asphaltfläche durchgeführt, kann das Wasser auch durch die Wärmeabstrahlung des Untergrunds mit erwärmt werden.

## Verdunstung

Schließlich ist zu beachten, dass das Wasser an der Oberfläche mit Luft in Berührung kommt. Durch das Verdampfen von Wassermolekülen, also den Übergang von dem flüssigen in den gasförmigen Zustand, entsteht die sogenannte Verdunstungskälte, die das Wasser abkühlt. Der Vorgang ähnelt dem beim Schwitzen: da gasförmige Teilchen energiereicher sind als flüssige, kühlt das Wasser an der Oberfläche ab. In einem geschlossenen Gefäß entsteht ein Gleichgewicht zwischen dem flüssigen und dem gasförmigen Zustand - das Wasser verdunstet nur so viel, bis dieser Zustand erreicht ist. Liegt also ein transparenter Deckel auf dem Wassergefäß, durch den das Licht gut



durchscheinen kann, kann die Wassertemperatur besser steigen, da das Wasser durch die Verdunstung nicht wieder abgekühlt wird.

*Autor: Olivier Rodesch (script), Marianne Schummer (script), scienceRELATIONS (Insa Gülzow)*

*Editor: Michèle Weber (FNR)*

*Konzept: Jean-Paul Bertemes (FNR), Michelle Schaltz (FNR); Joseph Rodesch (FNR), Yves Lahur (script)*