

## CL80700 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 kann den Schülern 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 mit Wasser von der Pumpe zum Wassergenerator und dann von dort mit Elektrizität (elektr. Ladung) weiter zum Motor fließt und dass Wasser und Elektrizität (bzw. elektrische Ladung) im Kreis strömen, also einen anderen Weg nehmen. Durch den Aufbau kann außerdem erlebbar gemacht werden, dass Stromkreise als Ganzheit reagieren. Dabei kann systemisches Denken geübt werden: jede lokale Veränderung führt dazu, dass das System „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 eine entscheidende Rolle spielt. Der „Energie-Träger-Stromkreis“ ermöglicht, dass Begriffe wie „Energie“, „Energieträger“, „Wasserstrom“, „elektrischer Strom“, „Stromstärke“, „Potenzialdifferenz“, „elektrische Spannung“, „Strom-Antrieb-Widerstand“,... anschaulich und gleichzeitig so präzise und tragfähig eingeführt werden können, dass im späteren Unterricht sicher auf sie zurückgegriffen werden kann. Durch die bildhafte Einführung zentraler physikalischer Konzepte wird das kumulative Lernen der Schüler gefördert. In der angegebenen Literatur wird dies ausführlich beschrieben.

## 2. Aufbau

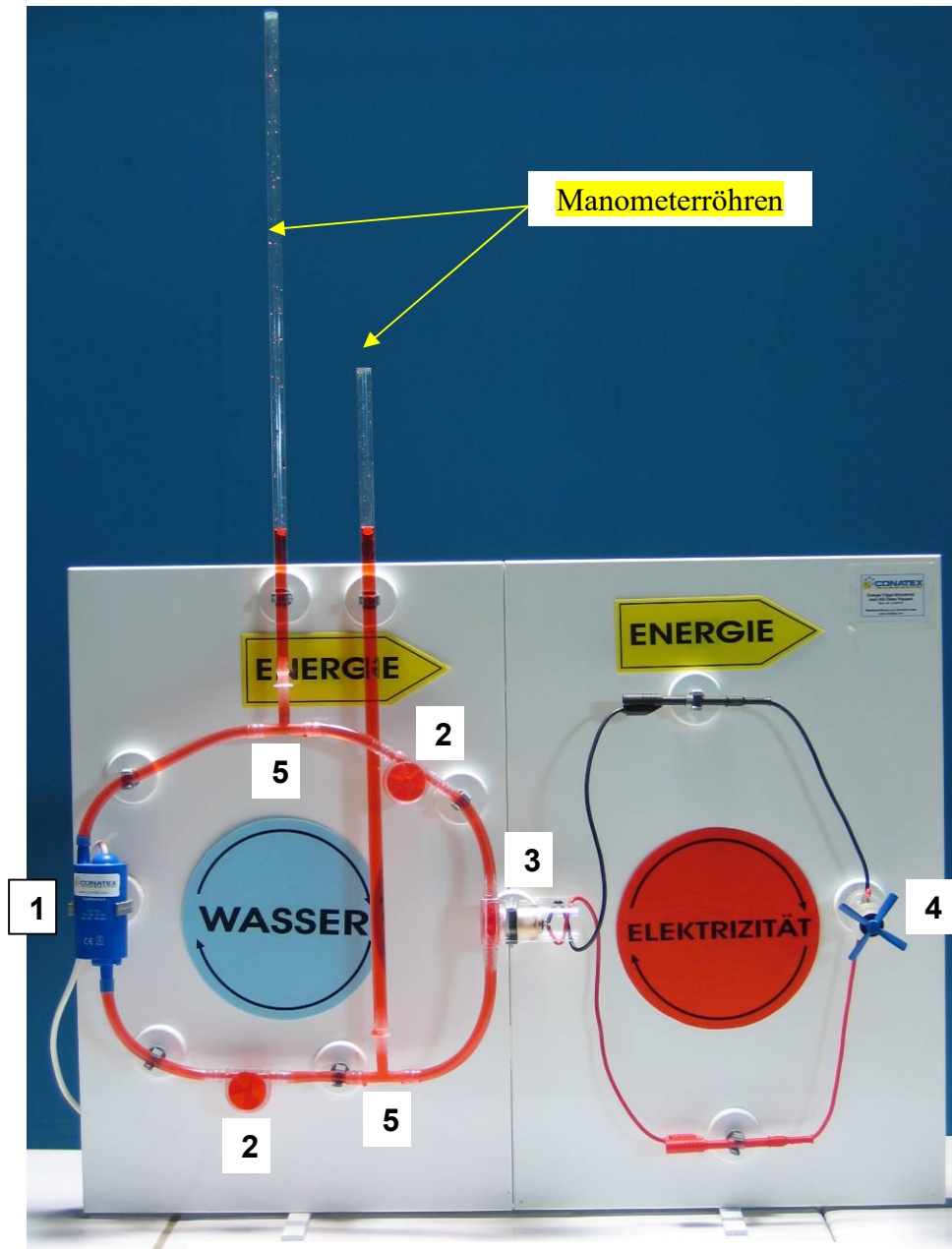


Abb. 1: Aufbau des Energie-Träger-Stromkreises

Ist der Wasserstromkreis vollständig mit Wasser gefüllt 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, die eingebauten Monometerröhren (5), dass die Druckdifferenz dabei

zunimmt. Bei genügend großem Antrieb, beginnt der Wassergenerator (3) und dann auch der Propeller(4) sich zu drehen.

### 3. Das Befüllen des Wasserstromkreises

Zum Befüllen des Wasserstromkreises wird zunächst nur ein Manometerrohr unten eingebaut und mit der Spritzflasche Wasser oben eingefüllt (Abb. 2). Ist das T-Stück dort ganz mit Wasser gefüllt, obwohl sich oft noch Luftblasen im Kreislauf befinden, wird das zweite Manometerrohr dort aufgesteckt. Nun wird abwechselnd in beide Rohre Wasser so eingespritzt, dass die Kugel im Manometerrohr schwimmt und nicht die untere Öffnung verschließt. Ist der Wasserstand so hoch, dass die Pumpe gefüllt ist, kann sie abwechselnd ein- und ausgeschaltet werden um Luftblasen zur Entlüftung zu den Monometerrohren zu „dirigieren“. Ist der Wasserstromkreis vollständig entlüftet, werden beide Manometerrohre mit den beiliegenden Stopfen verschlossen und gegebenenfalls wie im nächsten Abschnitt beschrieben nacheinander ausgebaut..



Zum **Leeren** des Wasserstromkreises werden alle oberen Stopfen entfernt und dann das T-Stück unterhalb der Pumpe über einem Gefäß geöffnet. Um das Wasser besser sichtbar zu machen, kann etwa 300 Lebensmittelfarbe eingefärbt werden und in die Spritzflasche gefüllt werden. Der Wasserstromkreis sollte dann aber bald wieder entleert werden, damit die Schläuche die Farbe nicht annehmen.

**Achtung: Der Stromkreis sollte nicht dauerhaft mit Wasser gefüllt sein. Es könnte zu Korrosion der Magnete und zu Algenbildung kommen.**

### 4. Das Aufstecken und Entfernen der Manometerröhren bei gefülltem Stromkreis

Die Manometerröhren können beim gefüllten Wasserstromkreis aufgesteckt und entfernt werden. Wird die folgende Grundregel **„es darf nie mehr als ein T-Stück gleichzeitig geöffnet, d.h., es darf nie mehr als ein Stopfen gleichzeitig entfernt sein!“** konsequent beachtet, dann treten hierbei höchstens ein paar Wassertropfen aus, die leicht von einem Papierhandtuch aufgenommen werden können. Vor dem Aufstecken eines Manometerrohres, sollte es gefüllt werden (Abb. 4). Dazu kann Wasser aus einem Glas angesaugt werden, danach ist das untere Ende mit dem Daumen so lange zu verschließen, bis die Manometerröhre oben durch einen Stopfen verschlossen ist. Nun kann das Rohr eingebaut werden.

Wird die oben beschriebene Grundregel beachtet, dann können auch ein digitales Manometers (CL80720), bzw. ein Drucksensors (CL 1086001) angeschlossen werden. Hierbei

ist zu beachten, dass bei Messung der Druckdifferenz vor der ersten Messung der Null-

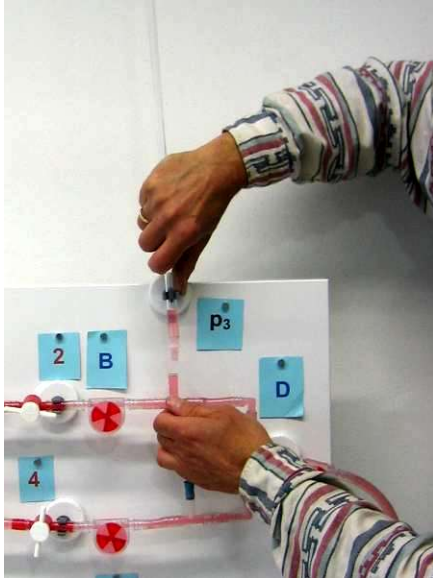


Abb. 3: Das Monometerrohr kann im gefüllten Stromkreis eingebaut werden. Es darf aber nie mehr als eine „Stelle“ gleichzeitig geöffnet sein.

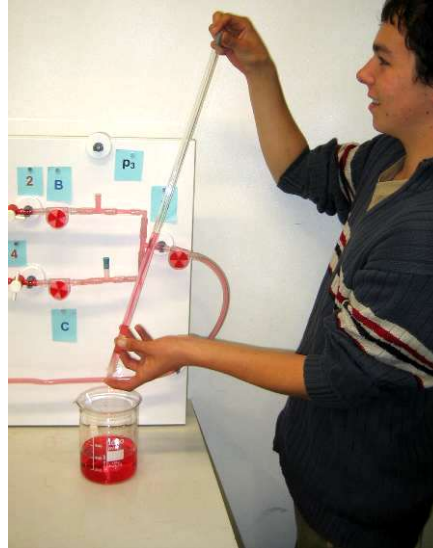


Abb. 4: Wasser wurde angesaugt und dann das Rohr oben verschlossen.



Abb. 5: Das Monometer kann mit dem mitgelieferten Magnethalter an der Metalltafel befestigt werden. Dieser wird dazu zwischen die Anschlüsse des Messgeräts gedrückt.

punkt des Manometers bei ausgeschalteter Pumpe eingestellt werden muss („Tara“-Taste). Werden digitales Manometer und Drucksensor an die eingebauten Manometerrohren angeschlossen, was didaktisch sogar vorteilhaft sein kann, wird die Druckdifferenz direkt, also ohne „Nullpunkttausgleich“ angezeigt.

## 5. Energie und Energieträger

Voraussetzungen: Im Unterricht wurde ein allgemeiner Energiebegriff eingeführt [3]: 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. Antrieb mit einem Handgenerator

Wird die Pumpe mit einem Handgenerator (CL.....) angetrieben (Abb. 6), kann zusätzlich verdeutlicht werden, dass die Energie, die die Schülerin bzw. der Schüler zum Pumpen benötigt, von der zuvor aufgenommenen Nahrung bzw. letztendlich von der Sonne her stammt (Fotosynthese).



Abb. 6: Antrieb mit einem Handgenerator

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

Voraussetzungen: Die Schüler haben im vorangegangenen Unterricht 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 „Energie-Träger-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.



## 7. 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 Kreisel 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 sich 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.

## 8. Quantitative Versuche

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

- 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.

## 9. Weitere Versuche

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

- Statt des Elektromotors kann auch eine rote LED als „Energieindikator“ benutzt werden.
- Die Druckdifferenz und entsprechend die elektrische Spannung zwischen oberer und unterer Leitung können mit einem digitalem Manometer bzw. Drucksensor und einem Spannungsmessgerät angezeigt werden.
- Der Wassergenerator samt Elektromotor kann von der Aufbauplatte entfernt werden und z.B. als Modell eines „Wasserkraftwerkes“ eingesetzt werden. Eine Druckdifferenz von weniger als 20 hPa, was der Höhendifferenz von 20 cm Wassersäule entspricht, genügt, dass sich der Propeller des Elektromotors dreht. Die in Abbildung 7 gezeigten Behälter (CL.....) sowie der Wassergenerator (CL....) sind als Zubehör erhältlich. Auch

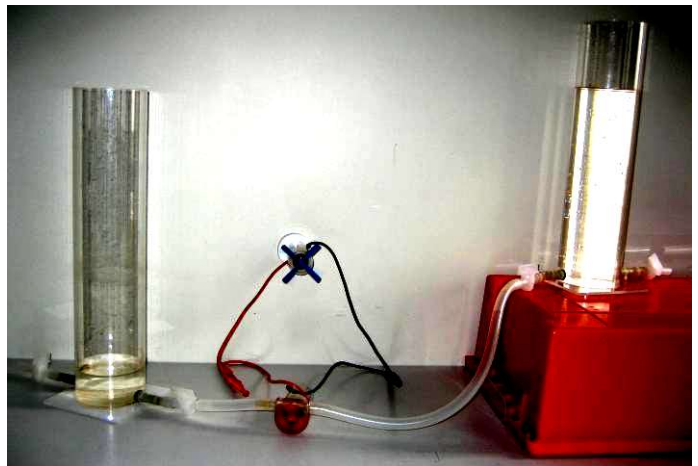


Abb. 7: Modell eines Wasserkraftwerkes: das Wasser strömt bis es in beiden Behältern dieselbe Steighöhe hat. Die Energie wird vom Wassergenerator abgeladen und treibt den Propeller an. Wieder nehmen Energie und Wasser verschiedene Wege.

**12. Literatur: Alle Artikel sind zu finden unter [www.plappert-freiburg.de](http://www.plappert-freiburg.de)**

- [1] Plappert, D.: Die Strukturgleichheit verschiedener physikalischer Gebiete gezeigt am Beispiel Hydraulik-Elektrizitätslehre, Hermann Schroedel Verlag Hannover.
- [2] Plappert, D.: Verständliche Elektrizitätslehre, Praxis der Naturwissenschaften Physik 7/52, Oktober 2003
- [3] Plappert, D.: Der Energiebegriff – die Verzahnung der Naturwissenschaften durch eine gemeinsame Fachsprache, Praxis der Naturwissenschaften Physik 6/55, 2006
- [4] Plappert, D.: Zur Lokalisation von Energieströmen, Praxis der Naturwissenschaften Physik 5/57, 2008



Anhang: „Wasser“, „Elektrizität“ „Energiepfeile“ auf verschiedenfarbigen Karton kopieren, Magnete aufkleben.



**WASSER**