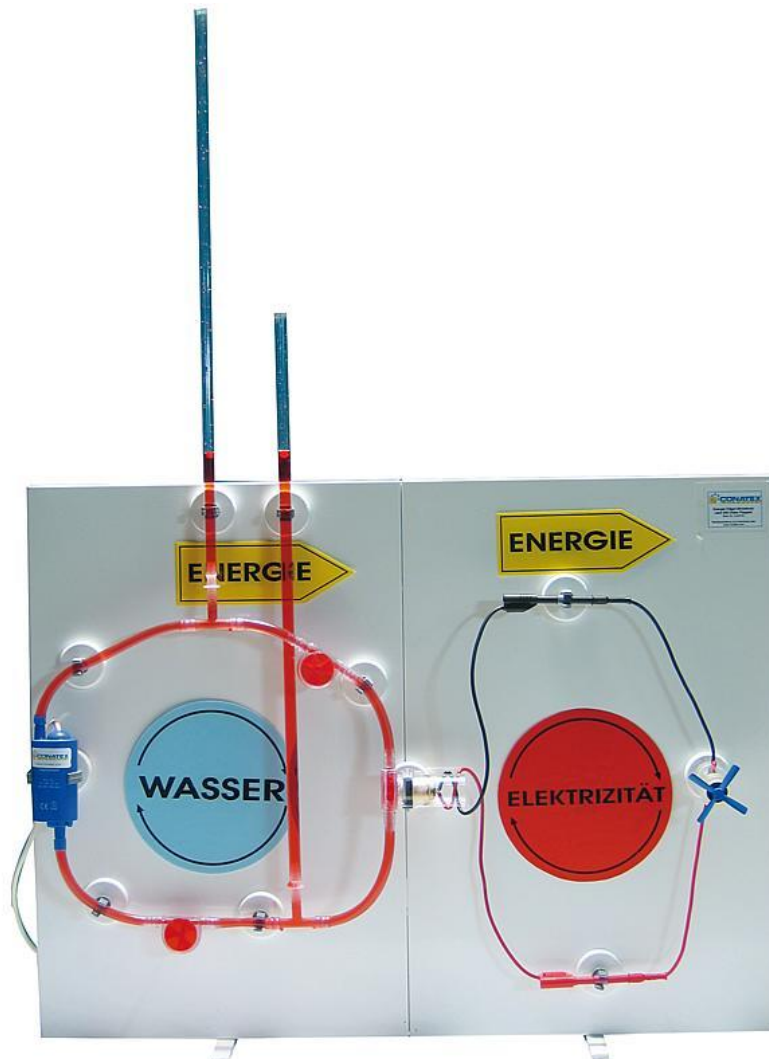


## Energie-Träger-Stromkreis

nach Prof. Dieter Plappert, Freiburg i.Br.

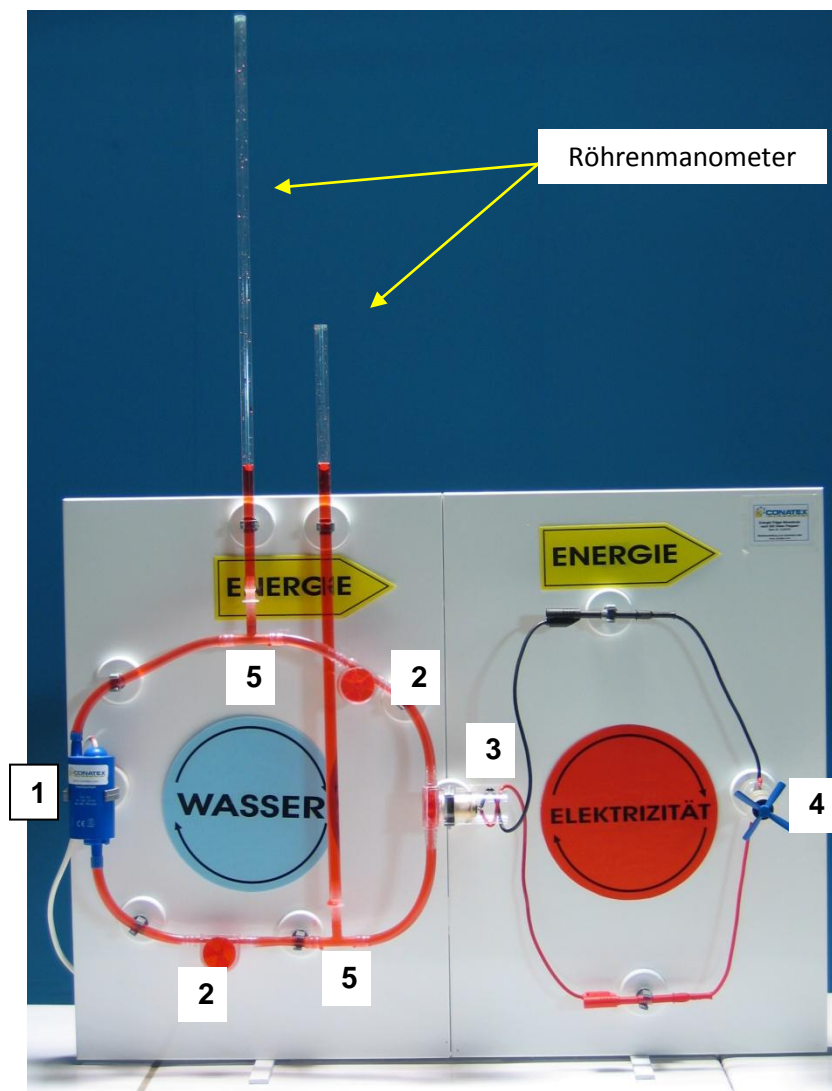


### 1. Eigenschaften

Durch den analogen Aufbau von Wasserstrom- und elektrischem Stromkreis soll deren innerliche physikalische Strukturgleichheit äußerlich „verbildlicht“ werden. Dies soll den Schülern zum einen helfen, die Begriffe „Energie“ und „Energieträger“ klar zu differenzieren. In der Alltagssprache wird „in einem Dynamo Strom erzeugt“, „in einer Glühlampe Strom verbraucht“, bzw. „in Licht umgewandelt“. Durch den Aufbau wird verdeutlicht, dass Energie von der Pumpe zum Propeller fließt und dass Wasser und Elektrizität (bzw. elektrische Ladung) einen anderen Weg nehmen: sie fließen in unverzweigten Stromkreisen, in denen an jeder Stelle die Stromstärke denselben Wert hat. Zum andern kann durch den Aufbau erlebbar gemacht werden, dass Stromkreise als Ganzheit reagieren. Dabei kann systemisches Denken geübt werden: jede lokale Veränderung führt dazu, dass der

Stromkreis als Ganzes reagiert. Wasserströme werden im Unterricht oft zur Veranschaulichung der entsprechenden elektrischen Größen herangezogen, ohne dass die Schüler eigene Erfahrungen von geschlossenen Wasserstromkreisen haben, in denen die „Inkompressibilität“ des Wassers die entscheidende Rolle spielt. Der „Energieträger-Stromkreis“ ermöglicht, dass Begriffe wie „Energie“, „Energieträger“, „Wasserstrom“, „elektrischer Strom“, „Stromstärke“, „Potenzialdifferenz“, „elektrische Spannung“, „Strom-Antrieb-Widerstand“, ... anschaulich und gleichzeitig so präzise eingeführt werden können, dass im weiteren Unterricht sicher auf sie zurückgegriffen werden kann. Durch die bildhafte Einführung zentraler physikalischer Konzepte wird das kumulative Lernen der Schüler gefördert. In [1] wird gezeigt, wie tragfähig und weitreichend die Analogie von Hydraulik und Elektrizitätslehre ist.

## 2. Aufbau



Ist der Wasserstromkreis vollständig mit Wasser gefüllt (hier zur besseren Sichtbarkeit rot eingefärbt) und alle Luftblasen entfernt, kann die Pumpe (1) an jedes Gleichspannungsnetzgerät ( $U_{\max} = 12V$ ) angeschlossen werden. Mit steigender elektrischer Spannung arbeitet die Pumpe stärker, die beiden Strömungskreisel (2) zeigen an, dass die Wasserstromstärke dabei zunimmt. Bei genügend großem Antrieb, beginnt der Wassergenerator (3) zu arbeiten und der Propeller(4) sich zu drehen.

### 3. Füllen des Wasserstromkreises

Zum Füllen des Wasserstromkreises werden die zwei Füllschläuche auf die beiden T-Stücke (5) gesteckt und Wasser aus einem wassergefüllten Becherglas durch den oberen Schlauch so lange angesaugt, bis möglichst alle Luftblasen aus dem Stromkreis entfernt sind. Dann zunächst den oberen wassergefüllten Schlauch mit der Zunge verschließen, bis der untere Schlauch mit einem der beiliegenden Stopfen verschlossen ist. Danach den oberen Schlauch mit dem zweiten Stopfen verschließen. Falls noch einzelne Blasen im Stromkreis sind, den oberen Schlauch zum Entlüften wieder öffnen und die Pumpe mit so kleiner Leistung in Betrieb nehmen, dass die Blasen zum oberen Füllschlauch geführt werden, so dass sie dort den Stromkreis verlassen können.



Abb. 1: Der „Energieträger-Stromkreis“

Zum Entfernen der Füllschläuche müssen beide Schläuche zunächst verschlossen sein, dann einen nach dem anderen entfernen und dabei das jeweilige T-Stück sofort mit einem der Stopfen verschließen. Das wenige dabei austretende Wasser kann mit einem Papierhandtuch aufgefangen werden.

Bei Bedarf kann dem Wasser vor dem Füllen ein wenig Farbstoff zugesetzt werden. Wird in dem Wasser eine Prise Kochsalz gelöst, kann die Algenbildung verhindert werden und der Stromkreis über längere Zeit wassergefüllt aufbewahrt werden.

### 4. Energie und Energieträger

Voraussetzungen: Im Unterricht wurde ein allgemeiner Energiebegriff eingeführt: immer wenn sich etwas bewegt, wenn etwas geheizt wird, ... wird Energie benötigt, die Energie kommt immer irgendwo her, geht immer irgendwo hin.

Die Pumpe wird so betrieben, dass sich der Propeller deutlich dreht. Das Drehen des Propellers zeigt an, dass dort Energie ankommt. Die Energie kann nur von der Pumpe herkommen, die mit dem Netzgerät angetrieben wird. Das Wasser trägt also die Energie zum Wassergenerator. Von dort wird die Energie dann weiter von Elektrizität (bzw. elektrische Ladung) zum Elektromotor transportiert, auf dessen Welle der Propeller aufgesteckt ist. Durch das Verfolgen mit der Hand kann der Weg, den die Energie nimmt, verdeutlicht werden. Energiepfeile, die mit Haftmagneten befestigt werden können, symbolisieren den Weg des Energiestroms. Das Wasser nimmt einen anderen Weg, es strömt im Kreis. Es hat die Aufgabe eines „Energieträgers“: das Wasser wird in der Pumpe mit Energie beladen, es trägt die Energie zur „Turbine“ des Wassergenerators. Dort wird die Energie vom Wasser

geladen. Das Wasser strömt dann zur Pumpe zurück, um von Neuem mit Energie beladen zu werden. Weitere Ausführungen sind in [2] zu finden.

## 5. Differenzierung der Begriffe „Energie“ und „Strom“

Voraussetzungen: Die Schüler haben handelnd erfahren, dass für eine elektrische Energieübertragung „Energiequelle“ und „Energieverbraucher“ immer durch **zwei** Leitungen miteinander verbunden sein müssen.

### Leitfrage:

Warum werden für die elektrische Energieübertragung immer zwei Leitungen benötigt? Der „Energieträger-Stromkreis“ legt nahe, dass bei der elektrischen Energieübertragung analog zur hydraulischen Energieübertragung ein dem Wasser entsprechender Energieträger im Kreis strömt. Dieser Energieträger wird im Alltag häufig „Elektrizität“ genannt, in der physikalischen Fachsprache „elektrische Ladung“. Ersetzen wir das Wort „Wasser“ durch das Wort „Elektrizität“ bzw. „elektrische Ladung“, das Wort „Pumpe“ durch „Dynamo“, das Wort „Turbine“ durch „Motor“, so wird die Bedeutung dieses Energieträgers deutlich: die Elektrizität wird in dem Dynamo des Wassergenerators mit Energie beladen, sie trägt die Energie zum Motor, dort wird die Energie von der Elektrizität geladen. Die Elektrizität strömt zum Dynamo zurück, um dort von neuem mit Energie beladen zu werden. Dem „Wasserstrom“ entspricht hier der „Elektrizitätsstrom“ bzw. der „Strom elektrischer Ladung“ oder kurz der „elektrische Strom“. Der elektrische Strom strömt wie der Wasserstrom im Kreis. Er hat die Aufgabe des Energieträgers. In dem Elektromotor wird in demselben Sinne „elektrischer Strom verbraucht“, wie in der „Turbine Wasser verbraucht“ wird: vom elektrischen Strom und dem Wasser wird Energie geladen, Wasser und Elektrizität verschwinden dabei jedoch nicht sondern fließen im Kreis weiter.

## 6. Der Stromkreis reagiert als System

### Voraussetzungen:

Die Schüler kennen die Begriffe „Wasserstrom“ und „elektrischer Strom“.

### Leitfrage:

Was passiert, wenn die Pumpe eingeschaltet wird? Dreht sich nach dem Einschalten der Pumpe zunächst der Kreislauf vor der Pumpe oder der nach der Pumpe; an welcher Stelle des Stromkreises beginnt das Wasser zuerst zu strömen?

In einem Vorgespräch wird geklärt, dass wir am Wasser selbst nicht sehen können, ob es strömt, selbst wenn es eingefärbt ist. Die Strömungskreisel zeigen die Strömung des Wassers an. Wird das entsprechend vorbereitete Netzgerät eingeschaltet, so wird deutlich, dass beide Strömungskreisel gleichzeitig zu drehen beginnen. Nachdem dann die Inkompressibilität des Wassers mithilfe eines wassergefüllten Kolbenprobers bzw. einer Arztspritze gezeigt worden ist, wird klar, dass das Wasser an jeder Stelle des Stromkreises gleichzeitig zu fließen beginnen muss. Wird danach der Schlauch an irgendeiner Stelle mit den Fingern bzw. mit einer kleinen Schraubzwinde zusammen gedrückt, so drehen sich beide Strömungskreise gleichzeitig langsamer. Daran erkennen wir, dass das gesamte Wasser in dem geschlossenen Stromkreis auf jede Veränderungen an einer einzelnen Stelle reagiert. Unterbrechen wir den Stromkreis an einer Stelle vollständig, so kommt der Strom im

gesamten Stromkreis zum Erliegen. Analoge Versuche können mit dem elektrischen Stromkreis durchgeführt werden. Das Verhalten von Stromkreisen verstehen wir nur, wenn wir die Stromkreise als Ganzheit betrachten.

## 7. Quantitative Versuche

Der „Energieträger-Stromkreis“ ist zunächst für die bildhafte, qualitative Begriffsbildung konzipiert. Bei Bedarf können jedoch die verschiedensten quantitativen Versuche durchgeführt werden [2 ], [3]:

- Bildung des Begriffs „Stromstärke“
- Messung der Wasserstromstärke im Wasserstromkreis
- Messung der Druckdifferenz zwischen den beiden Anschlüssen des Wassergenerators
- Messung der elektrischen Stromstärke im elektrischen Stromkreis
- Messung der Potenzialdifferenz bzw. der elektrischen Spannung zwischen den beiden Anschlüssen des Elektromotors
- Messung der elektrischen Energiestromstärke bzw. der elektrischen Leistung, die an der Pumpe dem „Energieträger-Stromkreis“ zugeführt und an dem Elektromotor abgeführt wird. Daraus kann der Wirkungsgrad der Energieübertragung ermittelt werden.

## 8. Weitere Versuche

Es können vielfältige weitere Versuche mit dem „Energieträger-Stromkreis“ bzw. mit den darauf angebrachten Bauteilen durchgeführt werden [3]. Im Folgenden seien einige kurz angedeutet:

- Statt des Elektromotors kann auch eine rote LED als „Energieindikator“ benutzt werden.
- Mithilfe von auf den T-Stücken (5) angebrachten „Manometerschläuchen“ kann der Wasserdruck vor und hinter dem Wassergenerator angezeigt werden. Die dem Wasserdruck analoge physikalische Größe ist das elektrische Potenzial, das auf diese Weise eingeführt werden kann. Die Druckdifferenz entspricht dann der elektrischen Spannung.
- Der Wassergenerator samt Elektromotor kann von der Aufbauplatte entfernt werden und z.B. als Modell eines „Wasserkraftwerkes“ eingesetzt werden. Eine Druckdifferenz von 20 hPa, was der Höhendifferenz von 20 cm Wassersäule entspricht, genügt, dass sich der Propeller des Elektromotors dreht.

## 9. Literatur:

- [1] Plappert, D.: Die Strukturgleichheit verschiedener physikalischer Gebiete gezeigt am Beispiel Hydraulik-Elektrizitätslehre, Hermann Schroedel Verlag Hannover. Dieser Artikel ist zu finden unter [www.plappert-freiburg.de/physik](http://www.plappert-freiburg.de/physik)
- [2] Plappert, D. Verständliche Elektrizitätslehre, Praxis der Naturwissenschaften Physik 7/52, Oktober 2003
- [3] Anleitungen für qualitative und quantitative Versuche mit dem Energieträger-Stromkreis, bei Conatex ab 2004 erhältlich, bitte fragen Sie bei uns an.

A circular graphic consisting of a thin outer line and a thick inner line. The thick inner line forms a circle with two arrowheads pointing clockwise, one at the top-right and one at the bottom-left.

**ELEKTRIZITÄT**



**WASSER**

**ENERGIE**

**ENERGIE**

**ENERGIE**

**ENERGIE**