

## Schülerübungen Wasserstromkreis (1080715) nach Prof. Dieter Plappert, Freiburg i.Br.

### 1. Didaktische Vorbemerkungen

Wasserströme werden oft zur Veranschaulichung für die zur Beschreibung von elektrischen Stromkreisen benötigten Begriffe herangezogen, ohne dass die Schülerinnen und Schüler entsprechende eigene Vorerfahrungen haben. Mit dem Wasserstromkreismodell (1080751) kann das Verhalten eines solchen „Wasserstromkreises“ im Demonstrationsexperiment vorgeführt werden. Dabei erscheinen z.B. beim unverzweigten Stromkreis die Konstanz der Stromstärke und beim verzweigten Stromkreis die Knotenregel als Selbstverständlichkeiten. Besonders eindrücklich kann auch demonstriert werden, dass sich der Wasserstromkreis als System verhält, d. h. dass er auf jede *lokale* Veränderung an irgendeiner Stelle des Stromkreises als *Ganzheit* reagiert. Durch die „Schülerübungen Wasserstromkreis“ können die Schülerinnen und Schüler nun durch eigenes Experimentieren die verschiedensten Eigenschaften selbst kennen lernen und sich die wichtigsten Konzepte selbst erarbeiten.

Der für die experimentellen Untersuchungen von Wasserströmen benötigte zusätzliche Zeitaufwand kann zum einen damit gerechtfertigt werden, dass sich die anschaulich erworbenen Begriffe „Stromstärke“, „Spannung (Druckdifferenz)“ und „Widerstand“ als so tragfähig erweisen, dass sich später in anderen Gebieten der Physik, insbesondere in der Elektrizitätslehre, Zeit gewinnen lässt und zum anderen, dass Hydraulik und Pneumatik in unserer technischen Umwelt eine immer größere Rolle spielen. In [1] wird die physikalische Grundlage der hier verwendeten Analogie ausführlich dargestellt und in [2] wird skizziert, wie mithilfe von „Wasseranalogien“ die zentralen physikalischen Konzepte der Elektrizitätslehre eingeführt werden können.

Der Wassergenerator (1080701 oder aus dem „hydraulischen Energie-Träger-Stromkreis“ 1080700 ausgebaut) ist kompatibel zu den „Schülerübungen Wasserstromkreis“. Mit ihm wird es im Schülerexperiment möglich die Begriffe Energie und Energieträger zu differenzieren.



Abb. 1: Die Bauteile der Schülerübungen

## 2. Zur Verwendung der „Schülerübungen Wasserstromkreis“

- Abbildung 1 zeigt die „Bauteile“ der Schülerübungen, die sich in der Aufbewahrungsbox befinden.
- Vor dem **Aufbau** der jeweiligen Versuchsanordnung füllen die Schülergruppen ihr Vorratsgefäß mit Wasser, der Abbildung des Versuchsaufbaus entsprechend. Die Hähne des Vorratsgefäßes müssen dabei geschlossen sein. Bei den meisten Versuchsanordnungen wird der Vorratsbehälter etwa 10 cm hoch mit Wasser gefüllt.
- Bei vielen Versuchsanordnungen dient der Vorratsbehälter als „Drucknullpunkt“.
- Beim Aufbau der Versuchsanordnung müssen die Schülerinnen und Schüler darauf achten, dass sie alle Schlauchenden vollständig über die Anschlussstücke ziehen.
- Bei vielen Versuchsanordnungen ist es ratsam, z. B. durch Hin- und Herdrehen der Wasserpumpe, zunächst möglichst alle Luftblasen „heraus zu treiben“.

- Die Manometer-Steigröhren werden durch die beiliegenden Magnethalter gehalten. Bevor eine Röhre in den Halteclip gesteckt wird, sollten die Schlauchenden möglichst



Abb. 2: Die Schlauchenden ganz aufziehen, dann die Röhre in den Halter stecken

- weit auf die beiden Anschlussstücke gezogen werden (Abb. 2).
- Die Pumpe sollte nur so stark betätigt werden, dass kein Wasser oben aus den Manometer-Steigröhren heraus fließt bzw. unten keine Luft in das Schlauchsystem eingesogen wird.
- Vor dem **Abbau** der Schläuche sollte möglichst viel Wasser aus dem Schlauchsystem in das Vorratsgefäß zurückgepumpt werden. Dazu kann ein Hahn des Vorratsbehälters geschlossen und das Wasser in die entgegengesetzte Richtung gepumpt werden. Danach kann der 2. Hahn des Vorratsgefäßes geschlossen werden.
- Das Wasser, das sich dann noch im Schlauchsystem befindet, möglichst vollständig durch Heben einzelner Strom-



So kann alles nach Gebrauch trocknen

kreisteile in das Vorratsgefäß zurück fließen lassen.

- Das Wasser, das beim weiteren Auseinanderbauen auf die Arbeitsfläche läuft, kann mit dem Mikrofaser Tuch aufgenommen werden, das gegebenenfalls in das Vorratsgefäß ausgewrungen wird.
- Alle Bauteile so in die Aufbewahrungsbox zurücklegen, dass dabei möglichst wenig Wasser in die Box gelangt. Den Deckel der Box mindestens einen Tag zum Abtrocknen geöffnet lassen. Die Abbildung zeigt, wie das ausgewrungene Tuch zum Trocknen aufgehängt werden kann.

### 3. Beispiele für Versuchsanordnungen

Im Folgenden werden als Anregung zur Erstellung eigener Arbeitsblätter einige der vielen möglichen Versuchsanordnungen beschrieben. Ich würde mich freuen, wenn Sie mir weitere Beispiele als Anregung zur Ergänzung der Betriebsanleitung zusenden. (post@plappert-freiburg.de).

#### 3.1. Druckgleichgewicht

**Frage:** Läuft das Steigrohr über, wenn der Hahn des wassergefüllten Vorratsbehälters geöffnet wird?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 3

**Ergebnisse:**

- Bei gleicher Füllhöhe stellt sich ein **Druckgleichgewicht** ein.
- Der Druck in einer Wassersäule hängt nur von der Höhe und nicht von der Wassermenge, die sich im Gefäß befindet, ab.

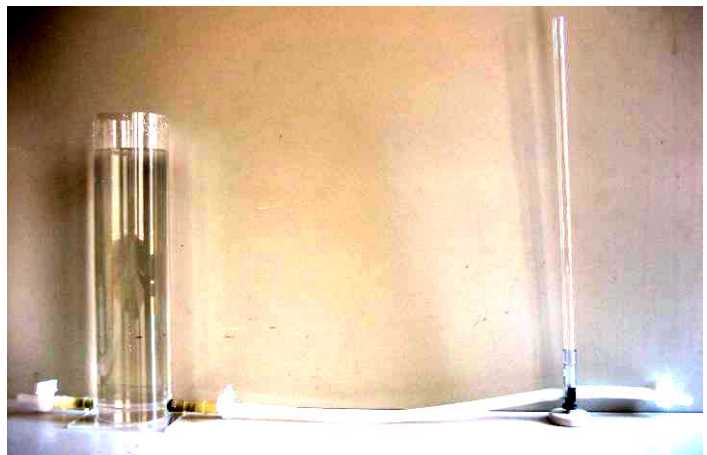


Abb. 3: Läuft das Steigrohr nach Öffnen des Hahns über?

**Zusatzversuche:**

- Da die Schläuche flexibel sind, kann das Steigrohr verschoben (Abb. 4), gehoben (Abb. 5 mit 2. Vorratsgefäß 108.0711) oder schräg gestellt werden; immer bleibt die Steighöhe gleich! (→ „**Wasserwaage**“, „**Schlauchwaage**“).
- Auch wenn mehrere Steigrohre angeschlossen sind (Abb. 6), stellt sich überall dieselbe Füllhöhe ein! (→ „**kommunizierende Röhren**“)



Abb. 4: verschobenes Steigrohr

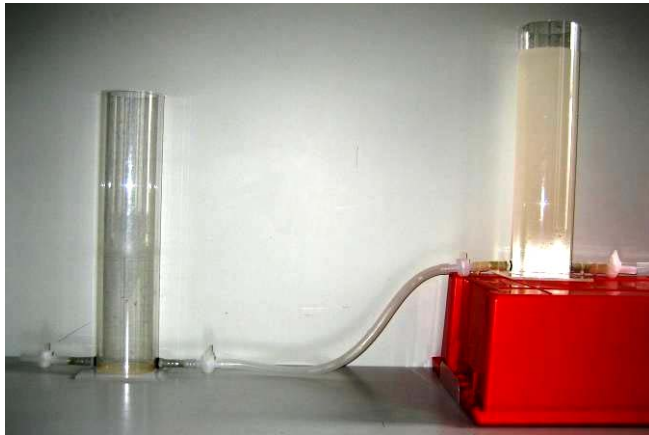


Abb. 5: gehobenes Vorratsgefäß



Abb. 6: zwei Steigröhren sind angeschlossen

### 3.2. Stromstärke

**Frage:** Wasser strömt, ohne dass wir es strömen sehen!

**Versuchsaufbau:** Abbildung 3; Hahn nur halb geöffnet, alle Luftblasen sollten entfernt sein!

**Ergebnisse:**

- Dass Wasser strömt, können wir nicht direkt *sehen*.
- Dass Wasser strömt, *denken* wir uns, da der Wasserspiegel in dem einen Gefäß sinkt, gleichzeitig in dem anderen steigt, die zwei Gefäße durch einen Schlauch miteinander verbunden sind und Wasser nicht spurlos verschwinden oder auftauchen kann (→ „**Wassererhaltung**“)
- Die Menge, die pro Zeit strömt wird **Wasserstromstärke** genannt.



### 3.3. Messung der Wasserstromstärke

**Frage:** Wie kann die Wasserstromstärke gemessen werden?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 7, zusätzlich Messgefäß und Stoppuhr

**Ergebnisse:**

- Durch Messen der Wassermenge, die in einer bestimmten Zeit strömt, können wir die Wasserstromstärke bestimmen.
- Die Wasserstromstärke ist um so kleiner, je weiter der Hahn geschlossen ist und je tiefer der Füllstand des Vorratsbehälters ist....

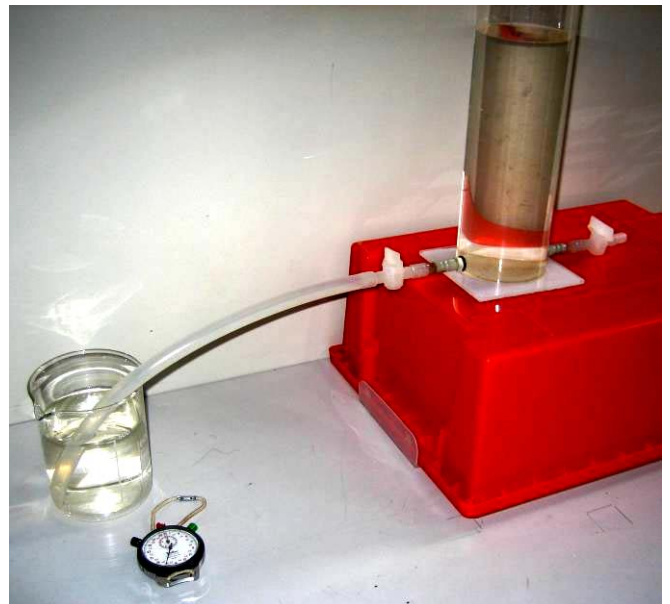


Abb. 7: Die Wasserstromstärke wird ermittelt

### 3.4. Wasserstromstärkemessgerät

**Frage:** Wie kann die Wasserstromstärke direkt gemessen werden?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 8

**Ergebnisse:**

- Wird das Wasserrädchen in die Verbindung zwischen den beiden Gefäßen eingebaut, dann zeigt das Drehen des Wasserrädchens an, ob Wasser strömt.
- Je schneller sich das Wasserrädchen dreht, desto größer ist die Wasserstromstärke.
- Das Wasserrädchen ist ein „**Wasserstromstärkemesser**“.
- Um es einzubauen, muss der Schlauch „durchgeschnitten“ werden, damit es in die Verbindung eingebaut werden kann, so dass der Wasserstrom durch das „Messgerät“ hindurch fließt.
- In [2] wird erläutert, wie dieses Wasserstrommessgerät im Prinzip geeicht werden kann.

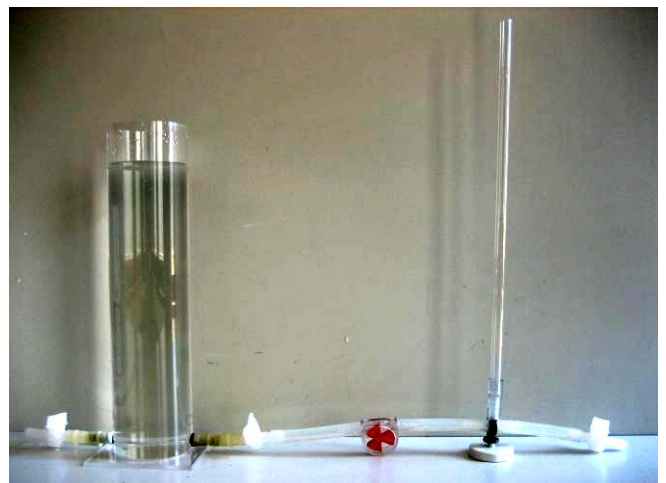


Abb. 8: Das Wasserrädchen zeigt an, ob Wasser strömt.

## 3.5. Die Druckdifferenz als Antrieb - das Strom-Antrieb-Konzept

**Frage:** Was treibt einen Wasserstrom an?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 9

**Ergebnisse:**

- Nach Öffnen des Hahns strömt das Wasser, so lange es einen Höhenunterschied und damit einen Druckunterschied gibt.
- Der **Druckunterschied, d.h. die Druckdifferenz ist der Antrieb des Wasserstroms.**

**Zusatzversuche:**

- Ein in den Schlauch eingebautes Wasserrädchen zeigt an, dass die Wasserstromstärke umso größer ist, je größer die Druckdifferenz ist und je weiter die Hähne geöffnet sind.
- Drücken wir mit den Fingern den Schlauch zusammen, so wird die Wasserstromstärke kleiner, der **Strömungswiderstand** wird größer.
- Die Stärke des Wasserstroms ist umso größer, je größer der Antrieb ist („Druckdifferenz“) und je kleiner der Strömungswiderstand ist. (→ „**Strom-Antrieb-Konzept**“)

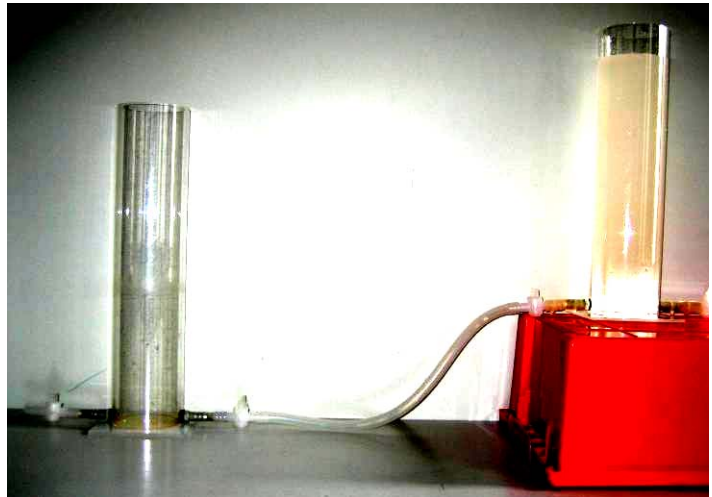


Abb. 9: Wie lange strömt das Wasser?

## 3.6. Pumpen

**Frage:** Kann Wasser gegen eine Druckdifferenz anströmen?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 10 mit zwei Vorratsbehältern. Als 2. Behälter kann auch ein Steigrohr verwendet werden.

**Ergebnis:**

- Mithilfe einer Pumpe kann Wasser gegen eine Druckdifferenz, also von tiefem Druck zu hohem Druck, gepumpt werden.

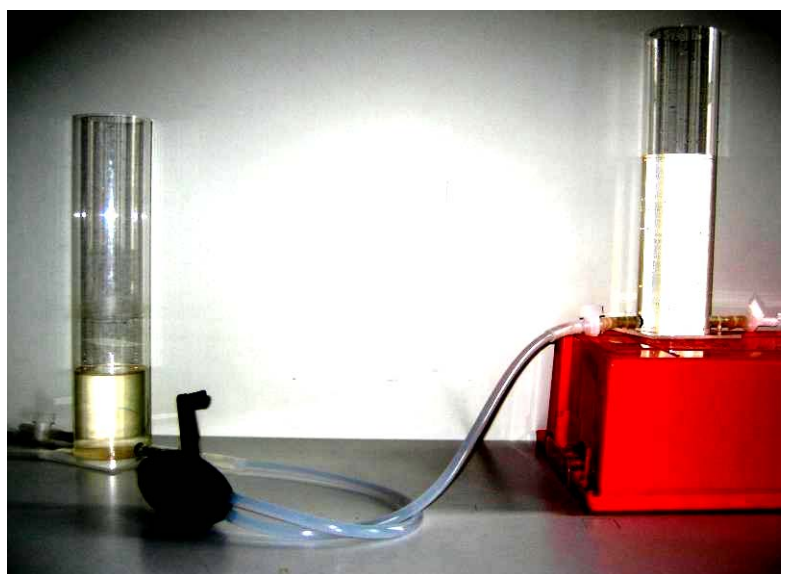


Abb. 10: Mit einer Pumpe strömt Wasser gegen eine Druckdifferenz

## 3.7. Stromkreise - ein System

**Frage:** Wie können wir es erreichen, dass das Wasser dauerhaft strömt?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 11

**Ergebnisse:**

- Treiben wir die Pumpe in einem geschlossenen Stromkreis an, so strömt das Wasser dauerhaft im Kreis.

**Zusatzversuche:**

- Bauen wir an verschiedenen Stellen „Steigröhren“ ein, so können wir sehen, dass das Wasser „von allein“ von hohem zu tiefem Druck und in der Pumpe gegen eine Druckdifferenz, vom tiefen zum hohem Druck strömt (Abb. 12).
- Beginnen wir zu pumpen, so beginnt das Wasser zugleich\* im ganzen Stromkreis zu strömen, alle Wasserrädchen beginnen gleichzeitig sich zu drehen; der Wasserstromkreis reagiert als Ganzes. (→ „**System**“)
- Ändern wir den Strömungswiderstand im Stromkreis an irgendeiner Stelle (durch Zudrücken des Schlauches oder durch Schließen eines Hahns), so nimmt die Wasserstromstärke im ganzen Stromkreis zugleich ab. *Der Wasserstromkreis reagiert als Ganzes auf jede lokale Störung.* (→ „**System**“)

\* An dieser Stelle im Unterricht wird zunächst vernachlässigt, dass die „Druckwelle“ eine endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit hat.

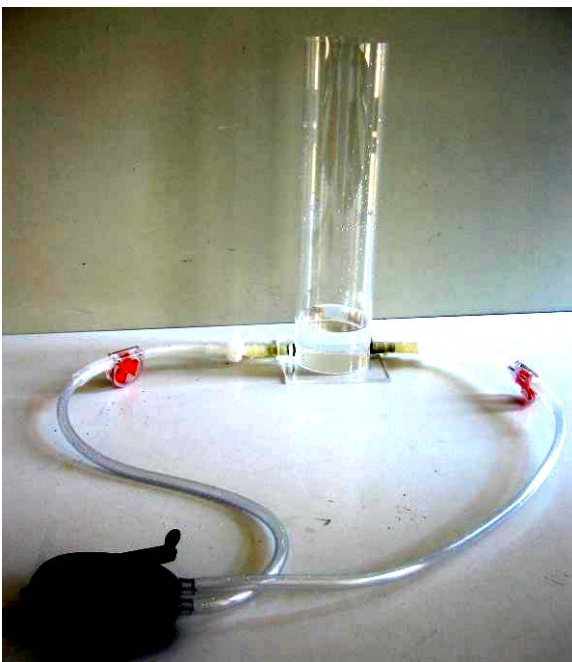


Abb. 11: Das Wasser fließt im Kreis

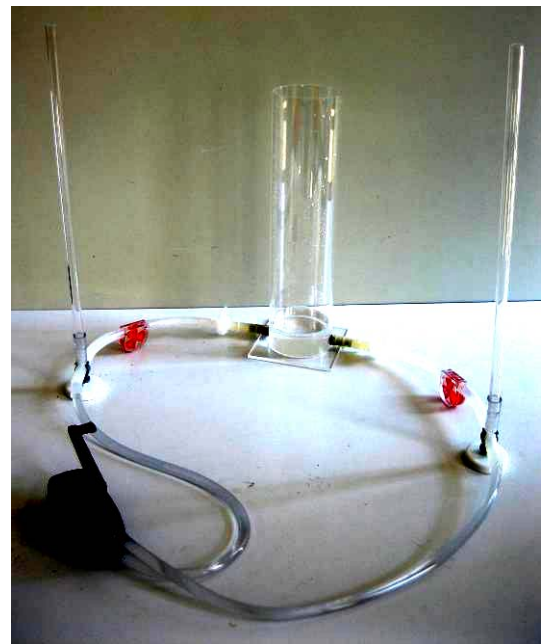


Abb.: 12 Die Füllhöhe zeigt den Druck an.

### 3.8. Knotenregel - der verzweigte Stromkreis

**Frage:** Was passiert, wenn sich der Wasserstrom verzweigt?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 13 , zunächst ohne Steigrohre

**Ergebnisse:**

- Die Wasserstromstärke im Gesamtsystem ist überall gleich.
- Bei der Verzweigung teilt sich der Wasserstrom den Widerständen der Zweige entsprechend auf. (→ „**Knotenregel**“: die Summe der Wasserstromstärke in einen Knoten hinein ist genau so groß wie die Summe der Wasserstromstärke aus dem Knoten heraus.)

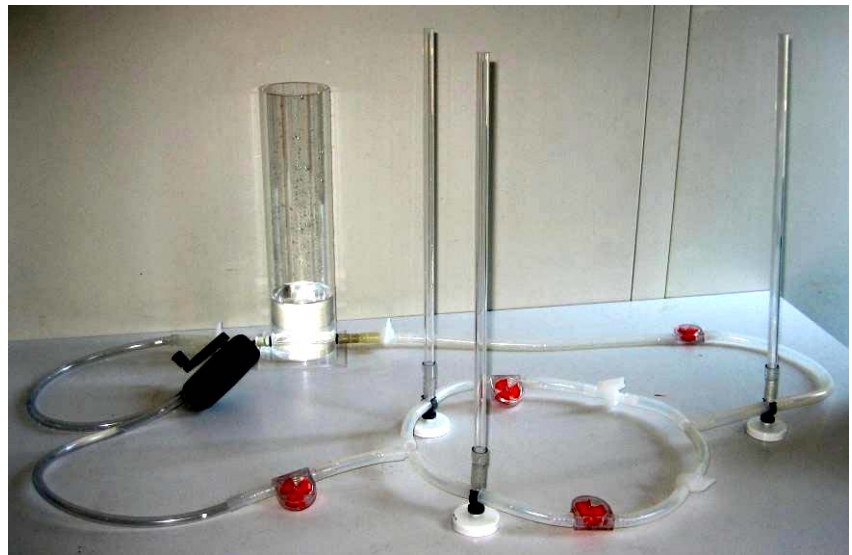


Abb. 13: Der verzweigte Wasserstromkreis

**Zusatzversuch:**

Bauen wir an verschiedenen Stellen „Steigrohre“ ein (Abb. 13), so können wir die Druckverhältnisse im verzweigten Stromkreis „sichtbar“ machen.

- Der Vergleich der Steigrohren vor und nach der Verzweigung ergibt, dass der Gesamtwiderstand der beiden Zweige immer kleiner ist als der Widerstand eines Zweiges allein.



### 3.9. Reihenschaltung von Widerständen

**Frage:** Wie ändert sich der Strömungswiderstand des Stromkreises, wenn mehrere Widerstände hintereinander liegen?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 14, zunächst jedoch ohne Steigrohre

**Ergebnisse:**

- Der Strömungswiderstand des Gesamtsystems ist umso größer, je mehr Widerstände hintereinander liegen (Zusammendrücken der Schläuche, Schließen der Hähne).

**Zusatzversuche:**

Bauen wir an verschiedenen Stellen „Steigröhren“ ein (Abb. 14), so können wir die Druckverhältnisse im Stromkreis „sichtbar“ machen.

- Ist der Strömungswiderstand zwischen zwei Steigröhren groß, so ist dort der Unterschied des Drucks groß.
- Je größer der Strömungswiderstand eines Schlauchstücks ist, desto größer ist die Druckdifferenz zwischen den Enden des Schlauchstücks, desto stärker muss der Wasserstrom dort angetrieben werden.
- Die Druckdifferenz, die die Pumpe erzeugt, verteilt sich über den Stromkreis den Widerständen entsprechend.
- Wird beim gleichmäßigen Drehen der Pumpe zusätzliches Wasser in das Schlauchsystem hinzugegeben, so ändern sich die Füllhöhen an jeder Stelle. Der absolute Druck steigt überall; das Strömungsverhalten ändert sich jedoch nicht; das Strömungsverhalten wird nicht vom *absoluten* Druck, sondern nur von *Druckdifferenzen* bestimmt.

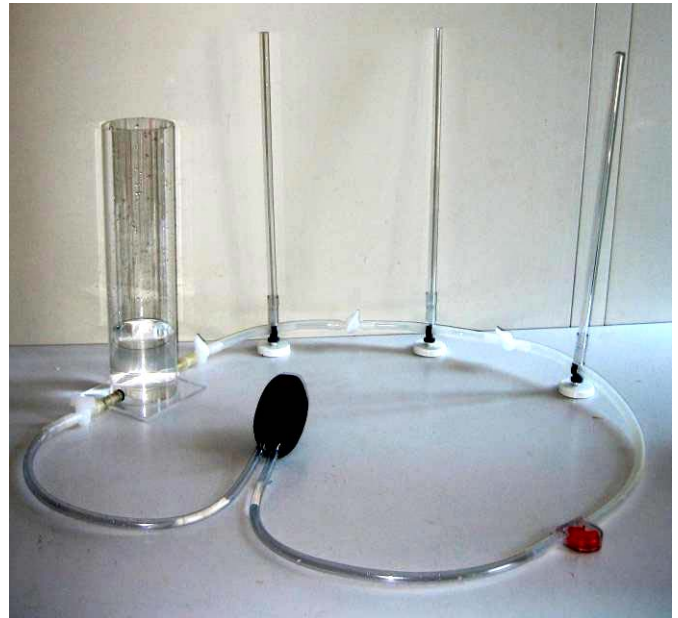


Abb. 14: mehrere „Widerstandshähne“ in Reihe

## 3.10. Energie-Träger-Konzept\*

\* Hierfür wird der Wassergenerator (1080701 oder aus dem „hydraulischen Energie-Träger-Stromkreis“ 1080700 ausgebaut) benötigt.

**Frage:** Wie kann Energie mit Wasser transportiert werden?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 15, zunächst jedoch ohne Steigröhre.

### Ergebnisse:

- Das Drehen des Propellers verdeutlicht, dass dort **Energie** ankommt.
- Die Energie kommt von der Person, die die Pumpe antreibt, wird vom Wasser zum Wassergenerator und von dort von Elektrizität zum Lüfter transportiert.
- Wasser und Elektrizität spielen die Rolle des **Energieträgers**.
- Je größer die Wasserstromstärke ist, desto schneller dreht sich der Propeller, desto mehr Energie wird pro Sekunde von dem Wasser transportiert.

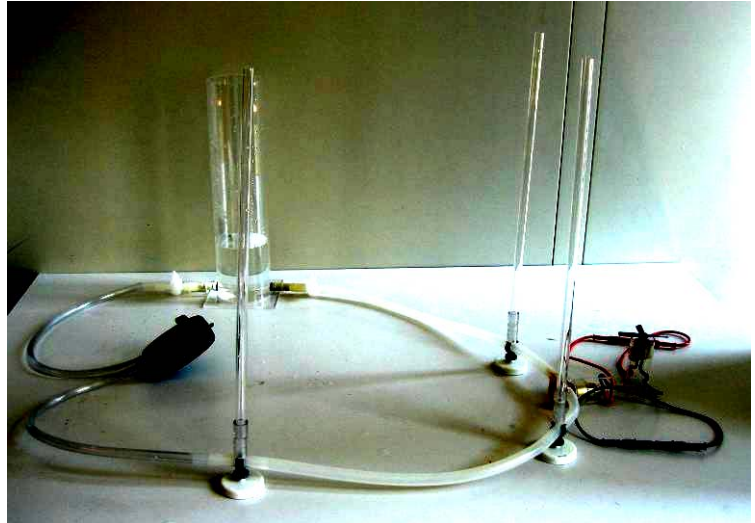


Abb. 15: mit eingebautem Wassergenerator

### Zusatzversuche:

Bauen wir an verschiedenen Stellen „Steigröhren“ ein (Abb. 15), so können wir die Druckverhältnisse im Stromkreis „sichtbar“ machen.

- Je größer die Druckdifferenz ist, desto schneller dreht sich der Propeller, desto mehr Energie wird pro Sekunde vom Wasser dorthin transportiert.
- Die Druckdifferenz am Wassergenerator ist größer als die eines Schlauchstücks; am Wassergenerator wird mehr Energie vom Wasser abgeladen.
- Die Druckdifferenz zwischen zwei Stellen des Stromkreises zeigt an, ob dazwischen viel oder wenig Energie vom Wasserstrom abgeladen bzw. aufgeladen wird.
- Damit Wasser durch ein Schlauchstück strömen kann, wird Energie benötigt; diese Energie wird beim Strömen vom Wasser abgeladen, der Druck nimmt längs des Schlauches ab.

## 3.11. Pumpspeicherwerk\*

\* Hierfür wird zusätzlich ein 2. Vorratsgefäß (108.0711) benötigt.

**Frage:** Wie kann Energie in einem Pumpspeicherwerk gespeichert werden?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 16

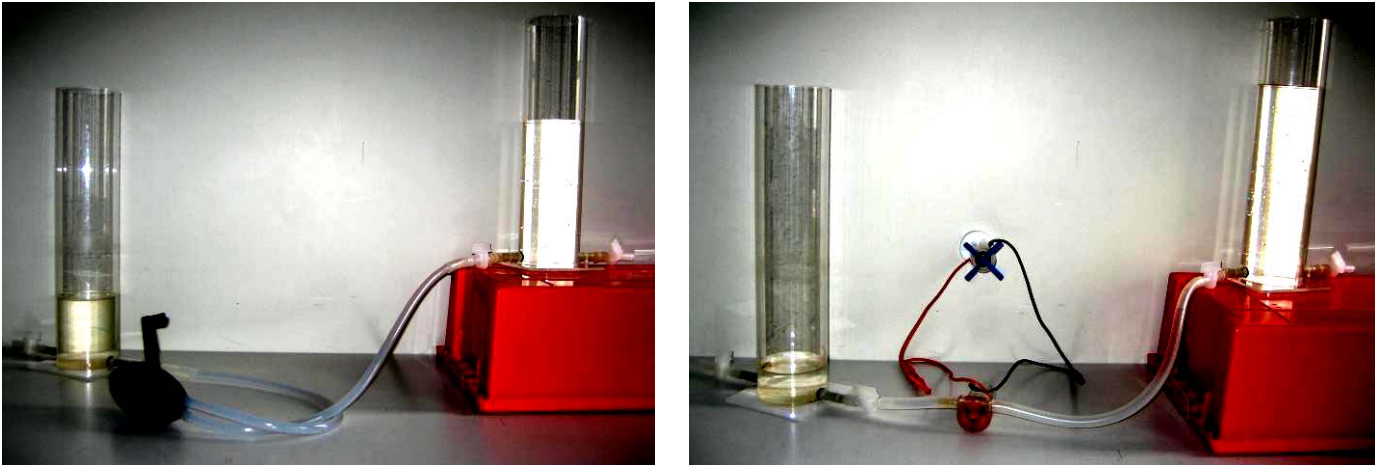


Abb. 16: Durch das Pumpen des Wassers wird die Energie gespeichert, die später den Wassergenerator antreibt

### Ergebnisse:

- Durch das Pumpen des Wassers wird die Energie gespeichert, die später den Wassergenerator antreibt.
- Je größer die **Wassermenge** ist, die im oberen Vorratsgefäß gespeichert wurde, desto mehr **Energie** ist im Pumpspeicherwerk gespeichert.
- Je größer die Höhendifferenz, d.h. die **Druckdifferenz** zwischen den beiden Vorratsbehältern ist, desto mehr **Energie** ist im Pumpspeicherwerk gespeichert.

## 4. 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