



# Inhaltsverzeichnis

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Kurzfassung.....                            | 1  |
| 1.1   | Einleitung.....                             | 1  |
| 2     | Vorgehensweise .....                        | 2  |
| 2.1   | Planung.....                                | 2  |
| 2.1.1 | Problemstellung 1:.....                     | 2  |
| 2.1.2 | Problemstellung 2:.....                     | 2  |
| 2.1.3 | Problemstellung 3:.....                     | 2  |
| 2.1.4 | Problemstellung 4:.....                     | 3  |
| 2.2   | Entwurf 1 .....                             | 3  |
| 2.3   | Entwurf 2 .....                             | 5  |
| 3     | Entwurf 3.....                              | 6  |
| 3.1   | Zyklus .....                                | 7  |
| 3.1.1 | Betankung.....                              | 7  |
| 3.1.2 | Absinkvorgang .....                         | 7  |
| 3.1.3 | Elektrolyse.....                            | 7  |
| 3.1.4 | Aufstiegsvorgang .....                      | 8  |
| 3.2   | Hypothese für den theoretischen Beweis..... | 8  |
| 3.3   | Mathematischer Beweis.....                  | 10 |
| 4     | Ergebnisse .....                            | 12 |
| 4.1   | Ergebnisdiskussion .....                    | 12 |
| 4.1.1 | Fazit.....                                  | 12 |
| 4.1.2 | Perspektiven .....                          | 13 |
| 4.1.3 | Risiken.....                                | 13 |
| 4.1.4 | Chancen.....                                | 14 |
| 4.1.5 | Innovationen.....                           | 14 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.2 | Zusammenfassung .....  | 15 |
| 5   | Unterstützungsleistungen .....   | 15 |
| 5.1 | Danksagung .....   | 15 |
| 6   | Abbildungsverzeichnis .....  | 15 |
| 7   | Quellenverzeichnis: .....  | 16 |
| 7.1 | Andere Quellen für das Grundverständnis .....                              | 18 |
| 7.2 | Andere Quellen für den mathematischen Beweis .....                         | 18 |
| 7.2 | Andere Quellen für die Materialauswahl und andere realistische Werte ..... | 19 |

# 1 Kurzfassung

Das Gravitations-Elektrolysekraftwerk (kurz: GEK) ist eine Apparatur, mit der es gelingt, die potentielle Energie des Gravitationsfeldes für den menschlichen Energiebedarf nutzbar zu machen. Der Nutzen für den Menschen sind Wasserstoff und Sauerstoff, die am Ende von einem Zyklus abgeschieden werden können. Der Name des Projekts sagt einiges über die Funktionsweise des Kraftwerks aus, da es im Kern darum geht, durch die gravitative Kraft der Erde Strom zu gewinnen und diesen in einer Elektrolysevorrichtung zu verwenden. Die durch die Elektrolyse gewonnenen Gase dienen dazu, das Kraftwerk mittels Auftriebskraft in seinen Ausgangszustand zu versetzen.

## 1.1 Einleitung

Seit ca. zwei Jahren mache ich mir Gedanken zu U-Booten, Wasserdruck und Gravitation. Daher hatte ich vor ca. 18 Monaten die Idee eines U-Boots, das mit einem Wasserdruckmotor betrieben werden sollte. Bei der theoretischen Ausarbeitung erkannte ich jedoch gravierende Problemstellungen, die die praktische Umsetzung vereitelten. Dennoch waren diese Gedankengänge nicht vergebens, da ich in Kontakt mit dem Themenbereich rund um maritime Stromgewinnung kam.

Zu Beginn des ersten Lockdowns rund um den 18. März kam ich durch einen Einfall zu meinem jetzigen Projekt. Die Idee sah so aus, dass eine Kugel mit einer zylindrischen Aussparung in der Mitte an einer Stange unter Wasser absinken und durch diesen Vorgang Strom gewinnen soll, um mitgeführtes Wasser aus Tanks in der druckresistenten Kugel in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten. Dadurch würde eine Dichteverringering stattfinden und die Kugel würde wieder auftauchen.

Diese Idee ist bestechend einleuchtend, doch die Planung und Ausarbeitung stellte sich als schwierig und komplex heraus.

## 2 Vorgehensweise

### 2.1 Planung

#### 2.1.1 Problemstellung 1:

*Wie soll der Strom gewonnen werden?*

Ich hatte überlegt, dass die Spannung durch die Drehbewegung eines Dynamos induziert wird<sup>1</sup>. Diese Drehbewegung wird mit Zahnrädern und einem Getriebe durch das Absinken der Kugel erzeugt, indem die Stange, an der die Kugel absinkt, eine Zahnradstange ist und das Getriebe mit einem Zahnrad die entstehende Drehung zum Dynamo weiterleitet.

#### 2.1.2 Problemstellung 2:

*Wie soll das Wasser gespalten werden?*

Von Anfang an hatte ich beabsichtigt, dass das Wasser mit Hilfe von Strom gespalten werden soll und somit Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis zwei zu eins entstehen<sup>2</sup>. Hierbei wird auch noch eine katalytische Säure benötigt, damit die wässrige Lösung hinreichend leitfähig wäre. Dabei muss auf die Überspannung der Säure geachtet werden, da eine Spaltung der selbigen zu giftigen Nebenprodukten führen kann, die an dieser Stelle unerwünscht sind.<sup>3</sup> Um dies zu verhindern, könnte jedoch ein modernes Membranverfahren genutzt werden.<sup>4</sup>

#### 2.1.3 Problemstellung 3:

*Wohin sollen die Gase in der Kugel geleitet werden?*

Mir leuchtete schnell ein, dass es das Einfachste ist, wenn die Gase in die Wassertanks der Kugel zurückgeleitet werden, da bei der Elektrolyse Wasser verbraucht wird und der freiwerdende Platz für die Produkte der Elektrolyse genutzt werden kann. Jedoch

---

<sup>1</sup> Vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=hGe5ubghFm0>

<sup>2</sup> Vgl. Chemie, Elektrolyse

<sup>3</sup> Vgl. [https://www.chemie.de/lexikon/Überspannung\\_%28Elektrochemie%29.html](https://www.chemie.de/lexikon/Überspannung_%28Elektrochemie%29.html)

<sup>4</sup> Vgl. <https://www.chemieunterricht.de/dc2/iat/h2oelem.htm>

verbrauchen Wasserstoff und Sauerstoff deutlich mehr Platz aufgrund ihrer geringen Dichten und passen unter Normaldruck nicht mehr in den freiwerdenden Platz des Wassertanks. Eine Lösung dieses Problems wäre die Komprimierung der Gase, wodurch diese allerdings keine geringere Dichte mehr haben und die Kugel nicht aufsteigen würde. Darüber hinaus stellt sich die Frage, woher die elektrische Energie für die Komprimierung kommen soll.

#### 2.1.4 Problemstellung 4:

*Was soll mit den Gasen am Ende geschehen?*

Nachdem die Gase in der Kugel wieder nach oben transportiert worden sind, gibt es zwei Möglichkeiten mit ihnen zu verfahren. Einerseits könnte man Sauerstoff und Wasserstoff durch z. B. Schiffe oder Leitungen abtransportieren und extern als Brennstoff für z. B. Autos verwenden. Andererseits könnte man in das Kraftwerk eine Brennstoffzelle<sup>5</sup> einbauen, um direkt Strom zu gewinnen.

## 2.2 Entwurf 1

*Zur Problemstellung 1:*

Mir kam wieder der Gedanke, die Kraft des Wasserdrucks zu nutzen und somit überlegte ich mir, dass ein Kolben in der Kugel angebracht werden könnte, der durch den Wasserdruck von außen eingedrückt wird. Der Wasserdruck  $p$  lässt sich aus der Tiefe  $t$ , der Fallbeschleunigung  $g$  und der Dichte des Mediums  $\rho_f$  berechnen, wobei  $p = \rho_f \cdot t \cdot g$ <sup>6</sup> gilt. Da die Dichte des Wassers und die Fallbeschleunigung nahezu konstant sind, wächst der Druck mit der Sinktiefe. Die Bewegung des Kolbens sollte die Gase komprimieren, welche mit einem Gummizug-System eine Membran an der Kugel nach außen aufdrücken sollten, um das Volumen der Kugel zu erhöhen und somit die

---

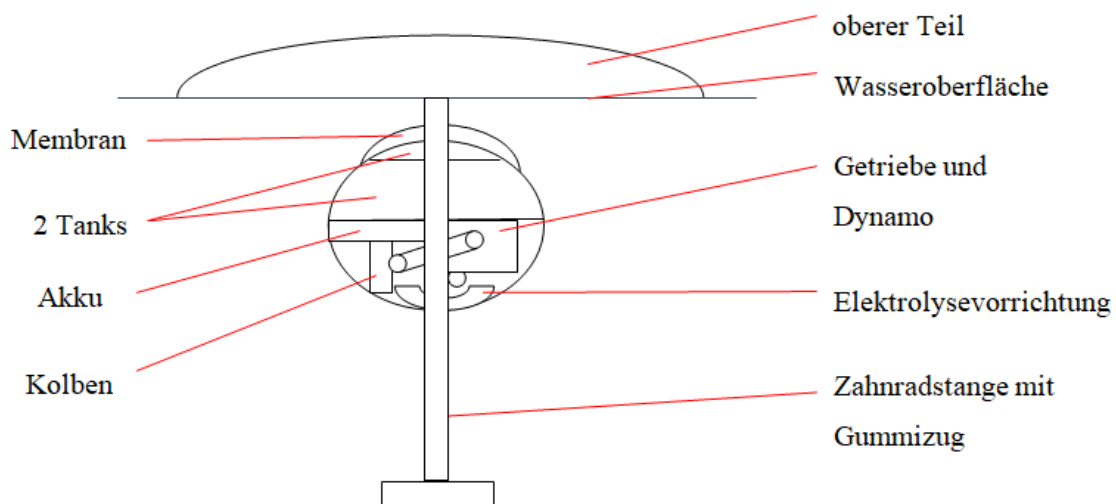
<sup>5</sup>Vgl. <https://www.erdgas.info/neue-heizung/heizungstechnik/brennstoffzelle/funktionsprinzip-brennstoffzelle/>

Vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=HDr06lC2fi0>

<sup>6</sup>Vgl. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/schweredruck-fluessigkeiten#:~:text=Den%20Druck%20in%20einer%20Fluessigkeit,Fluessigkeitssaule%20entsteht%2C%20nennt%20man%20Schweredruck.&text=Er%20kann%20berechnet%20werden%20mit,%20%20g%20%20h%20>

Dichte zu senken. Der Gummizug sollte so aussehen, dass die Kugel im Sinkvorgang einen Gummi oder eine Feder spannt. Der Kolben würde durch den höheren Wasserdruck in größeren Tiefen die Gase fast genauso stark komprimieren, wie der Außendruck. Der Gummi würde an dieser Stelle die Kugel, wenn auch nur ein paar Meter, nach oben ziehen, wo der Druck geringer ist und die Gase stärker komprimiert wären als das umgebende Wasser, wodurch die Membran von alleine aufgedrückt werden würde und die Kugel eine geringere Dichte hätte und aufsteigen würde. Ist die Kugel wieder an der Wasseroberfläche angekommen, fährt sich der Kolben durch die Gewichtskraft aus. Darüber hinaus soll sich am oberen Ende der Stange eine Anlage befinden, die die Gase aufbewahren oder direkt weiterverarbeiten kann und die Stange fixiert. Neben dem Getriebe, zwei Wassertanks, dem Dynamo, dem Kolben und der Elektrolysevorrichtung ist auch noch ein Akku verbaut, damit der Strom beim Herunterfahren gespeichert und während der Elektrolyse abgegeben werden kann.

Der Plan zum ersten Entwurf ist in Abbildung 1 zu sehen.



**Abbildung 1: Erster schematischer Entwurf**

Zu diesem Zeitpunkt hatte ich noch niemandem von der Idee erzählt, da ich, wenn auch umständlich, die größten Probleme lösen konnte. Nun benötigte ich jedoch Hilfe und sprach meinen Chemielehrer, Herrn Mertens, an. Am 18. September stellte ich meine Idee dann bei einem Treffen der „Jugend Forscht“-AG meiner Schule vor. Ich erhielt viele hilfreiche Tipps und hatte nun ein richtiges Projekt.

Durch die Tipps konnte ich Verbesserungen am Projekt vornehmen und kam schließlich zu einer zweiten Ausarbeitung.

### 2.3 Entwurf 2

Die zweite Ausarbeitung beinhaltet bei der Stromgewinnung nunmehr weder Zahnräder noch Getriebe, da man die Stange, an der die Kugel absinkt, aus vielen kleinen Kupferspulen bauen und in der Kugel einen Hufeisenmagneten verbauen kann, welchen die Stange durchläuft. Für den hier induzierten Strom gilt  $U_{ind} = B \cdot N \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t}$ <sup>7</sup>. Dabei beschreibt  $B$  die Magnetische Feldstärke,  $N$  die Anzahl der Wicklungen auf der Kupferspule,  $\Delta A$  die Änderung der vom Magnetfeld durchdrungenen Fläche der Leiterschleife und  $\Delta t$  die Dauer. Der Strom sollte durch Schleifkontakte von der Stange abgenommen werden. Dieses System spart Verluste, die durch die Reibung bei den Zahnrädern stattfinden, ein. Das Gummizug-System bestand zu diesem Zeitpunkt noch.

Abbildung 2 verdeutlicht hierzu den Aufbau.

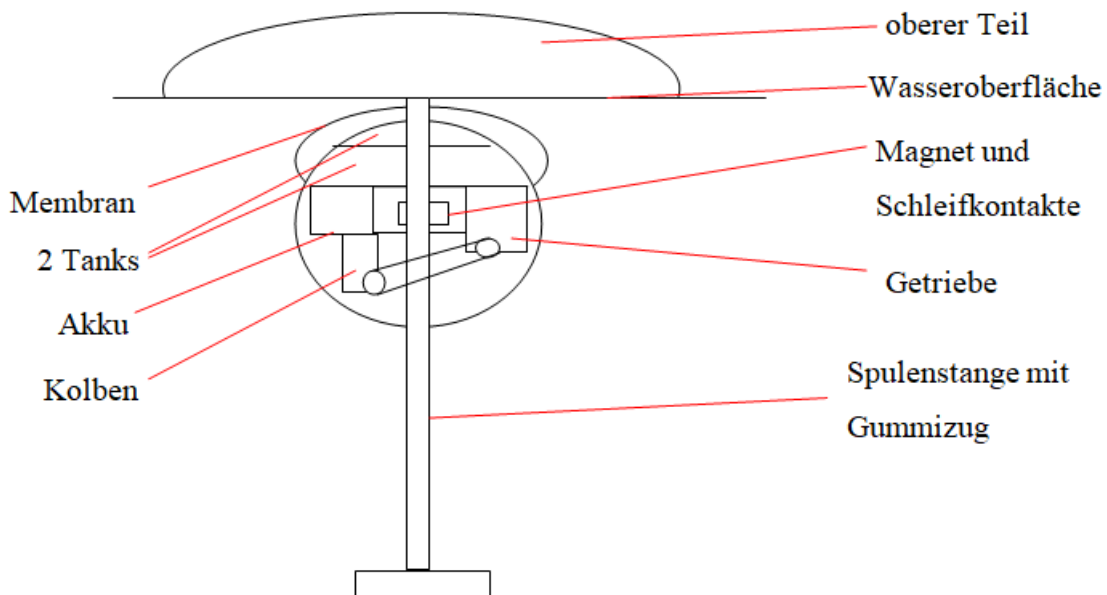


Abbildung 2: Zweiter schematischer Entwurf

<sup>7</sup> Vgl. <https://studyflix.de/elektrotechnik/spule-und-induktion-267>



Die zweite Ausarbeitung zerbrach an den Problemen, auf die ich bei längerem Nachdenken und Hilfe von anderen Lehrern kam:

1. Die Schleifkontakte ragen von der druckresistenten Kugel in das umgebende Meerwasser, um an der Stange den Strom abzunehmen. Dabei würde eine mögliche Elektrolyse außerhalb der Kugel im Meerwasser stattfinden.
2. Der Kolben, welcher sich ab einem gewissen Außendruck eindrückt, stellt eine Volumenverringering der Kugel und somit eine Erhöhung der Dichte dar, wodurch ein Aufsteigen nicht mehr möglich ist.

Diese großen Schwierigkeiten führten mich zu einer dritten, finalen Ausarbeitung.

### 3 Entwurf 3

Der dritte Entwurf vereinfacht das Projekt und macht es zudem funktional und umsetzbar. Die Gase, die nicht mehr in den freiwerdenden Raum des Wassertanks passen, werden nicht komprimiert oder der Gleichen, sondern durch Rohre und kleine Pumpen zum oberen Teil des Kraftwerks geleitet. Dies benötigt nur wenig Strom, der auch durch den induzierten Strom bereitgestellt wird. Darüber hinaus werden Elektrolysevorrichtung und Akku nicht in der Kugel, sondern am unteren Teil der Station platziert. Somit kann der Strom direkt am unteren Teil von der Spule abgenommen und verwendet werden. Abbildung 3 zeigt hierzu den Plan.

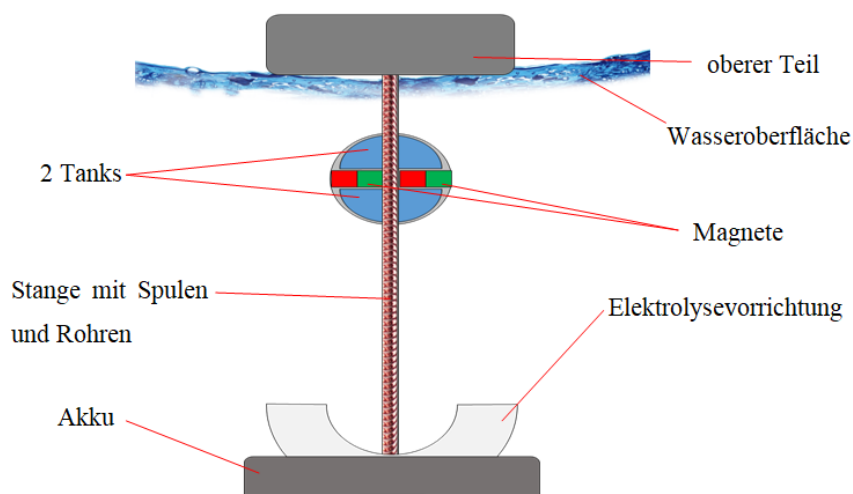


Abbildung 3: Dritter und finaler schematischer Entwurf

Mit Hilfe dieser finalen Ausarbeitung kann man den Zyklus anhand der Veränderungen des Kraftwerks sehr genau unterteilen und darstellen.

### 3.1 Zyklus

Die Veränderungen im Kraftwerk lassen sich in vier Untereinheiten eines sich wiederholenden Zyklus einteilen.

#### 3.1.1 Betankung

Zunächst werden die Gase in den Tanks der Kugel abgeschieden und die Tanks werden mit Wasser befüllt.

#### 3.1.2 Absinkvorgang

Nun ist die Dichte der Kugel größer als die des umgebenden Wassers und die Kugel sinkt ab. Dabei wird fortwährend Strom gewonnen und in den Akku am unteren Teil des Kraftwerks eingespeist.

#### 3.1.3 Elektrolyse

Die Kugel ist bis zum unteren Teil des Kraftwerks abgesunken und wird dort fixiert. Die Elektrolysevorrichtung ist von vorne hinein mit Wasser befüllt und teilt dieses nun mit dem Strom aus dem Akkumulator. Dieser Vorgang wird durch eine Redoxreaktion beschrieben. Hierbei wandern zunächst die Oxonium-Ionen zur Kathode und nehmen dort zwei Elektronen auf, wodurch Wasserstoff und Wasser entstehen. Diese Reaktion sieht also so aus:  $2H_3O^+ + 2e^- \rightarrow H_2 + H_2O$ . Die Hydroxidionen wandern hingegen zur Anode, an welcher sie zu Sauerstoff oder Wasser reagieren. Dabei gilt:  $4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$ . Schließlich lässt sich also folgende Reaktionsgleichung festhalten:  $4H_3O^+ + 4OH^- \rightarrow 2H_2 + O_2 + 6H_2O$ , welche sich abschließend auf  $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$  reduzieren lässt<sup>8</sup>. Während der Elektrolyse läuft das Wasser aus den Tanks der Kugel nach und die Gase strömen in den freiwerdenden Platz der Tanks. Wenn das gesamte Wasser aus der Kugel abgelaufen ist, hat die Elektrolysevorrichtung denselben Füllstand wie zu Beginn. Die Gase, die nicht mehr unter Normaldruck in die Tanks

---

<sup>8</sup>Vgl. <https://studyflix.de/chemie/elektrolyse-von-wasser-1643>

passen, werden mit dem übrigen Strom über Leitungen im inneren der Stange zum oberen Teil des Kraftwerks gepumpt/transportiert.

### 3.1.4 Aufstiegsvorgang

Schließlich taucht die Kugel aufgrund der nun geringeren Dichte wieder auf. Hierbei wird auch wieder Strom gewonnen und in den Akku eingespeist.

Nun ist das Kraftwerk in seinem Ausgangszustand und der Zyklus beginnt von neuem.

Anhand dieses unterteilten Zyklus konnte ich nun eine Hypothese aufstellen, welche zeigt warum das Kraftwerk funktioniert

## 3.2 Hypothese für den theoretischen Beweis

Der theoretische Beweis beschreibt die Zusammenhänge zwischen den wichtigsten Faktoren des Kraftwerks. Die Hypothese hierzu besteht aus einem Koordinatensystem, in welchem auf der y-Achse der Stromgewinn bzw. Stromverbrauch und auf der x-Achse die Sinktiefe der Kugel definiert sind. In diesem Koordinatensystem befinden sich sieben Geraden. Sechs davon haben eine Steigung ungleich null und eine ist konstant. Die Geraden mit Steigung heißen  $p(x)$ ,  $a(x)$ ,  $b(x)$ ,  $g(x)$ ,  $v(x)$  und  $m(x)$ . Die Konstante heißt  $e(x)$ . Dieses Koordinatensystem sieht in etwa wie in Abbildung 4 gezeigt aus:

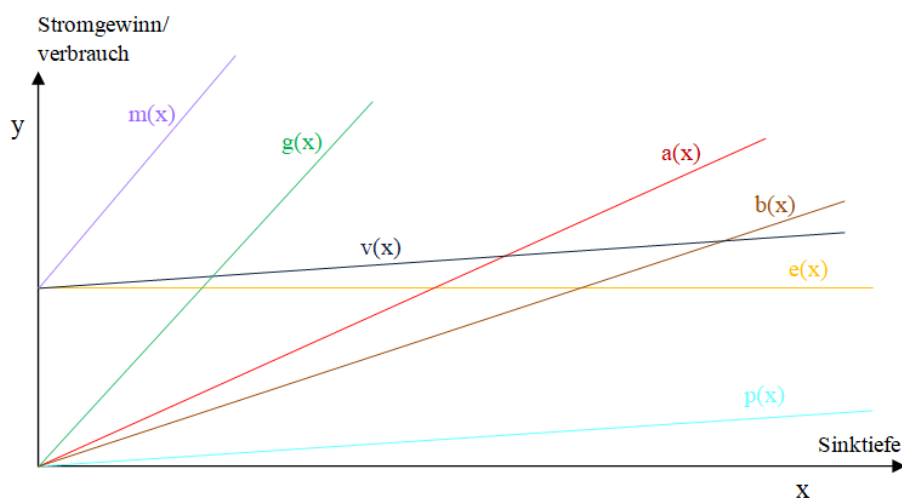


Abbildung 4: Theoretischer Stromgewinn/Verbrauch in Abhängigkeit von der Sinktiefe

$p(x)$  beschreibt hierbei den Stromverbrauch im Verhältnis zur Sinktiefe für das Pumpen der Gase durch ein Rohr vom unteren zum oberen Teil des Kraftwerks.

$a(x)$  beschreibt den Stromgewinn durch das Absinken im Verhältnis zur Sinktiefe.

$b(x)$  beschreibt den Stromgewinn durch das Aufsteigen im Verhältnis zur Sinktiefe.

$g(x)$  stellt den gesamten Stromgewinn im Verhältnis zur Sinktiefe dar.

$v(x)$  stellt den gesamten Stromverbrauch im Verhältnis zur Sinktiefe dar.

$e(x)$  beschreibt den Stromverbrauch für die Elektrolyse im Verhältnis zur Sinktiefe.

$m(x)$  zeigt, wie viel Strom insgesamt verbraucht werden kann, damit sich das Projekt energetisch lohnt.

Die Steigungen der einzelnen Funktionen sind nicht festgelegt und doch kann man mit hoher Wahrscheinlichkeit sagen, welche Funktion eine größere oder kleinere Steigung als eine andere Funktion hat. Zum Beispiel muss  $e(x)$  konstant sein, da die nötige Dichteverringerng zum Aufsteigen nicht abhängig von der Sinktiefe ist.  $p(x)$  hat vermutlich eine geringe Steigung, da nur wenig Strom dazu aufgebracht werden muss um Gase bei niedrigem Druck zu pumpen.  $a(x)$  hingegen steigt vermutlich stärker als  $p(x)$ , da sehr viel Strom durch die Induktion gewonnen wird. Mit dem y-Achsenabschnitt von  $e(x)$  und der Steigung von  $p(x)$  ergibt sich  $v(x)$ .  $b(x)$  hat wahrscheinlich eine andere, vermutlich geringere Steigung, als  $a(x)$ , da durch die Auftriebskraft eine andere Geschwindigkeit und somit ein anderer Strombetrag vorliegt.  $g(x)$  entsteht aus der Addition der Steigungen von  $a(x)$  und  $b(x)$ .  $m(x)$  hat den y-Achsenabschnitt gleich mit  $e(x)$  und die Steigung von  $g(x)$ , da somit der Betrag eingerechnet ist, den man zwar extern einspeisen müsste, durch welchen man allerdings mehr Gase erhält, als würde man diesen direkt für eine Elektrolyse verwenden. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass  $m(x)$  wenigstens teilweise vom gesamten Stromverbrauch unterschritten werden muss, damit das Projekt rentabel ist. Dies ist bei dieser Grafik der Fall. Bis zu einem bestimmten x-Wert (hier 0) ist der y-Wert von  $m(x)$  kleiner oder gleich der Addition der y-Werte von  $e(x)$  und  $p(x)$ , also dem y-Wert von  $v(x)$ . Erst wenn der y-Wert von  $m(x)$  größer als der y-Wert von  $v(x)$  am selben x-Wert ist, funktioniert der Apparat. Wenn man auf der x-Achse abliest, wo dieser Punkt liegt,

kann man die Sinktiefe ablesen, die mindestens erreicht werden muss, damit die Kugel wieder aufsteigt. Dadurch steht aber auch fest, dass das Kraftwerk mit größerer Sinktiefe, zumindest in der Theorie, immer effektiver wird.

Letztlich kann ich mit dieser Hypothese nur zeigen, dass das Projekt wahrscheinlich funktioniert, doch für einen definitiven Beweis muss eine mathematische Rechnung her.

### 3.3 Mathematischer Beweis

Um den mathematischen Beweis durchführen zu können, muss man zu nächst beachten, welche Kräfte während den verschiedenen Untereinheiten des Zyklus herrschen und mit Hilfe welcher Formeln man diese Kräfte berechnen kann. Wann welche Kräfte wirken unterstreichen Abbildung 5 und Abbildung 6.

Zunächst haben sich mein Betreuungslehrer und ich um den Absink- und Aufstiegsvorgang gekümmert, da in diesen Untereinheiten die Kugel in Bewegung ist. Dabei sind folgende Kräfte maßgeblich beteiligt:

Die Gewichtskraft mit:  $F_G = \rho_{Körper} \cdot V_{Körper} \cdot g$

Die Auftriebskraft mit:  $F_A = \rho_{Medium} \cdot V_{Körper} \cdot g$

Die Reibung durch die Induktion folgt der Lorentzkraft:  $F_L = q \cdot v \cdot B$

Die Reibung durch die Bewegung der Kugel im Fluid folgt der Stokes'schen Reibung:

$$F_R = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v \cdot r$$

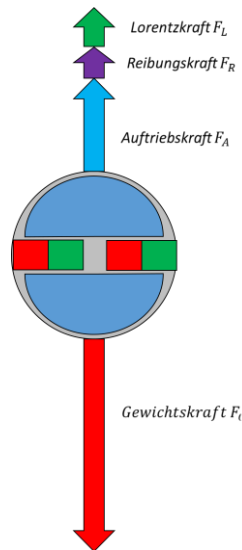
Beim Absinken beschleunigt die Kugel zunächst im Wasser, bis sie eine dauerhafte Geschwindigkeit annimmt, da die Gewichtskraft die Kugel zunächst beschleunigt, dadurch jedoch  $F_L$  und  $F_R$  zunehmen, bis eine konstante Geschwindigkeit vorliegt. So ähnlich geschieht es auch in der 4. Untereinheit, da hier die Kugel zunächst beschleunigt und dann durch die wachsenden Reibungskräfte zu einer konstanten Geschwindigkeit kommt.

Für die Beschleunigung beim Absinken gilt also:

$$F_G > F_A + F_L + F_R$$

Für eine konstante Sinkgeschwindigkeit gilt:

$$F_G = F_A + F_L + F_R$$



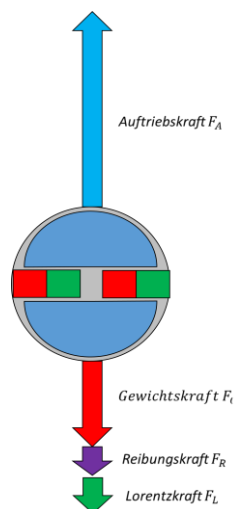
**Abbildung 5:**  
Kräfteverhältnisse beim  
Absinken

Beim Aufsteigen gilt zunächst:

$$F_A > F_G + F_L + F_R$$

Später gilt:

$$F_A = F_G + F_L + F_R$$



**Abbildung 6:**  
Kräfteverhältnisse beim  
Aufsteigen

Im Moment rechnen Herr Mertens und ich die Rechnung mit realistischen Werten durch, konnten aber noch zu keinem abschließenden Ergebnis kommen. Wahrscheinlich werden diese Berechnungen bis zum Wettbewerb fertig werden.

## **4 Ergebnisse**

Bis hier hin kann man also folgende Ergebnisse verzeichnen:

1. Ein vollständiger Plan, der nun schon drei Monate besteht und wenig komplex, aber dafür stringent und erklärbar ist.
2. Eine Unterteilung des Zyklus in Untereinheiten für das bessere Verständnis.
3. Eine Hypothese für den theoretischen Beweis, mit welcher logisch aufgezeigt werden kann, warum das Kraftwerk funktionieren kann.
4. Die Formeln für den mathematischen Beweis in Bezug auf die 2. und 4. Untereinheit des Zyklus.

### **4.1 Ergebnisdiskussion**

#### **4.1.1 Fazit**

Die Ergebnisse, die bis hier hin vorhanden sind, können die Realisierbarkeit des Kraftwerks noch nicht vollends beweisen. Dennoch gelingt es bisher sehr gut logisch zu erklären, wie und warum das Projekt funktionieren kann.

Mir ist bewusst, dass ein Teil derer, denen ich von dem Kraftwerk berichte, sagen, dass das Projekt gar nicht funktionieren könne, da ja unterm Strich Wasser einfach so ohne Verlust in Wasserstoff und Sauerstoff zerteilt werde und diese endotherme Reaktion Energie beanspruchen müsse und somit auch etwas verbraucht werden müsse. Ich kann es noch nicht beweisen, aber alle Indizien sprechen dafür, dass das Kraftwerk läuft, da es im Grunde darum geht, dass die nötige Dichteverringerung, also der für die Elektrolyse nötige Strom, nicht abhängig von der Sinktiefe der Kugel ist. Denn egal wie tief die Kugel unter der Wasseroberfläche ist, die geringere Dichte wird immer aufsteigen. Der Stromgewinn verläuft jedoch annähernd proportional zur Sinktiefe. Deshalb gibt es eine spezielle Sinktiefe, ab der die nötige Energie ausreichend zu Verfügung steht. Natürlich ist auch die nötige Menge an Strom für das Pumpen von Sauerstoff und Wasserstoff proportional zur Sinktiefe, aber dies beansprucht vermutlich

nur sehr wenig Strom, da die Gase eine geringe Dichte haben und somit z. B. im Vergleich zu einem Feststoff oder einer Flüssigkeit wesentlich weniger Energie benötigt wird.

#### 4.1.2 Perspektiven

In letzter Konsequenz kann nur ein praktischer Beweis Gewissheit schaffen. Diesen konnte ich jedoch noch nicht durchführen, weil der mathematische Beweis noch nicht vollständig ist. Zudem beansprucht ein solcher Versuch Wissen, das ich nicht habe und mir nur schwierig aneignen kann. Dennoch ist dies das große Ziel, das ich nach dem Wettbewerb definitiv verfolgen werde.

#### 4.1.3 Risiken

Bei einer praktischen Umsetzung in größerem Ausmaß darf man natürlich die Risiken eines Baus und bei der Durchführung nicht aus den Augen verlieren.

1. Große Druckunterschiede belasten die Kugel und das Salzwasser kann je nach Material Korrosion hervorrufen, wodurch die Stabilität gefährdet ist.
2. Die Materialien sind ziemlich teuer, da ein sehr starker Permanentmagnet und eine stabile Außenhülle sowie ein sehr langes, druckresistentes Rohr mit z. B. Kupferspulen nötig sind und daher die Anschaffungskosten durch die Leistung des Kraftwerks und seine Lebensdauer gerechtfertigt sein müssen.
3. Unterläuft in der Kugel in der vierten Untereinheit oder in dem unteren oder oberen Teil des Kraftwerks ein Fehler, kann dies zu einer Vermischung von Sauerstoff und Wasserstoff führen. Dieses Knallgas ist hoch explosiv<sup>9</sup> und könnte allein durch eine geringe Zündquelle die totale Zerstörung der Anlage nach sich ziehen.

Aufgrund dieser Risiken muss die Kugel sehr stabil und z. B. aus besonderem Stahl oder Titan gebaut sein<sup>10</sup>, damit Störfälle möglichst ausgeschlossen werden. Diese beiden Materialien werden auch für z. B. U-Boote<sup>11</sup> und Gasflaschen eingesetzt, da sie

---

<sup>9</sup>Vgl. <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/1963>

<sup>10</sup>Vgl. Edelstahlrohr, Stahl vs. Titan

Vgl.

<https://www.chemie.de/lexikon/Stahl.html#:~:text=Die%20Dichte%20von%20Stahl%20bzw,zu%201530%C2%0betragen.>

<sup>11</sup> Vgl. Chemie, U-Boot-Stahl



eine große Standhaftigkeit gegenüber hohem Druck aufweisen. Titan hat hierbei eine deutlich geringere Dichte als Stahl ( $\rho_{Titan} = 4.500 \frac{kg}{m^3}$ ;  $\rho_{Stahl} = 7.850 \frac{kg}{m^3}$ ).<sup>12</sup> Welches Material daher besser geeignet ist werden die Berechnungen zeigen. Darüber hinaus beeinflusst die Form der Anlage die Druckresistenz, weswegen ich hier die Form einer Kugel gewählt habe. Diese Form hält zwar sehr hohem Druck stand, weist jedoch Nachteile bei der Reibung in Salzwasser auf, wodurch für den mittleren Teil der Anlage die Form eines American Footballs besser geeignet ist, was die Näherungsrechnungen jedoch zu komplex machen würde. Darüber hinaus muss die Anlage sehr langlebig geplant werden und geeignete Notfallpläne sollten dazu die Sicherheit der dort tätigen Kräfte gewährleisten.

Dennoch dürfen auch die Chancen nicht unbeachtet bleiben

#### 4.1.4 Chancen

In naher Zukunft müssen hunderte Terawattstunden Strom aufgewendet werden<sup>13</sup>, um den benötigten Wasserstoffbedarf für die Zukunft ohne fossile Brennstoffe zu decken. Dieser Stromaufwand kann mit dem GEK reduziert werden. Darüber hinaus kann das Prinzip auch auf andere Themengebiete, wie z. B. die Raumfahrt, angewandt werden. Deshalb ist meiner Meinung nach das Potential des Projekts enorm. Dieses Potential kann jedoch noch gesteigert werden.

#### 4.1.5 Innovationen

Laufend werden Innovationen und Neuerungen z. B. im Bereich des Wirkungsgrads der Elektrolyse getätigt<sup>14</sup>. Diese können zu einer Steigerung der Effizienz führen und die Kosten-Nutzen-Rechnung noch weiter verbessern.

---

<sup>12</sup> Vgl. Edelstahlrohr, Stahl vs. Titan

Vgl.

<https://www.chemie.de/lexikon/Stahl.html#:~:text=Die%20Dichte%20von%20Stahl%20bzw.,zu%201530%C%20betragen.>

<sup>13</sup>Vgl. [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/2019-10\\_Fraunhofer\\_Wasserstoff-Roadmap\\_fuer\\_Deutschland.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/2019-10_Fraunhofer_Wasserstoff-Roadmap_fuer_Deutschland.pdf)

Vgl. <https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Bilder/Pressefotos/Wasserstoffpapier/in4climatenrw-diskussionspapier-wasserstoff-als-schluessel-zur-erfolgreichen-energiewende.pdf>

<sup>14</sup> Solar-driven, highly sustained splitting of seawater into hydrogen and oxygen fuels, PNAS

## **4.2 Zusammenfassung**

Abschließend lässt sich also festhalten, dass das Projekt bis jetzt schon ziemlich weit gereift ist und dennoch noch nicht bewiesen ist. Die Tragweite des Systems ist meiner Einschätzung nach sehr groß und offen für Innovationen, wodurch das Potential noch einmal steigt.

## **5 Unterstützungsleistungen**

### **5.1 Danksagung**

Ich danke allen, die mich bei meiner Arbeit unterstützt haben. Dabei möchte ich allen für ihre konstruktiv-kritischen und motivierend-ideenreichen Beiträge danken. Insbesondere möchte ich meinem Betreuungslehrer Herrn Mertens für seine zeitaufwändige Unterstützung und Hilfestellung danken.

## **6 Abbildungsverzeichnis**

|  |    |
|--|----|
| ABBILDUNG 1: ERSTER SCHEMATISCHER ENTWURF .....  | 4  |
| ABBILDUNG 2: ZWEITER SCHEMATISCHER ENTWURF .....   | 5  |
| ABBILDUNG 3: DRITTER UND FINALER SCHEMATISCHER ENTWURF .....                             | 6  |
| ABBILDUNG 4: THEORETISCHER STROMGEWINN/VERBRAUCH IN ABHÄNGIGKEIT VON DER SINKTIEFE ..... | 8  |
| ABBILDUNG 5: KRÄFTEVERHÄLTNISSE BEIM ABSINKEN .....                                      | 11 |
| ABBILDUNG 6: KRÄFTEVERHÄLTNISSE BEIM AUFSTEIGEN.....                                     | 11 |

## 7 Quellenverzeichnis:

1: <https://www.youtube.com/watch?v=hGe5ubghFm0>

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

2: <https://www.chemie.de/lexikon/Elektrolyse.html>

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

3. [https://www.chemie.de/lexikon/Überspannung\\_%28Elektrochemie%29.html](https://www.chemie.de/lexikon/Überspannung_%28Elektrochemie%29.html)

zuletzt aufgerufen am 13.01.2021

4. <https://www.chemieunterricht.de/dc2/iat/h2oelem.htm>

zuletzt aufgerufen am 13.01.2021

5: <https://www.erdgas.info/neue-heizung/heizungstechnik/brennstoffzelle/funktionsprinzip-brennstoffzelle/>

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

5.1: <https://www.youtube.com/watch?v=HDr06lC2fi0>

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

6: <https://studyflix.de/elektrotechnik/spule-und-induktion-267>

zuletzt aufgerufen am 15.01.2021

7:

n%20einer%20Flüssigkeit,Flüssigkeitssäule%20entsteht%2C%20nennt%20man%20Sc  
hweredruck.&text=Er%20kann%20berechnet%20werden%20mit,p%20·%20g%20·%20  
h%20.

zuletzt aufgerufen am 15.01.2021

8: <https://studyflix.de/chemie/elektrolyse-von-wasser-1643>

zuletzt aufgerufen am 16.01.2021

9: <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/1963>

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

10: <https://www.edelstahlrohrshop.com/blog/service/edelstahl-vs-titan.html>

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

10.1:  
<https://www.chemie.de/lexikon/Stahl.html#:~:text=Die%20Dichte%20von%20Stahl%20bzw,zu%201530%C%20betragen.>

zuletzt aufgerufen am 13.01.201

11: <https://www.chemie.de/lexikon/U-Boot-Stahl.html>

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

12: <https://www.edelstahlrohrshop.com/blog/service/edelstahl-vs-titan.html>

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

12.1:  
<https://www.chemie.de/lexikon/Stahl.html#:~:text=Die%20Dichte%20von%20Stahl%20bzw,zu%201530%C%20betragen.>

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

13:  
[https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/2019-10\\_Fraunhofer\\_Wasserstoff-Roadmap\\_fuer\\_Deutschland.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/2019-10_Fraunhofer_Wasserstoff-Roadmap_fuer_Deutschland.pdf)

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

13.1:  
[https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Bilder/Pressefotos/Wasserstoffpapier/in4climate\\_nrw-diskussionspapier-wasserstoff-als-schluessel-zur-erfolgreichen-energiewende.pdf](https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Bilder/Pressefotos/Wasserstoffpapier/in4climate_nrw-diskussionspapier-wasserstoff-als-schluessel-zur-erfolgreichen-energiewende.pdf)

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

14: (Artikel) Solar-driven, highly sustained splitting of seawater into hydrogen and oxygen fuels, PNAS

zuletzt aufgerufen am 11.01.2021

## **7.1 Andere Quellen für das Grundverständnis**

15: [https://www.ltc.lu/enseignants/mike.anen/pdf/dichte\\_9de.pdf](https://www.ltc.lu/enseignants/mike.anen/pdf/dichte_9de.pdf)

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021

16: [https://www.youtube.com/watch?v=eO5\\_OW4rlVs](https://www.youtube.com/watch?v=eO5_OW4rlVs)

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021

17: [https://www.chip.de/artikel/Akku-Praxis-So-leben-Ihre-Akkus-laenger-5\\_140133846.html](https://www.chip.de/artikel/Akku-Praxis-So-leben-Ihre-Akkus-laenger-5_140133846.html)

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021

18: <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0810281.htm>

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021

## **7.2 Andere Quellen für den mathematischen Beweis**

19: [https://flexikon.doccheck.com/de/Stokes%27sche\\_Gleichung](https://flexikon.doccheck.com/de/Stokes%27sche_Gleichung)

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021

20: <https://studyflix.de/elektrotechnik/lorentzkraft-1821>

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021

21: <https://www.youtube.com/watch?v=jSziTlvmAeo>

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021

22: (Formelsammlung) Formeln und Daten zur Physik, Klett

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021

## **7.2 Andere Quellen für die Materialauswahl und andere realistische Werte**

23: [http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser\\_dichte.html](http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser_dichte.html)

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021

24: [https://www.ltc.lu/enseignants/mike.anen/pdf/dichte\\_9de.pdf](https://www.ltc.lu/enseignants/mike.anen/pdf/dichte_9de.pdf)

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021

25: [https://www.chip.de/artikel/Akku-Praxis-So-leben-Ihre-Akkus-laenger-5\\_140133846.html](https://www.chip.de/artikel/Akku-Praxis-So-leben-Ihre-Akkus-laenger-5_140133846.html)

zuletzt aufgerufen am 08.01.2021