

Wie kann der massive Stromverbrauch in Luxemburg durch Wasserkraft kompensiert werden?

Jaas Tommy

---

Goergen Denis - Blasius Pit  
Classe 2GSN

---

<sup>1</sup> “Deckblätter Online Kostenlos Gestalten.” *EDIT.Org in English*, [edit.org/de/gestalte-dein-deckblatt](https://edit.org/de/gestalte-dein-deckblatt).

Aufgerufen am 10. Mai 2023

## Travail personnel encadré

# Wie kann der massive Stromverbrauch in Luxemburg durch Wasserkraft kompensiert werden

Blasius Pit

Jaas Tommy

Goergen Denis

Schmit Carole

2GSN

Syndicat intercommunal pour la conservation de la nature

Service Véhicules et Maintenance - Ville de Luxembourg



Wir versichern, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt haben. Alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, haben wir in jedem einzelnen Fall unter genauer Angabe der Quelle deutlich als Entlehnung kenntlich gemacht.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>Ziel</b> .....	<b>5</b>
<b>Der Generator</b> .....	<b>6</b>
<b>Geschichtlicher Hintergrund des Generators</b> .....	<b>8</b>
<b>Funktionsweise und Anwendungsbereich eines Generators, beziehungsweise eines Alternators</b> .....	<b>9</b>
<b>Das Wasserrad im Überblick</b> .....	<b>15</b>
Was ist ein Wasserrad .....	15
Die Geschichte des Wasserrades .....	16
<b>Unterschiedliche Typen von Wasserrädern</b> .....	<b>18</b>
Unterschlächtiges Wasserrad .....	18
Oberschlächtiges Wasserrad .....	19
Poncelet's Wasserrad .....	19
Sagebien Wasserrad .....	20
<b>Wasserkraftwerke</b> .....	<b>22</b>
<b>Funktionsweise eines Wasserkraftwerkes</b> .....	<b>22</b>
<b>Stromverbrauch in Luxemburg</b> .....	<b>23</b>
<b>Stromherstellung in Luxemburg</b> .....	<b>24</b>
<b>Das Wasserradexperiment</b> .....	<b>26</b>
<b>Bau des Rades</b> .....	<b>26</b>
Die Basis .....	26
Die Übersetzung .....	28
Der Alternator .....	29
Das Rad .....	31
Das Resultat .....	34
<b>Experimentelle Resultate</b> .....	<b>35</b>
<b>Theoretisches Potential von Wasserrädern in Luxemburg</b> .....	<b>36</b>
<b>Wasserrädermodell anhand eines konkreten Beispiels</b> .....	<b>39</b>
<b>Alternative Energien</b> .....	<b>40</b>
<b>Windkraft</b> .....	<b>40</b>
<b>Geothermie</b> .....	<b>42</b>
<b>Sonnenenergie</b> .....	<b>43</b>
<b>Bioenergie</b> .....	<b>44</b>
<b>Vergleich der Wasserkraft zu den alternativen Energien</b> .....	<b>45</b>

<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>47</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>48</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>50</b>

## Einleitung

In unserer persönlichen Arbeit stellen wir das Wasserrad vor und inwiefern der Stromverbrauch in Luxemburg damit kompensiert werden kann. Wir gehen dabei erstmals in die Geschichte und Hintergründe des Wasserrades ein und erklären wie sich das Wasserrad bis heute entwickelt hat und welche Wasserräder es gibt. Neben der Theorie, haben wir im Praktischen Teil selber ein Wasserrad hergestellt. Anhand von diesem wollen wir den Impact des Wasserrades auf die Stromproduktion herausfinden und wie es möglich wäre das Wasserrad so zu benutzen damit es für die Herstellung von erneuerbarem Strom genutzt werden kann. Heutzutage wird es immer wichtiger auf unsere Umwelt acht zu nehmen. Gerade der Klimawandel macht unserem Ökosystem immer mehr zu schaffen. Gerade in der Stromproduktion, welche auch immer mehr nachfrage erhält, ist es notwendig auf nachhaltigere und Umweltfreundlichere Methoden umzusteigen. In einer Zeit, wo Elektromobilität immer wichtiger wird und wir immer mehr vom Verbrennungsmotor absteigen wollen, wird die Nachfrage nach Strom immer größer. Stromquellen wie Erdgas oder Atomkraftwerke entsprechen einfach nicht mehr den heutigen Normen im Kampf gegen den Klimawandel. Auch wenn man mit Atomkraft sehr viel Energie herstellen kann, gehört diese aber zu einer eher unsicheren Methode, um Energie zu produzieren. Zudem gibt es mittlerweile sehr viele alternative Stromquellen, welche je nachdem einfach und sicher, sogar im eigenen Haushalt, genutzt werden können. Wind, Sonne und Wasser gehören zu den am meist genutzten erneuerbaren Energien.

In dieser persönlichen Arbeit soll es nun jedoch nur um die Wasserkraft gehen. Um genauer zu sein, soll es um das Wasserrad gehen. Eine der wohl am umweltfreundlichsten Methoden die es gibt, um Strom herzustellen. Gerade jetzt wird das Wasserrad immer mehr benutzt, um Strom damit herzustellen. Auch wenn man mit dem Wasserrad nicht so viel Strom herstellen kann wie mit einem Wasserkraftwerk sowie dieses in Vianden oder in Esch-sûr-Sure, ist das Wasserrad jedoch praktisch und einfach in der Herstellung. Fast jeder könnte ein Wasserrad mit einfachen Mitteln herstellen und dieses theoretisch im Haushalt nutzen, vorausgesetzt das fließendes Wasser vorhanden ist. Im Vergleich zur Staumauer ist das Wasserrad viel billiger, Ressourcen schonend und erfordert nicht viel Platz.

## Ziel

Als Projektarbeit haben wir uns dazu entschieden ein Wasserrad zu bauen. Dieses Wasserrad besteht grundsätzlich aus einfachen Materialien wie Blech, einer Fahrrad Felge, Schrauben und Muttern, um das Blech zu befestigen. Dies sind Materialien, welche einfach und für nicht viel Geld zu finden sind. So findet man das Blech und die Fahrrad Felge für wenig Geld auf einem Schrottplatz oder aus einem alten Fahrrad, Schrauben und Muttern findet man einfach und günstig im Baumarkt.

Es geht uns hier hauptsächlich darum herauszufinden wie viel Strom man mit einem Wasserrad produzieren kann, welches einfach zuhause nachzubauen ist und beim Bau kein Vermögen kostet.

Die Idee des Wasserrades kommt dadurch, dass wir herausfinden wollen, inwiefern es möglich ist den massiven Stromverbrauch der luxemburgischen Bürger, welche an fließenden Gewässer (Flüsse, Bäche, etc.) wohnen zu kompensieren. Gerade in heutigen Zeiten, in denen wir den größten Teil des hierzulande genutzten Stroms aus dem Ausland importieren lassen, wäre es nötig wieder auf grünere Methoden zu setzen, um Strom zu produzieren. Darunter auch das Wasserrad welches hierzulande noch in alten Mühlen zu finden ist. Mithilfe dieser alten nicht mehr benutzten Mühlen könnte man versuchen Strom zu produzieren und diesen dann ins Netz einzuspeisen.

Einfach hat man es mit den Mühlen, da die Struktur schon vorhanden ist. Man hat ein Wasserrad, welches man mit etwas Aufwand so umbauen kann, dass es mit Übersetzungen an einen Alternator angeschlossen werden kann, welcher dann durch die Drehbewegung Strom produziert. Je grösser das Wasserrad ist, desto mehr Drehmoment entsteht, wodurch man einen größeren Alternator benutzen könnte, welcher wiederum mehr Strom produzieren kann. Dies ist jedoch nur eine Idee, in unserem Fall wollen wir anhand unseres Wasserrades herausfinden wie viel Strom man damit produzieren könnte und anschließend hochrechnen, wie groß dieses sein müsste, um je nach Gewässer genügend Strom zu produzieren, und ob es mit diesem Strom möglich wäre mehrere Wohnhäuser ganz oder nur zum Teil mit diesem Strom versorgen zu können.

## Der Generator

<sup>2,3</sup>Ein Generator besteht aus einem Stator, also festem Teil und einem Rotor, einem sich rotierenden Teil. Durch eine Drehbewegung wird mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Die Funktionsweise des Generators basiert auf der elektromagnetischen Induktion. Durch Wind, Wasser oder Sonne (Solarenergie) kann mit einem Generator Strom produziert werden.

Bei Generatoren unterscheidet man hauptsächlich zwischen einem Drehgenerator der, wie schon erwähnt, durch eine Rotationsbewegung, elektrischen Strom herstellen kann, und zwischen einem Lineargenerator.

Bei einem Drehgenerator unterscheidet man zudem noch zwischen zwei unterschiedlichen Bauweisen. Einmal die Innenpolmaschine und einmal die Aussenpolmaschine. Bei der Innenpolmaschine ist es so, dass sich der Magnet im Stator selbst, dreht.

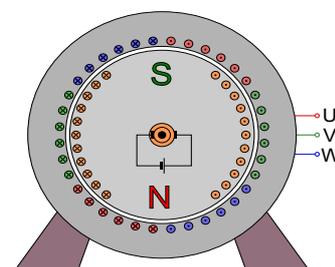


Abbildung 1: Innenpolmaschine

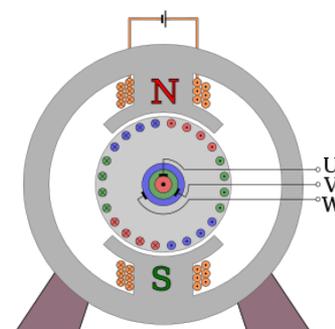


Abbildung 2: Aussenpolmaschine

---

<sup>2</sup> Dorling Kindersley Limited (2019). *Technik Einfach Verstehen*. München: Dorling Kindersley Verlag–Seite 31

<sup>3</sup> Redaktion. “Wie Funktioniert Eine Lichtmaschine?” *AUTOTUNING.DE*, 30 Jan. 2023, [www.autotuning.de/wie-funktioniert-eine-lichtmaschine/](http://www.autotuning.de/wie-funktioniert-eine-lichtmaschine/). Aufgerufen am 18. Mai 2023

Bei der Aussenpolmaschine drehen nur die Spulen, hier sind Stator und Magnet unbeweglich.

<sup>4</sup>Ein anderes Prinzip hat der Lineargenerator. Dieser besteht aus einem Kolben, welcher wie bei einem Verbrennermotor hin und her schwingt. An den Enden des Kolbens befinden sich Magnete, durch das Schwingen des Kolbens durch die Spulen wird elektrisch erzeugt.

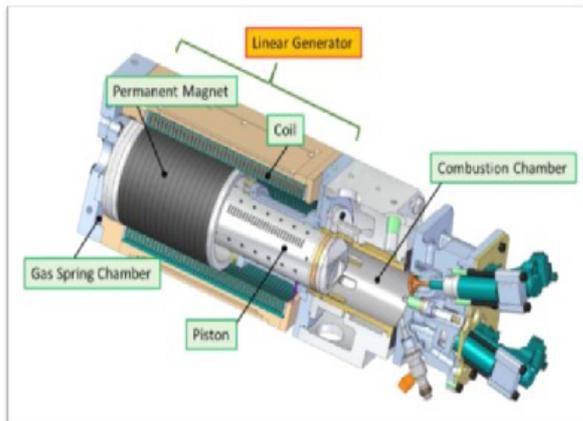


Abbildung 3: Linear generator

---

<sup>4</sup> “Regenerative Energieversorgung.” *LEIFIPhysik*, [www.leifiphysik.de/uebergreifend/regenerative-energieversorgung/geschichte/geschichte-der-wasserkraft](http://www.leifiphysik.de/uebergreifend/regenerative-energieversorgung/geschichte/geschichte-der-wasserkraft). Aufgerufen 18. Mai 2023.

## Geschichtlicher Hintergrund des Generators

Michael Faradays war der erste, welcher die elektromagnetische Induktion entdeckte. 1831 wurde dann der erste Generator gebaut. Bei den ersten Exemplaren wurden Spulen vor festen Dauermagneten oder Dauermagnete vor feststehende Spulen gedreht. Der erste durch Handbetriebene Generator, wurde ein Jahr später 1832 von Hippolyte Pixii gebaut. Hier wurde ein Hufeisenmagnet vor zwei Spulen per Handkurbel gedreht. Bei diesen Generatoren war die erbrachte Leistung jedoch zu wenig, um sie nutzen zu können. 1866 entdeckte Werner von Siemens das dynamo-elektrische Prinzip.

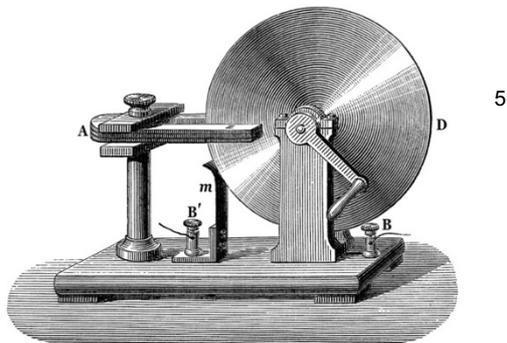


Abbildung 5: erster Generator mit Handkurbel

5

6

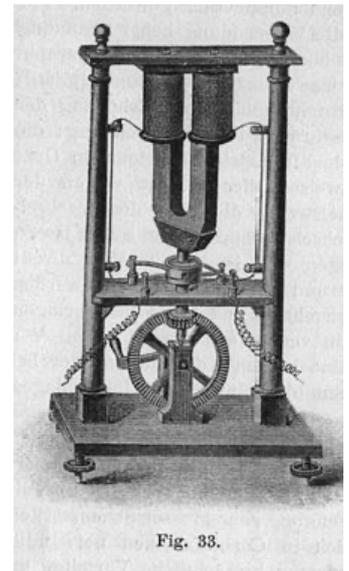


Abbildung 4: erster Generator

---

<sup>5</sup> “Induktion Und Transformator.” *LEIF Iphysik*, [www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/induktion-und-transformator/aufgabe/erster-funktionsfaehiger-generator-von-pixii](http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/induktion-und-transformator/aufgabe/erster-funktionsfaehiger-generator-von-pixii). Aufgerufen am 20. Feb. 2023.

<sup>6</sup> “Homopolar Generator.” *Wikipedia*, 11 Mar. 2023, [en.wikipedia.org/wiki/Homopolar\\_generator](https://en.wikipedia.org/wiki/Homopolar_generator). Aufgerufen am 20. Feb. 2023

## Funktionsweise und Anwendungsbereich eines Generators, beziehungsweise eines Alternators

<sup>7</sup>Der Begriff "Alternator" nimmt seinen Ursprung nicht in der deutschen Sprache und ist somit nicht eindeutig im Deutschen definiert. Die englische Bezeichnung "Alternator" beschreibt einen Wechselstromgenerator, sie wird zusammengesetzt aus den Worten "alternating current" (AC) (*de: Wechselstrom*) und "Generator". Als Generator bezeichnet man Stromerzeuger, welche Wechselstrom (AC), oder Gleichstrom (DC: direct current) generieren.

Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor besitzen immer einen Alternator, welchen man im Deutschen als "Lichtmaschine" bezeichnet, da der Generator eines Kraftfahrzeuges früher ausschliesslich genutzt wurde, um die Lichter des Fahrzeuges mit Strom zu betreiben. Heutzutage befinden sich in den Lichtmaschinen ein Gleichrichter, welche den Wechselstrom in Gleichstrom umwandeln, daher ist der Begriff Alternator nicht mehr als Synonym für die Lichtmaschine eines modernen Fahrzeuges angemessen, da es sich nicht länger um einen Wechselstromgenerator handelt.

<sup>8</sup>Die Funktionsweise eines Generators beruht auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion. Die elektromagnetische Induktion ist die Grundlage zur Entstehung der elektrischen Spannung und wird in der Faraday'schen Regel festgehalten,

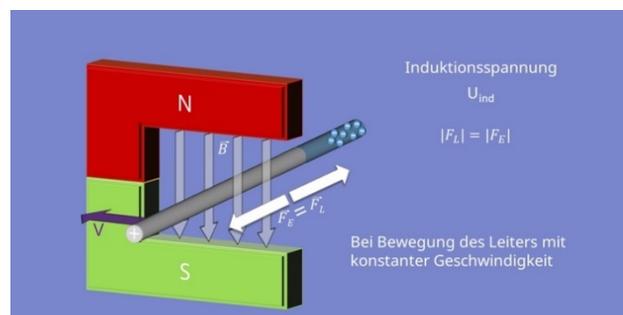


Abbildung 6: Induktionsspannung

<sup>7</sup> "Magnetischer Fluss • Formel, Beispiel Und Induktion." *Studyflix*, [studyflix.de/elektrotechnik/magnetischer-fluss-3141](https://www.studyflix.de/elektrotechnik/magnetischer-fluss-3141). Aufgerufen am 10. Mai 2023.

Ffhadmin. (2021, October 26). Récupéré sur Fischer Future Heat GmbH: <https://www.fischerfutureheat.de/generator/>

<sup>8</sup> Leyhausen, Hans Jörg. *Die Meisterprüfung Im Kfz-Handwerk*. 1980.

welche aussagt, dass diese Spannung entsteht in dem ein elektrischer Leiter, welches ein Material ist, das die Eigenschaft besitzt, elektrischen Strom durch sich durchfliessen zu lassen und diesen so weiterzuleiten, zwischen einem sich veränderndem Magnetfeld sitzt, wobei Induktionsspannung entsteht.

Die elektrische Spannung tritt ein solange der Leiter oder der Magnet in Bewegung sind, sodass das elektrisch leitende Material das Magnetfeld schneidet.

<sup>9</sup>Essenziell für die Entstehung elektromagnetischer Induktion ist die Lorentz Kraft, welche aussagt, dass ein (negativ geladenes) Elektron, welches senkrecht der magnetischen Feldlinien wandert, nach rechts abgelenkt wird, ein (positiv geladenes) Proton wird in die entgegengesetzte Richtung, also nach links, abgelenkt.

$$F_{Lorentz} = B * v * q$$

- F = Kraft
- B = magnetisches Feld
- v = Geschwindigkeit des Elektrons/Protons
- q = Ladung

Wenn der Leiter nun in eine schaukelnde Links-rechts-Bewegung gebracht wird, also eine Bewegung in die Richtungen der Lorentz Kraft, so entsteht eine abwechselnd negative und positive Spannung durch das Bewegen der Elementarteilchen, es entsteht Wechselstrom.

---

<sup>9</sup> “The Simple Club - Die Lorentz Kraft.” *Google YouTube*, 29. Dec. 2014,

[www.google.com/search?q=lorentzkraft&client=opera-gx&hs=pII&sxsrf=APwXEdcoBJ4nm8Bz7ucHZqFOOGnTktW9Xw%3A1684429643343&source=lnms&tbm=vid&sa=X&ved=2ahUKEwimnam0rf\\_-AhWZNewKHdKTDWYQ\\_AUoAnoECAIQBA&biw=1399&bih=800&dpr=1#fpstate=ive&vld=cid:70da9b2d,vid:snM3g4zWeNw](http://www.google.com/search?q=lorentzkraft&client=opera-gx&hs=pII&sxsrf=APwXEdcoBJ4nm8Bz7ucHZqFOOGnTktW9Xw%3A1684429643343&source=lnms&tbm=vid&sa=X&ved=2ahUKEwimnam0rf_-AhWZNewKHdKTDWYQ_AUoAnoECAIQBA&biw=1399&bih=800&dpr=1#fpstate=ive&vld=cid:70da9b2d,vid:snM3g4zWeNw). Aufgerufen am 18. Mai 2023.

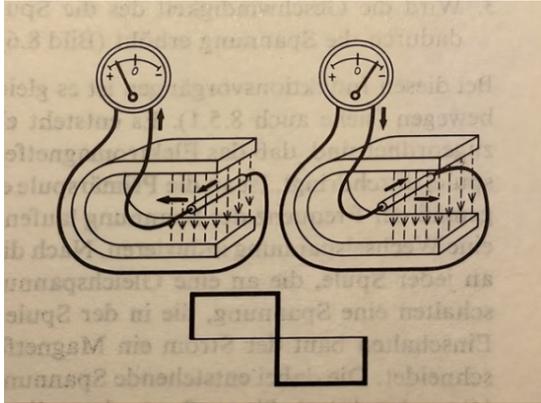


Abbildung 8: Entstehung von Wechselspannung

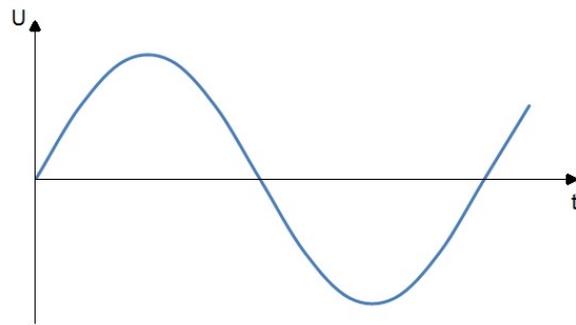


Abbildung 7: Spannung- Zeit-Diagramm bei Wechselstrom

<sup>10</sup>Wechselstrom Wirkleistung berechnen:

$$P = U * I * \cos\varphi$$

- P = Wirkleistung
- U = Spannung
- I = Stromstärke
- $\cos\varphi$  = Leistungsfaktor (Verhältnis zwischen Wirkleistung und Scheinleistung, dies ist nur beim Wechsel- und nicht beim Gleichstrom vorhanden).

---

<sup>10</sup> "Wechselstrom." *DNA*, [www.xplore-dna.net/mod/page/view.php?id=300](http://www.xplore-dna.net/mod/page/view.php?id=300). Aufgerufen am 10. Mai 2023.

<sup>11</sup>Damit der entstandene Strom eines Generators gespeichert werden kann muss er zunächst in Gleichstrom umgewandelt werden, bevor eine Batterie damit aufgeladen wird, dies erfolgt mit Hilfe eines Gleichrichters.

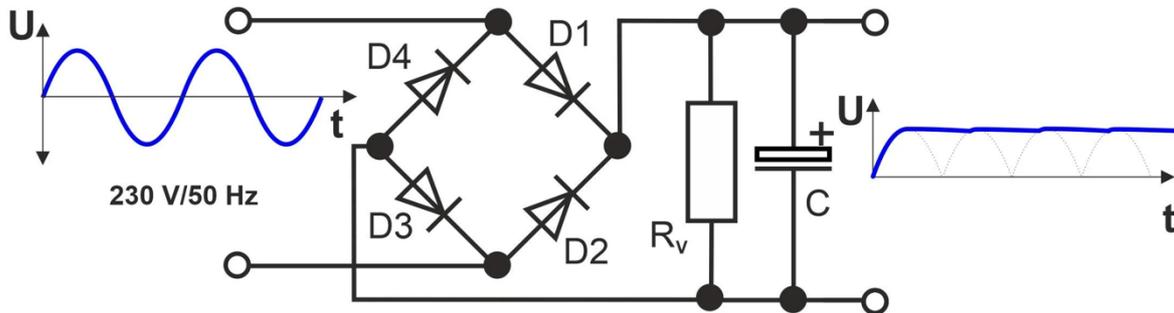


Abbildung 10: Gleichrichter<sup>12</sup>

<sup>13</sup>Ein Gleichrichter besteht aus Dioden, welche den Strom in einem Stromkreis von einer Richtung durchlassen und von der anderen Richtung sperren. Von der Anode (+) aus wird der Strom weitergeleitet, der Strom welcher von der Kathode (-) aus leitet wird gestoppt.

<sup>14</sup>

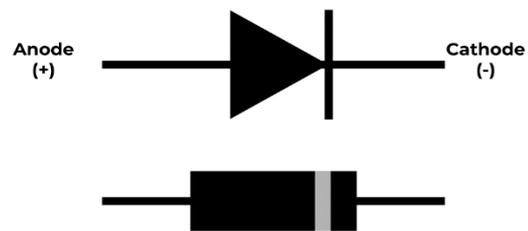


Abbildung 9: eine Diode

<sup>11</sup> Leyhausen, Hans Jörg. *Die Meisterprüfung Im Kfz-Handwerk*. 1980.

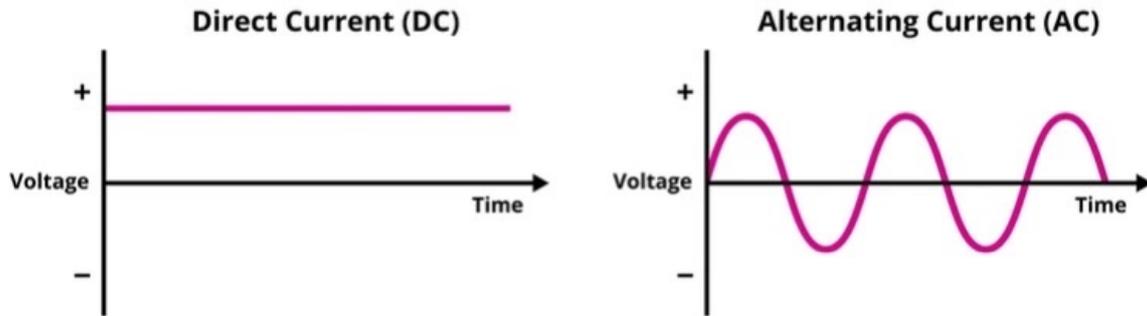
<sup>12</sup> "Gleichrichter." *Conrad Electronic*, [www.conrad.de/de/c/gleichrichter-17309.html](http://www.conrad.de/de/c/gleichrichter-17309.html). Aufgerufen am 18. Mai 2023.

<sup>13</sup> "Diode - Wie Funktioniert Die?" *YouTube*, 4. Mai 2015, [youtu.be/MSncOmacDJ0](https://youtu.be/MSncOmacDJ0). Aufgerufen am 20. Mai 2023

<sup>14</sup> "What Is Diode - Definition, Types of Diode, V-I Characteristics & Application." *GeeksforGeeks*, 11. Mai 2023, [www.geeksforgeeks.org/diode/](http://www.geeksforgeeks.org/diode/). Aufgerufen am 20. Mai 2023

Durch die Anordnung der Dioden eines Gleichrichters, die man auf der Abbildung erkennen kann, wird von Wechselstrom zu Gleichstrom umgeschaltet.

<sup>15</sup>



shutterstock.com - 2262249891

Abbildung 11: Spannung-Zeit-Diagramme bei DC und AC

Nun kann die hergestellte Elektrizität in Form von Gleichstrom in einem Akkumulator gespeichert werden.

Gleichstrom Leistung berechnen:

$$P = U * I$$

Beim Gleichstrom gibt es keine Größe  $\varphi$  da es beim Gleichstrom keine Phasenverschiebung zwischen der elektrischen Spannung und der elektrischen Stromstärke gibt.

---

<sup>15</sup> "212.790 Gleichstrom Bilder, Stockfotos Und Vektorgrafiken." Shutterstock,  
[www.shutterstock.com/de/search/gleichstrom](https://www.shutterstock.com/de/search/gleichstrom). Auferufen 20. Mai 2023.

## Das Wasserrad im Überblick

### Was ist ein Wasserrad

Unter einem Wasserrad versteht man bekanntlich eine radförmige Struktur mit sogenannten Zellen, diese können unter anderem eine schaufelförmige Struktur haben, in welche das Wasser fließt oder gegen welche das Wasser stößt und es somit zu einer Drehung des Wasserrads kommt. Es gibt viele unterschiedliche Wasserrad Typen, ein bekanntes davon ist das überschlächtige Wasserrad indem, wie es der Name schon verrät, das Wasser von oben in die Schaufeln fließt. Wenn die Schaufeln gefüllt sind, entsteht ein Übergewicht wodurch das Wasserrad in Bewegung gebracht wird. Da sich das Wasserrad nun bewegt fließt das Wasser in die nachkommenden Schaufeln, dies sorgt dafür, dass sich das Wasserrad immer weiterdreht und schneller wird.

Physikalisch betrachtet wird die potenzielle Energie des Wassers in eine mechanische Bewegung umgewandelt, wodurch es zu einer Rotation kommt.

Man unterscheidet bei Wasserrädern üblich zwischen 3 Typen. Dem schon genannten überschlächtigen Wasserrad, dem unterschlächtigen und dem mittelschlächtigen Wasserrad. Dann gibt es noch eine zwischen Gattung, das halbmittelschlächtige Wasserrad. Dieses Wasserrad ist eine Mischung aus dem mittel- und dem unterschlächtigen Rad.

Bei den 3 Typen erklärt schon der Name, von wo das Wasser in das Wasserrad fließt oder von wo aus es das Wasserrad antreibt (oberhalb oder unterhalb).

Zudem unterscheidet man auch noch zwischen sogenannten Schaufel- und Zellenräder. Der Unterschied ist bei Zellenräder, dass diese seitlich limitiert sind. Das Wasser fließt in sogenannte Zellen, welche eine „Becher“ ähnliche Form haben. Schaufelräder dagegen sind seitlich nicht abgegrenzt sie besitzen sogenannte Schaufeln wie es der Name schon sagt. Bei Schaufelrädern wird die kinetische Energie des Wassers benutzt. Das Rad wird angetrieben, indem das Wasser gegen die Schaufeln „stößt“.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> “Wasserräder Mit Freihang: Entwurfs- Und Berechnungsgrundlagen (Overshot ...” *Research Gate*, [www.researchgate.net/publication/278966149\\_Wasserrader\\_mit\\_Freihang\\_Entwurfs-\\_und\\_Berechnungsgrundlagen\\_Overshot\\_water\\_wheels\\_-\\_Calculation\\_and\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/278966149_Wasserrader_mit_Freihang_Entwurfs-_und_Berechnungsgrundlagen_Overshot_water_wheels_-_Calculation_and_Design). Accessed 23 May 2023.

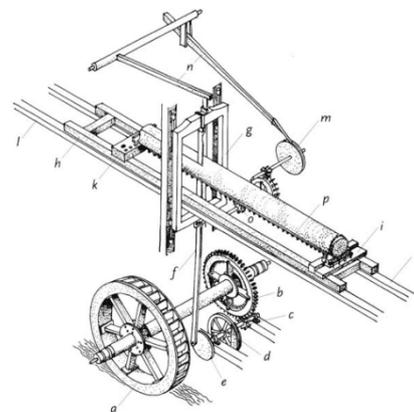
## Die Geschichte des Wasserrades

Das Wasserrad wurde früher in Getreidemühlen zum Antreiben von Mühlsteinen verwendet. Die Römer benutzten Wasserräder, um zum Beispiel Göpelwerke (Hebemaschinen) anzutreiben, um somit Objekte zu heben. In Sägewerken wurden Wasserräder benutzt, um das Sägeblatt mithilfe von Übersetzungen anzutreiben. In Schöpfvorrichtungen wurde das Wasser anhand eines Wasserrades an die Oberfläche gebracht, dies unter anderem, um zum Beispiel Felder zu bewässern.

Wurde das Wasserrad schon vor 5000 Jahren erfunden, so sollte es erst 1500 Jahre später mithilfe von Wasser betrieben werden. Anfangs in der Landwirtschaft nur zum Schöpfen von Wasser und später in Getreidemühlen wo es als Antrieb für den Mahlstein genutzt wurde. Es sollte Vitruv sein, ein römischer Ingenieur und Kunsttheoretiker, welcher der erste war, der eine durch ein Wasserrad angetriebene Mühle beschrieb.

Als man es schaffte, die Drehbewegung des Wasserrades in eine lineare Bewegung umzuwandeln gelang dem Wasserrad der Durchbruch. Es wurde zu der häufigsten genutzten Antriebsform. Es konnte durch die lineare Bewegung somit nun in Sägewerken oder in Hammerschmieden verwendet werden.

Die erste Form des Wasserrads war das sogenannte Stoß Rad. Das Stoß Rad besaß Schaufeln die horizontal ins Wasser ragten, wobei die Bewegungsenergie also die Kinetische Energie des Wasser genutzt wurde.<sup>17</sup>



a Wasserrad	f Kurbelstange	l Straßbäume
b Stirnrad	g Gatter	m Setzrad
c Welle 2	h Klotzwagen	n Schubgestänge
d Schwungrad	i Ruheschemel	o Setzzahnrad
e Kurbelscheibe	k Stellschemel	p Zahnstange

Abbildung 12: Das Sägewerk

<sup>17</sup> "Das Sägewerk." *Muehle*, muehle-

dietfurt.jimdo.free.com/rengnathm%C3%BChle/m%C3%BChlentechnik/s%C3%A4gewerk/. Aufgerufen am 8. März 2023.

Bereits die Römer konnten mit ihren Wasserrädern eine Leistung von 2kW erbringen. Dies ist jedoch nichts im Vergleich dazu, dass es im Mittelalter schon Wasserräder gab, mit denen die 3-fache Leistung erreicht werden konnte.

Als Referenz, wenn man ungefähr das 3-fache nehmen würde und dies in PS umwandle, so erhält man eine Leistung von 8PS.

Mit einer halben Million waren Wasserräder eine der beliebtesten und meistgenutzten Maschinen im 18 Jahrhundert.

Da Wasserräder jedoch sehr standortgebunden waren und nur an Flüssen und Bächen mit ausreichendem Wasserstand eingesetzt werden konnten, waren sie relativ unpraktisch. Als im 19 Jahrhundert die Industrialisierung und der damit entstandenen Dampfmaschine, welche nicht Orts gebunden war, ihren Lauf nahm, verlor das Wasserrad schnell an Bedeutung.

Daraufhin wurde 1825 die erste Wasserturbine entwickelt, somit nahte das Ende einer Ära der Wasserräder. Zusätzlich mit der Turbine kamen auch die ersten „elektrischen Generatoren“ auf den Markt. Durch einen höheren Wirkungsgrad von ungefähr 85% eignet sich die Turbine viel besser für die Stromproduktion als das Wasserrad. Heutzutage findet man in allen modernen Wasserkraftwerken Turbinen.



Abbildung 13: Schöpfrad

Auf der Abbildung 13 ist ein durch Wasser angetriebenes Schöpfrad, welches in englischsprachigen Ländern und Indien benutzt wurde, zu erkennen.

An den Seiten des Wasserrades erkennt man Eimer artige Gefäße, die das Wasser transportierten.<sup>18 19</sup>

## Unterschiedliche Typen von Wasserrädern

### Unterschlächtiges Wasserrad

Im Gegensatz zum oberflächlichen Wasserrad, bei dem das Wasser von oben in die Schaufeln fließt, ist es beim Unterschlächtigen Wasserrad, wie es der Name schon erklärt, so dass das Wasser die Schaufeln des Rades von unten trifft. Bei der Höhe zwischen dem Wasser ein- und austritt gibt es eine kleine Differenz.

Dies bewirkt das hier zusätzlich zur Bewegungsenergie des Wassers auch noch minimal die potenzielle Energie genutzt wird.



Der Wirkungsgrad des unterschlächtigen Wasserrad liegt bei ungefähr 35%.

Die Energie geht hauptsächlich durch Reibung als auch zum größtenteils durch die im Wasser enthaltene Kinetische Energie, welche nicht benutzt werden konnte, verloren.

Abbildung 14: Wasserrad in der Muerbelsmillen (Mohrfelsmühle im Pfaffental)

---

<sup>18</sup>“Regenerative Energieversorgung.” *LEIF/physik*, [www.leifiphysik.de/uebergreifend/regenerative-energieversorgung/geschichte/geschichte-der-wasserkraft](http://www.leifiphysik.de/uebergreifend/regenerative-energieversorgung/geschichte/geschichte-der-wasserkraft). Accessed 23 May 2023.

<sup>19</sup> “Schöpftrad.” *Wikipedia*, 13 Mar. 2023, [de.m.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%B6pfrad](https://de.m.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%B6pfrad). Aufgerufen am 15. März 2023.

## Oberschlächtiges Wasserrad

Wie vorher im Text schon erwähnt, ist es beim oberschlächtigen Wasserrad so, dass das Wasser von oben in die Schaufeln fließt. Ist eine Schaufel mit genügend Wasser gefüllt entsteht ein Übergewicht, welches das Wasserrad zum Drehen bringt. Es ist wie ein geschlossener Kreislauf, Ist eine Schaufel gefüllt, dreht sich das Wasserrad, somit kann sich eine weitere Schaufel füllen. Hier wird also hauptsächlich die Potenzielle Energie des Wassers genutzt.

Trotz des hohen Wirkungsgrades von bis zu 75% ist hier der Nachteil, dass das oberschlächtige Wasserrad einen aufwendigen Aufbau besitzt, um das Wasser überhaupt erstmal so umzuleiten, dass es später von oben in die Schaufeln fließen kann. Hierbei muss in die Wasserführung eingegriffen werden durch beispielsweise den Bau von Dämmen oder Teichen.

Beim oberschlächtigen Wasserrad muss zusätzlich auf eine gute Dichte der Schaufeln geachtet werden welche Teurer ist als üblich. Im Vergleich zu anderen Rädern, dreht das oberschlächtige Rad langsamer als z.B das unterschlächtige Rad.

## Poncelet's Wasserrad

1825 war es Jean-Victor Poncelet ein Französischer Mathematiker, Ingenieur und Physiker, welcher das Poncelet Wasserrad entwickelte. Der Aufbau bestand aus einem unterschlächtigen Wasserrad nur dass die Schaufeln stark nach vorne gekrümmt waren. Der Sinn war es, die potentielle Energie ganz in Kinetische Energie zu transformieren um diese dann anschließend in Mechanische Energie umzuwandeln.<sup>20</sup>

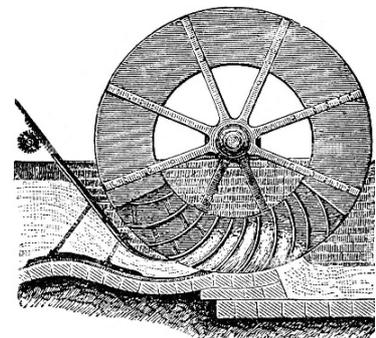


Abbildung 15: Das Poncelet Wasserrad

Beim Poncelet Wasserrad geht es hauptsächlich darum, dass die Bewegungsenergie des Wassers in der Schaufel in Lageenergie umgewandelt wird. Das Wasser soll ohne

---

<sup>20</sup> "Regenerative Energieversorgung." *LEIFiPhysik*, [www.leifiphysik.de/uebergreifend/regenerative-energieversorgung/ausblick/wasserraeder](http://www.leifiphysik.de/uebergreifend/regenerative-energieversorgung/ausblick/wasserraeder). Accessed 23 May 2023.

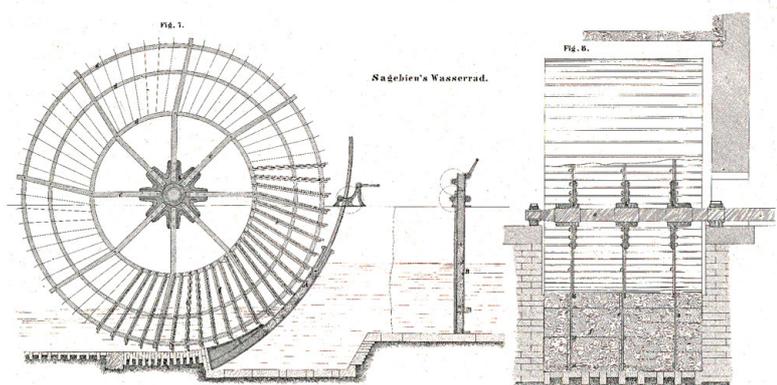
Stoß und in tangentialer Richtung, also in Richtung der gekrümmten Schaufeln, in die Schaufel eintreten. Dadurch wird Momentum erzeugt. Beim Herausfließen des Wassers wird die potentielle Energie wieder in Kinetische Energie umgewandelt.

Beim Herausfließen drückt das Wasser gegen die Schaufel, wodurch Energie abgegeben wird und eine Art Stoß entsteht.<sup>2122</sup>

### Sagebien Wasserrad

Mit einem ähnlichen Prinzip wie das Poncelet Rad funktioniert das Sagebien Wasserrad. Alphonse Sagebien stammte ebenfalls aus Frankreich und war Hydrologie-Ingenieur. Wie Poncelet auch, versuchte Sagebien das Einfließen des Wassers ohne Stoß ablaufen zu lassen. Die Geschwindigkeit des Wassers beim Herausfließen wollte er so gering wie möglich halten. Dies wahrscheinlich aus dem Grund, dass bei einem zu schnellen Herausfließen das Wasser noch einmal zurückströmt und das Wasserrad somit abbremst. Dies setzte er um, indem er die Umfangsgeschwindigkeit

also die Geschwindigkeit an der Äußeren Kreislinie des Wasserrades so niedrig wie möglich behält und viele kleine Schaufeln einbaut damit jeweils nur kleine Mengen an Wasser aufgenommen



und *Abbildung 16: Das Sagebien Wasserrad*

<sup>21</sup> Limited, Alamy. "Poncelet-Rad." Alamy, [www.alamy.de/stockfoto-energie-wasser-wasserrader-wasserrad-sogenanntes-poncelet-rad-querschnitt-holzgravur-ende-19-jahrhundert-19-jahrhundert-technik-technik-technik-impuls-impulse-antriebskraft-antriebskraft-stromerzeugung-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-paddelrad-schaufler-rad-schaufler-rader-schaufler-rader-historische-historische-additional-rights-clearances-not-available-106916038.html](http://www.alamy.de/stockfoto-energie-wasser-wasserrader-wasserrad-sogenanntes-poncelet-rad-querschnitt-holzgravur-ende-19-jahrhundert-19-jahrhundert-technik-technik-technik-impuls-impulse-antriebskraft-antriebskraft-stromerzeugung-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-paddelrad-schaufler-rad-schaufler-rader-schaufler-rader-historische-historische-additional-rights-clearances-not-available-106916038.html). Aufgerufen am 15. März 2023.

<sup>22</sup> "Elib.Uni-Stuttgart.De." *Universität Stuttgart*, [elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/10339/3/Disserstation%20Matthias%20von%20Harten.pdf](http://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/10339/3/Disserstation%20Matthias%20von%20Harten.pdf). Accessed 23 May 2023.

abgelassen werden können. Die Umfangsgeschwindigkeit betrug eine maximal Geschwindigkeit von weniger als 0,75 m/s. Durch die sehr langsame Umdrehung brauchte man große Übersetzungen, wodurch wiederum viel Kraft verloren geht. Der Wirkungsgrad bei diesem Wasserrad beträgt 80%. Ein Vorteil der langsamen Umfangsgeschwindigkeit ist, dass keine Geräusche beim Ein- und Austreten des Wassers entstehen. Ein Nachteil davon ist es, dass das Wasserrad dadurch nicht vielseitig einsetzbar ist.

Das Sagebien Wasserrad wird heute nicht mehr gebaut.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> Landolf, Urs. *1866 Sagebien's Wasserrad - Mühlenkalender*,  
[www.muehlenkalender.ch/1866-sagebien-s-wasserrad-1.html](http://www.muehlenkalender.ch/1866-sagebien-s-wasserrad-1.html). Aufgerufen am 15. März 2023.

## Wasserkraftwerke

### Funktionsweise eines Wasserkraftwerkes

Die Idee eines Wasserkraftwerkes ist es aus der Kraft der kinetischen Energie von fließenden Gewässern elektrischen Strom zu erzeugen. Dieses Verfahren besteht aus vier Teilschritten. Essenziell ist, dass eine kinetische Energie vorhanden ist, grösstenteils werden dafür Flüsse oder Wasserspeicher benutzt. Eine Turbine oder ein klassisches Wasserrad ist nötig um mit Hilfe des Druckes, welcher durch den Flusstrom entsteht, eine brauchbare Bewegung zu erhalten. Anders als in altmodischen Wasserradmühlen werden in Kraftwerken viel effizientere Turbinen eingesetzt. Auch Wasserräder sind Turbinen, jedoch befinden sich in Kraftwerken modernere Turbinen mit höherem Wirkungsgrad.

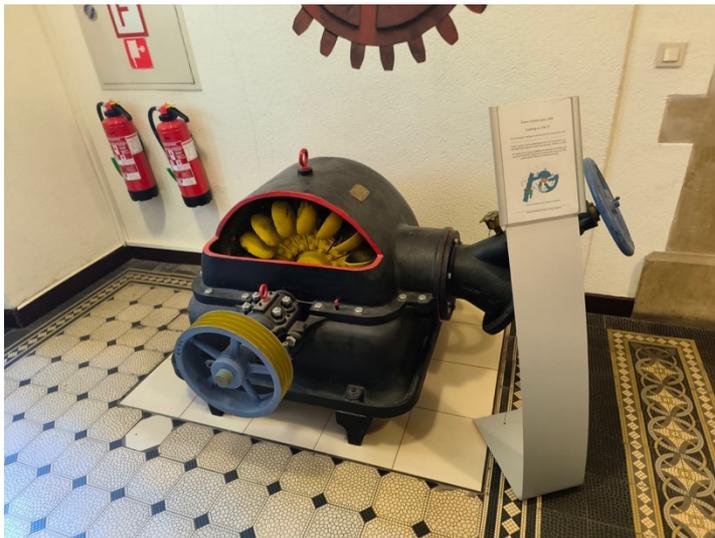


Abbildung 17: Die Pelton-Turbine im Lycée des Arts et Métiers

## Stromverbrauch in Luxemburg

<sup>24</sup>Der Stromverbrauch in Luxemburg lag 2021 bei 6.50 Milliarden kWh (Kilowattstunden)

Das waren theoretisch 10.116 kWh pro Einwohner. Der größte Teil dieses Stroms kommt aus Deutschland. Luxemburg importiert dabei 7,72 Mrd. kWh. Produziert wird dabei 334,50 Mio. kWh in Luxemburg.

Der Stromverbrauch eines Einfamilienhauses liegt bei ungefähr 2.400 kWh für 2 Personen (in Deutschland) und 4.000 kWh für 4 Personen<sup>i</sup>

Wie es die Zeitung Tageblatt schreibt, stammen 56% des Stroms hierzulande aus erneuerbaren Energien. Die restlichen 35% stammen von nicht erneuerbaren Energien wovon 8% aus Atomkraftwerken kommen.

Der Strom, welcher in Luxemburg verbraucht wird, stammt aus folgenden Quellen,

**Wasserkraft** (45,7%), Kraft-Wärme-Kopplung (19,8%), Kohle (8,3%), Atomkraft (7,7%), Erdgas (6,8%), Windenergie (4,3%), Solarenergie (2,8%), sonstige fossile Energiequellen (0,9%).

Wie zu sehen ist, stammt der grösste Teil des Stroms aus Wasserkraftwerken, gefolgt von Wind- und Solarenergie.

Bei den nicht erneuerbaren Energien dominiert hier zu Lande das Heizkraftwerk (Kraft-Wärme-Kopplung), gefolgt von Atomkraftwerken und Erdgas.

---

<sup>24</sup> Author, No. "Hintergrund / 35 Prozent Mehr: Deshalb Wird Der Strom in Luxemburg Teurer." *Tageblatt.Lu*, 2022, [www.tageblatt.lu/headlines/35-prozent-mehr-deshalb-wird-der-strom-in-luxemburg-teurer/](http://www.tageblatt.lu/headlines/35-prozent-mehr-deshalb-wird-der-strom-in-luxemburg-teurer/). Aufgerufen am 22. März 2023. *Tageblatt.Lu*, 2022, [www.tageblatt.lu/headlines/35-prozent-mehr-deshalb-wird-der-strom-in-luxemburg-teurer/](http://www.tageblatt.lu/headlines/35-prozent-mehr-deshalb-wird-der-strom-in-luxemburg-teurer/). Aufgerufen am 22. März 2023.

## Stromherstellung in Luxemburg

Wie man weiß, produziert Luxemburg auch auf nationalem Niveau seinen eigenen Strom. Die ILR (*Institut Luxembourgeois de Régulation*) schreibt, dass dieser jedoch nur 18,5% des Verbrauchs abdeckt. Die Produktionskapazität betrug 2021 hierzulande 529 MW, 2020 waren es nur 522 MW. Laut ILR sei dies auf die „*Inbetriebnahme neuer Fotovoltaikanlagen zurückzuführen*“.

In Luxemburg wird 77,92% des Stromes in nachhaltigen Kraftwerken produziert. Dieser stammt aus: Windenergie (25,97%), Biomasse (23,57%), Solarenergie (14,81%), Wasserkraft (8,52%) und Biogas (5,05%). Die restlichen 22% stammen zu 14,31% aus Erdgas und 7,69% aus der Müllverbrennung. 2021 erzeugte Luxemburg insgesamt 993 GWh Ökostrom.

$$993 \text{ GWh} = 993 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

Nähme man den ungefähren Stromverbrauch eines einfachen Einfamilienhauses mit 4 Personen, wäre dies ungefähr 4.000 kWh/Jahr.

$$993 \cdot 10^6 \text{ kWh} / 4.000 \text{ kWh} = 248.250 \text{ Einfamilienhäuser}$$

(Die hierfür benutzte Werte können ungenau sein. Der Wert des Stromverbrauchs eines Einfamilienhauses **ohne** Warmwasserbereitung stammt aus Deutschland)

2021 importierte Luxemburg 81,5% des genutzten Stroms aus dem Ausland. So kommt dieser zu 57,62% aus Deutschland, zu 21,23% aus Frankreich und 21,14% kommen aus Belgien. Das wären insgesamt 5.397 GWh, quasi 5-mal mehr als Strom in Luxemburg hergestellt wird. Der importierte Strom muss jedoch nicht unbedingt in den Ländern produziert worden sein, aus denen dieser kommt.

Im Jahre 2020 war es zum Beispiel so, dass der Strom aus vielen verschiedenen Ländern kam. So kamen 45% aus Norwegen, 16% aus Frankreich, 13% aus Island, 10% aus Luxemburg, 5% Finnland, 3% Österreich und die restlichen 8% aus anderen Ländern.

Wie also klar zu sehen ist, stammt der importierte Strom nicht aus nur 3 Quellen, sondern aus vielen Verschiedenen Ländern. Dies liegt daran, dass die Stromhändler mit egal welchem Partner, im europäischen Wirtschaftsraum, einen Stromliefervertrag abschließen können.

Der ganze importierte und national produzierte Strom, wird in unterschiedlichen Branchen verbraucht. Insgesamt wurden 2021 6.356 GWh Strom verbraucht. Die Hälfte davon, also 3.725 GWh wurden in der Industrie verbraucht, 1.628 im Gewerbe und die restlichen 1.003 GWh gingen in die Haushalte. <sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> <sup>25</sup> Author, No. "Hintergrund / 35 Prozent Mehr: Deshalb Wird Der Strom in Luxemburg Teurer." *Tageblatt.Lu*, 2022, [www.tageblatt.lu/headlines/35-prozent-mehr-deshalb-wird-der-strom-in-luxemburg-teurer/](http://www.tageblatt.lu/headlines/35-prozent-mehr-deshalb-wird-der-strom-in-luxemburg-teurer/). Aufgerufen am 22. März 2023. *Tageblatt.Lu*, 2022, [www.tageblatt.lu/headlines/35-prozent-mehr-deshalb-wird-der-strom-in-luxemburg-teurer/](http://www.tageblatt.lu/headlines/35-prozent-mehr-deshalb-wird-der-strom-in-luxemburg-teurer/). Aufgerufen am 22. März 2023.

# Das Wasserradexperiment

## Bau des Rades

### Die Basis

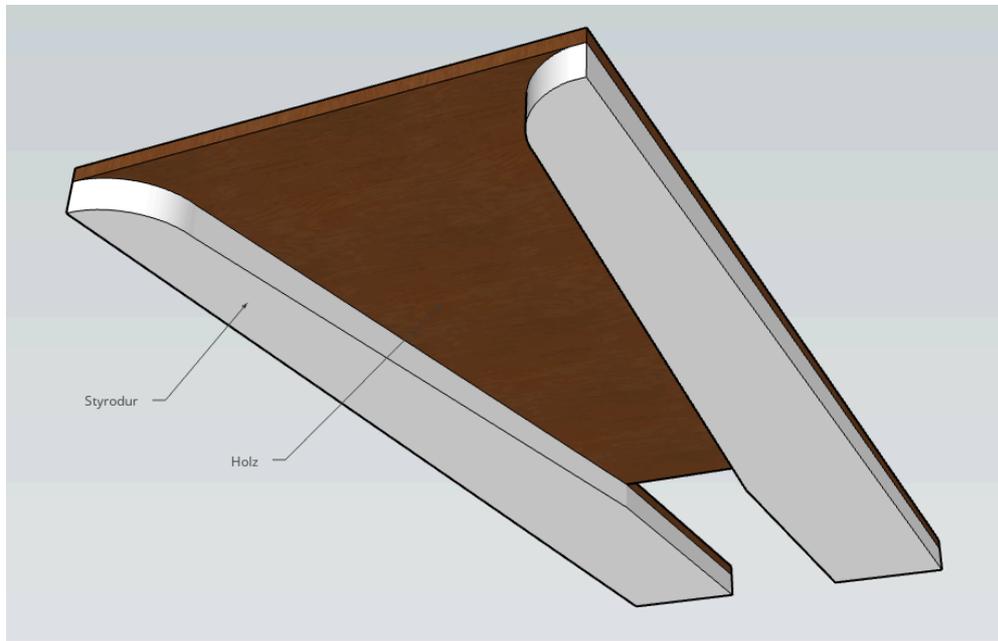


Abbildung 18: Die Basis Planung, 3D-Design

Die Basis soll aus einer Holzplatte bestehen, in welche ein Einschnitt gesägt wurde, damit das Rad späterhin dort angesetzt werden kann. Unter der Platte befinden sich Unterstützungen, welche aus Styrodur bestehen. Die Höhe der Styrodur-Elemente ist so kalibriert, dass die Masse des Rades, der Übersetzung, der Lichtmaschine und wohlmöglich die Gewichte zur Balance-Ausgleichung das Styrodur beinahe vollkommen Unterwasser drücken. Diese Eigenschaft sorgt dafür, dass das Rad auf Gewässern schwimmen kann, sodass der Schwimmkörper die Schippen des Rades, unabhängig des Wasserspiegels, sich jedes Mal auf der perfekten Höhe der maximalen Wasserkraft in Bezug auf die Schippen befindet. In anderen Worten, das Wasserrad steht immer auf der effektivsten Position.

Die Styrodur- Platten haben ebenfalls eine zweite Funktion, welche die trichterartige Erscheinung erklärt. Das Styrodur befindet sich Unterwasser damit dieses durch seine Form das Prinzip eines Venturi nachahmen kann.

Das Wasser wird durch einen sich verschmälern den Raum geschickt, welches den Flussstrom erhöht und somit ein schnelleres Drehen des Rades ermöglicht. Sodass das Ganze funktioniert muss die Basis per Seil an das Ufer festgeknotet sein. Das Rad soll den schnellsten Punkt des Flusses, also die Flussmitte in einem geraden Fluss, erreichen.



Abbildung 19: Schneiden der Styrodur-Platte

Das Styrodur wurde so geschnitten, dass der Wasserdruck sich durch eine Verengung erhöht und somit das Rad späterhin eine höhere Geschwindigkeit erhält.



Abbildung 20: Venturi

Um die Holzplatte zu stabilisieren, wurde ein Gerüst angefertigt.



Abbildung 21: Gerüst Messungen



Abbildung 24: Sägen des Gerüsts



Abbildung 23: Gerüst Zusammensetzung



Abbildung 22: Schweißen des Gerüsts

## Die Übersetzung

Wie das Rad und die Basis soll auch die Übersetzung selbst hergestellt werden. Sie besteht aus Fahrradketten- und Zahnrädern, man nimmt ein Großes Zahnrad und verbindet es mit einem kleinen. Das kleine Zahnrad wird mit einer Kette von einem Großen Zahnrad angetrieben, sodass dieses schneller dreht, an diesem Zahnrad wird ein Großes angebracht, welches nun anhand seines größeren Radius mehr Zähne mit gleicher Drehzahl besitzt. Dieses treibt wieder ein kleines Zahnrad an. Der Vorgang wiederholt sich so lange bis die erwünschte Drehzahl, um den Alternator anzutreiben erreicht ist.



Abbildung 27: übersetzung Zahnräder



Abbildung 26: übersetzung Kugellager



Abbildung 25: übersetzung der Muerbelsmillen

## Der Alternator

Der Alternator wird das einzige Element des Projektes sein, welches nicht selbst hergestellt wurde. Auch wenn der, für uns ideale, Alternator mit Permanentmagneten funktionieren soll, erhält man mit einem selbstgebauten Alternator bis jetzt kein zufriedenstellendes Resultat.

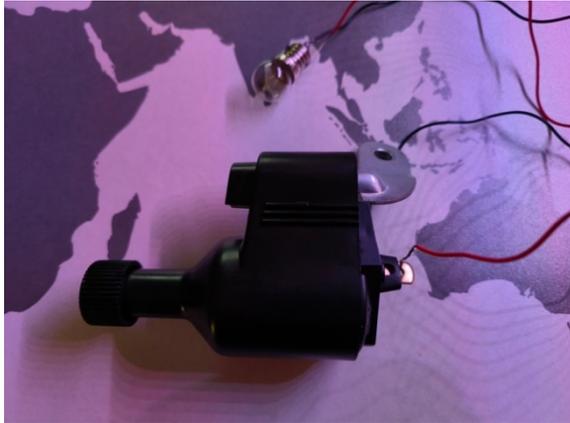


Abbildung 28: Fahrraddynamo ( Permanentmagneten)



Abbildung 29: Lkw-Alternator (Elektromagneten)

Beide Bilder sind Beispiele von Strom-Generatoren, jedoch entsprechen sie nicht den erwünschten Bedingungen. Eine Lichtmaschine, welche unserer Hypothese nach ideal wäre, wäre der Alternator eines 50ccm Motorrades. Dieser hat durch seine kleine Größe den kleinsten Widerstand und kann somit ohne viel Kraft zum Drehen gebracht werden.

Das Problem was trotzdem auftreten könnte ist, dass das Magnetfeld im Alternator zu viel Widerstand leistet und dieser nicht angetrieben werden kann. Die Lösung dazu wäre entweder den sogenannten „Erregerstrom“, der Strom, welcher die Elektromagneten antreibt, oder die Menge an Umwicklungen, wodurch die Stärke des Magnetfelds verringert wird, zu reduzieren.

Schlussendlich musste ein Elektromotor als Generator verwendet werden, da es nicht möglich war eine funktionsfähige Lichtmaschine zu erhalten.

Elektromotoren können nämlich auch als Generatoren genutzt werden, weil ihre funktionsweise der eines Generators entspricht, nur dass E-Motoren mit Hilfe von Elektrizität eine Drehbewegung aufbringen, statt mit einer mechanischen Bewegung elektrischen Strom erzeugen. Geplant war es eigentlich eine Lichtmaschine auf einem Schrottplatz zu kaufen und diese so zu recyceln, jedoch waren alle vorhandenen Alternatoren nicht funktionstüchtig.

## Das Rad

Geplant war es ein Rad eines Fahrrades als Vorlage des Wasserrades zu benutzen, an welches Schippen angeschweißt werden sollen. Der Bau des Rades wird hier drunter in einer Tabelle erklärt und beschrieben.

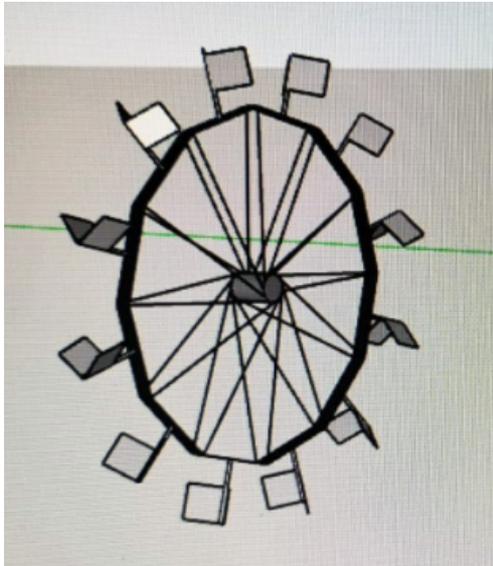


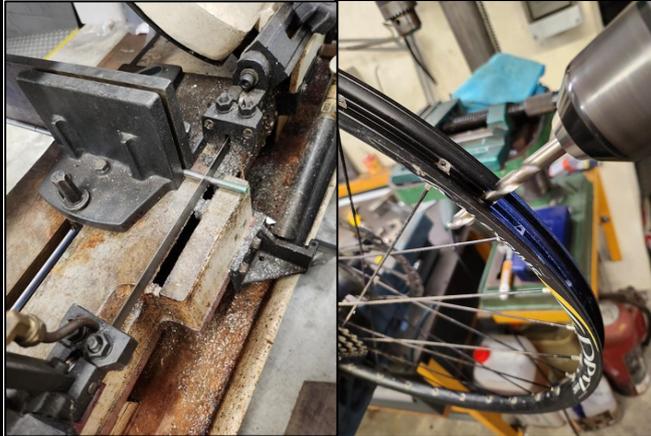
Abbildung 30: Rad Planung, 3D-Design



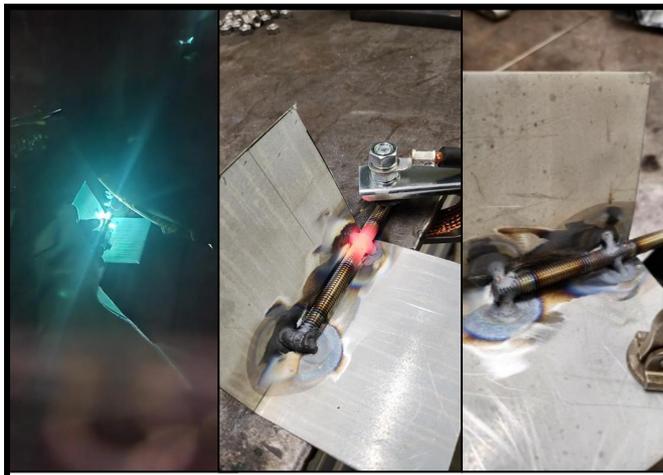
Mit einer Blechschere werden Rechtecke ausgeschnitten, welche späterhin die Schippen bilden.



Die Schaufeln werden im richtigen Winkel per Schraubenzwingen gebogen und im Nachhinein mit einem Winkelschneider dort geschliffen, wo die Schweißung entstehen wird, um die Schutzschicht des Bleches zu entfernen, da diese sonst eine saubere Schweißung verhindern würde.



Die Gewinnstangen werden auf die exakte Maße geschnitten, so dass sie die gleiche Länge haben. An einer Fahrradfelge, welches als Basis des Wasserrades fungiert, werden in einem exakten Abstand Löcher gebohrt, um die Schippen später dort einzuführen.



Die 16 Schippen und Gewinnstangen werden gleichmäßig zusammengelegt und aneinandergeschweißt.



Die Schippen werden mit dem Rad per Schraubenmuttern verbunden.

Nun hat man ein Wasserrad, welches seinen Radius und den Winkel der Schippen verändern kann.

## Das Resultat



Abbildung 31: Das Endprodukt Seitenansicht



Abbildung 32: Das Resultat Ansicht von oben

## Experimentelle Resultate

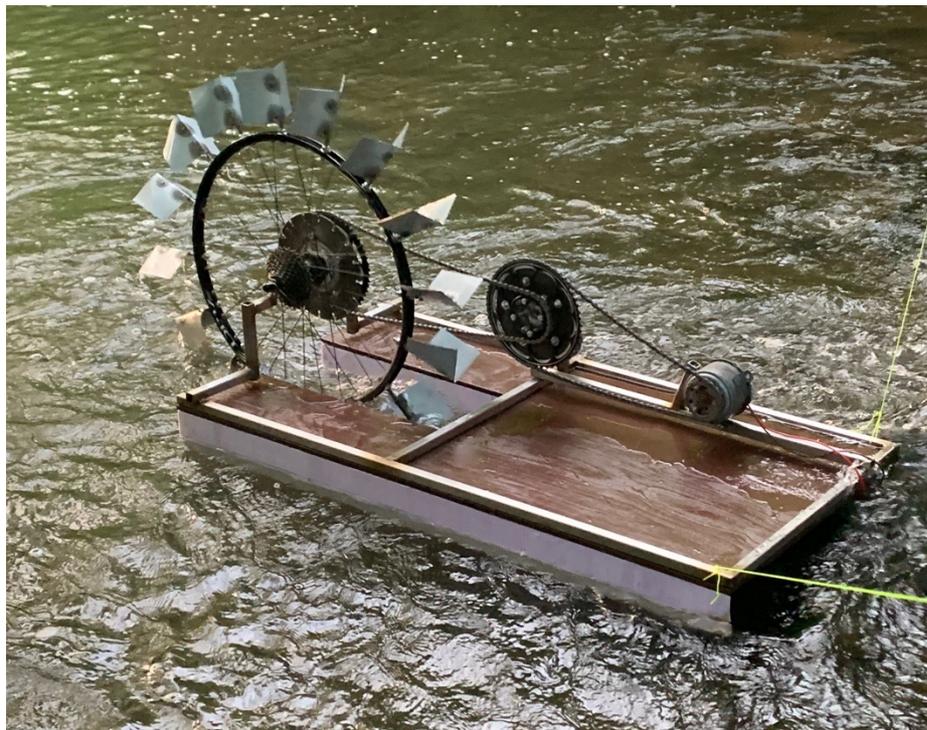


Abbildung 33: Das Experiment

Das Experiment wurde in der Mamer durchgeführt, ein schmaler Fluss mit teilweise recht hoher Flusstromgeschwindigkeit.

Trotz der hohen Geschwindigkeit erreichte das Wasserrad eine Frequenz von nur 12 Umdrehungen pro Minute. Durch die Übersetzung, in welcher das zweite Zahnrad 6-mal weniger Zähne aufweist als das erste, wird die Umdrehungszahl um 6-mal erhöht. Das gleiche gilt vom dritten auf das Zahnrad des Generators, nur dass dieses 4-mal kleiner übersetzt wurde. Somit erhalten wir eine Frequenz von 288 Umdrehungen pro Minute.

	Zahnrad (Rad)	Kleines Zahnrad (Übersetzung)	Großes Zahnrad (Übersetzung)	Zahnrad (Generators)
Zahnanzahl	66	11	44	11
Frequenz	12 1/min	72 1/min	72 1/min	288 1/min

288 Umdrehungen pro Minute sind dennoch recht wenig und sind wenig brauchbar, wenn dieses einen größeren Generator antreiben müsste. Mit dem E-Motor, welcher in diesem Falle als Generator eingesetzt wird erreichen wir eine Spannung von 3 Volt, währenddessen die ideale Stromspannung um 12 Volt liegt. Da es sich um einen Wechselstromgenerator handelt, ist es mit unseren mitteln nicht möglich eine Wirkleistung zu errechnen, da wir nicht wissen wie groß die Phasenverschiebung zwischen der elektrischen Spannung und der elektrischen Stromstärke ist.

### Theoretisches Potential von Wasserrädern in Luxemburg

Wenn man in jedem flussbelegten Dorf in Luxemburg Wasserräder installieren würde, sodass man insgesamt auf eine Anzahl von 150 Wasserräder kommt (Der Wert wurde gewählt, um ein theoretisches Potential zu errechnen, ausserdem ist es eine realistische Anzahl), welchen Einfluss könnte dies auf den Stromverbrauch der luxemburgischen Bürger haben? Würde man Wasserräder bauen, welche an Generatoren mit einer Leistung von 3000 Watt angeschlossen sind, kommt man auf einen Energiewert von  $1,62 \cdot 10^6 \text{ J}$ . Diese Wasserräder müssten jedoch grösser sein als unser selbstgebautes, recht kleines Wasserrad, da dieses nicht die benötigte mechanische Leistung aufbringen kann um einen 250A; 12V Generator anzutreiben da die elektromagnetische Kraft der Induktion die Drehbewegung stark abbremst.

Anzahl an Wasserrädern	Stromstärke I (Ampere)	Spannung U (Volt)
1	250	12
25	6250	12
50	12500	12
100	25000	12
150	37500	12

Leistung P (kilo Watt)	Arbeit W (kilo Wattstunde)	Energie E (Joule)
3	3	1,08E+04
75	75	2,70E+05
150	150	5,40E+05
300	300	1,08E+06
450	450	1,62E+06

Verbrauch pro Familienhaus im Jahr (kh)	Verbrauch pro Familienhaus pro Stunde (kwh)
4000	0,456621005

Anzahl an Wasserrädern	Versorgte Familienhäuser	Versorgte Personen
1	6,570	26,280
25	164,250	657,000
50	328,500	1314,000
100	657,000	2628,000
150	985,500	3942,000

Im Jahr verbraucht ein Familienhaus mit 4 Personen eine Energie von 4000kWh, dies entspricht einem Wert von 456,621Wh pro Stunde. 150 Wasserräder produzieren eine Energie von  $450 \cdot 10^3 \text{Wh}$ , damit wäre es möglich ungefähr 985,5 solcher Familienhäuser mit elektrischem Strom zu versorgen, respektiv 3942 Bürger Luxemburgs.

Wie man unter der Überschrift "Stromverbrauch in Luxemburg" lesen kann wäre es klimatechnisch vorteilhaft, wenn 16% (Kohlekraftwerke 8,3%; Erdgas 6,8%; weitere Fossilbrennstoffe 0,9%) der Energiequellen in Luxemburg durch ökologischere Alternativen ersetzt werden. 16% von  $6,5 \cdot 10^9 \text{kWh}$  (Gesamtverbrauch) entspricht einem Wert von  $1,04 \cdot 10^9 \text{kWh}$ . Im Jahr würde ein Wasserrad 26.280kWh produzieren, um alle umweltschädlichen Energiequellen zu kompensieren wären also 39.573 Wasserräder notwendig, dies ist jedoch eine stark unrealistische, unmöglich umzusetzende Anzahl. Mit 150 Wasserrädern, welche  $3,942 \cdot 10^6 \text{kWh}$  Strom im Jahr herstellen, könnte man 0,38% der umweltfreundlichen Energien kompensieren.

## Wasserrädermodell anhand eines konkreten Beispiels

Wasserräder sind umweltfreundliche, alternative Energien, ausserdem sind sie wenig umständlich zu bauen und zu errichten. Sie wären sehr vorteilhaft in kleinen, flussbelegten Dörfern, auch wenn sie statistisch gesehen nicht viel von dem Gesamtstrom, welcher aus erderwärmungsfördernden Energiequellen stammt, kompensieren, wäre es dennoch hilfreich welche zu installieren. Viel des verbrauchten Stromes wird wegen industriellen Gründen und Nutzen der Infrastruktur gebraucht, diese könnten nur wenig von den Wasserrädern profitieren. Es wäre aber möglich die Energie der Bürger eines Dorfes komplett auf Wasserräder zu basieren.



Abbildung 34: Dorf: Schoenfels; Fluss: Mamer

In einem Dorf mit ungefähr 80 Familienhäusern, wie Schoenfels, wo das Experiment mit unserem selbstgebauten Wasserrad stattfand, wären 12 Wasserräder nötig, um allein alle Häuser, wenn man annimmt, dass durchschnittlich in jedem Haus vier Personen wohnen, mit Strom zu versorgen. Wenn man bedenkt, dass der Fluss Mamer mehrere Kilometer von Schoenfels aus fließt bis er ein weiteres Dorf

erreicht, dann könnte man die 12 Wasserräder gerecht verteilen und die Ästhetik des Flusses kaum beeinflussen.

Auch wenn Wasserräder nur wenig Einfluss auf die Stromherstellung hätten, würden sie dennoch eine positive Auswirkung auf den Stromkonsum in Luxemburg haben.

## Alternative Energien

Überall in Europa kann Wasserkraft je nach Lage und Standort sehr gut zur Herstellung von grüner Energie genutzt werden.

Auch hier in Luxemburg kann man sich die Wasserkraft in unseren großen Flüssen zu nutzen machen. Einige Strukturen wie die Staumauer in Esch-sur-Sûre sind bereits Teil der Stromproduktion und sind mehr oder weniger Umweltfreundliche Methoden, um lokal Strom zu produzieren.

Wasserkraft ist jedoch nicht die einzige Umweltfreundliche Methode, um grünen Strom herzustellen. Da gibt es noch unzählige andere Möglichkeiten. Mit einigen dieser Methoden werden wir uns nun hier kurz beschäftigen.

### Windkraft

Wind ist wie Wasser eine Kraft deren kinetische Energie man benutzen und in Bewegungsenergie umwandeln kann. Zudem ist Wind im Gegensatz zu Wasser eine unerschöpfliche Quelle, um Strom herzustellen.

Wie man durch Wind elektrischen Strom erstellen kann, funktioniert mit Windkraftanlagen. Sie haben ein ähnliches Prinzip wie das Wasserrad. Der Wind stösst gegen die Rotorblätter, wodurch sich eine frei drehende Nabe, welche auf einer frei beweglichen Rotorwelle sitzt, rotiert. Die Rotorblätter können zudem so im Winkel verstellt werden, dass man den «Pitch» also den Anströmwinkel ändern kann, wodurch die Geschwindigkeit kontrolliert wird.

### Funktionaler Aufbau eines Windrads

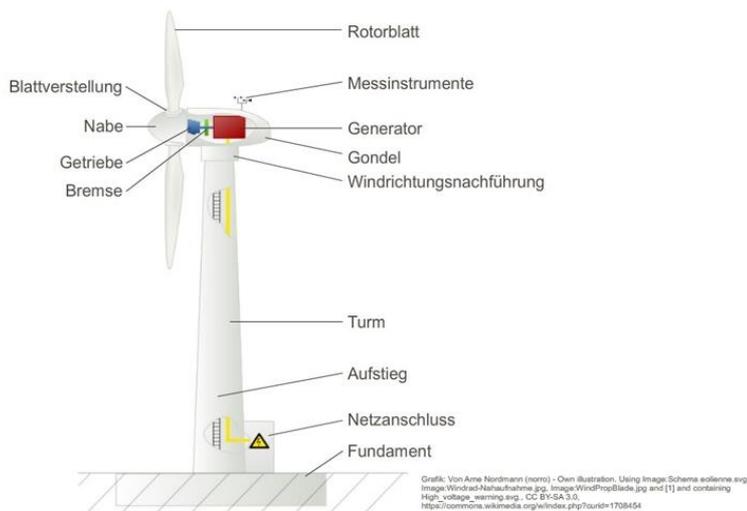


Abbildung 35: Windkraftwerk

<sup>26</sup>Einfach erklärt wird auch hier die durch in mechanisch umgewandelte Bewegungsenergie des Windes benutzt, um einen Generator über ein Getriebe anzutreiben, welcher selbst im Gehäuse des Windrades sitzt.

Eine solche Windkraftanlage kann genügend Strom herstellen, um 1000 Haushalte zu versorgen.

Vorteil von solchen Windkraftanlagen sind, dass sie, wenn genügend Wind weht, dauernd Elektrizität herstellen können. Sie sind daher sehr effektiv und umweltfreundlich. Der Nachteil ist, dass ohne Wind kein Strom hergestellt werden kann, an Tagen, hauptsächlich im Sommer, wenn es mal die ein oder andere Windstille Tage gibt, fällt die Stromproduktion komplett aus. Eine Schattenseite der Windkraftanlagen sind die Rotierenden Blätter, welche die Vögel gefährden. Diese

---

<sup>26</sup> Von Arne Nordmann (norro) - Own illustration. Using Image:Schema eolienne.svg, Image:Windrad-Nahaufnahme.jpg. "Funktionaler Aufbau Eines Windrads." *Funktionaler Aufbau Eines Windrads* | Medienportal Der Siemens Stiftung, [medienportal.siemens-stiftung.org/de/funktionaler-aufbau-eines-windrads-108871](http://medienportal.siemens-stiftung.org/de/funktionaler-aufbau-eines-windrads-108871). Aufgerufen am 23. Mai 2023.

nehmen die Blätter nicht immer wahr, wodurch es zu tödlichen Kollisionen kommen kann. Eine Lösung dazu wären Akustische Signale, welche die Tiere warnen und somit eine Kollision verhindern könnten.

Es gibt solche Windkraftanlagen nicht nur auf dem Land, sondern auch auf dem Meer. Sogenannte Im Vergleich mit den an Land befindlichen Windparks, produzieren Offshore Parks mehr Strom. Das dadurch, da auf dem Meer höhere Windgeschwindigkeiten herrschen.

Nachteile sind jedoch, dass sie erstens viel teurer als Onshore-Windparks und viel Aufwendiger im Bau und der Unterhaltung sind. Zudem kommt, dass auch hier wieder die Natur beeinträchtigt wird.

## Geothermie

<sup>27</sup>Geothermie ist ein eher aufwendiger Prozess, um Strom herzustellen. In Deutschland werden diese beispielsweise nur benutzt, um Wärme zu erzeugen, da dies weniger hohe Temperaturen erfordert.

Bei der Geothermie wird Wasser unter hohem Druck in Geothermie gebiete gepumpt. Dort wird es durch die hohen Temperaturen auf 100 Grad erhitzt wird. Das nun heisse

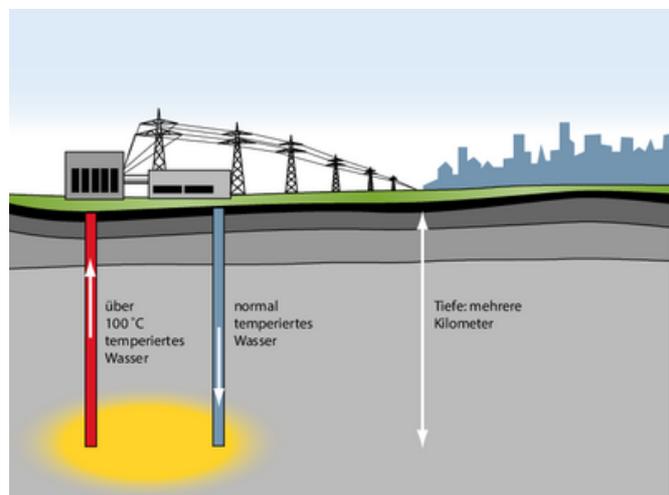


Abbildung 36: Geothermie funktion

Wasser, steigt durch eine sogenannte Produktionsleitung wieder nach oben. Oben angekommen, wird die Energie des Wassers an eine andere Flüssigkeit in einem weiteren Kreislauf abgegeben. Diese Flüssigkeit nimmt einen gasförmigen Aggregatzustand an, wodurch eine Turbine angetrieben wird. Dies Turbine treibt

<sup>27</sup> Physik, Welt der. "Geothermie." *Welt Der Physik*,

[www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/geothermie/](http://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/geothermie/). Aufgerufen 23 Mai 2023.

wiederum einen Generator an, welcher Strom produziert. Das Gas wird in einem Kühlsystem gekühlt und wird somit wieder flüssig. Der Prozess wiederholt sich.

## Sonnenenergie

Sonnenenergie auch noch Solarenergie genannt kann mithilfe von Solarzellen gewonnen und so Strom produziert werden. Dies funktioniert, indem Photonen<sup>28</sup>, welche Energie enthalten, auf die Voltaik Anlage treffen. In einer sogenannten n-Schicht setzen sich die Elektronen, aus dem Sonnenlicht, dort ab. Über einen Leiter bewegen sich die Elektronen zu der p-Schicht. Die p-Schicht ist positiv geladen, besteht daher aus Protonen. Die Elektronen und Protonen ziehen sich an. Durch die Elektronen die von der n- zur p-Schicht wandern entsteht ein Strom, dieser wird durch einen Inverter von Gleichstrom zu Wechselstrom umgewandelt, um den Strom somit im Haus benutzen zu können. Überflüssiger Strom, welcher nicht im Haus benutzt wird, wird ans Stromnetz übertragen.

Interessant ist, dass, eine private Fotovoltaik Anlage, pro Jahr etwa 1,7 Tonnen Kohle ersetzt

---

<sup>28</sup> Bestandteile des Lichts, welche die Energie besitzen. Entstehen in der Atomhülle.

## Bioenergie

Bioenergie ist eine weitere Möglichkeit, um erneuerbare Energie herzustellen. Hierzu wird lediglich sogenannte Biomasse verbrannt. Zu Biomasse gehören alle Organischen Stoffe wie Holz, Gülle oder Bioabfälle (Müll).

In der Landwirtschaft werden beispielsweise spezielle Pflanzen wie Mais, welcher wenig Wasser braucht und viel Biomasse erstellt, massenweise angepflanzt, um diesen später in Biogasanlagen abzugeben. In Biogasanlagen wird der Mais dann unter speziellen Bedingungen zum Gären gebracht. Dadurch entsteht dann Biomasse, welche entweder zum Heizen gebraucht werden kann oder zu Herstellung von Strom.

So kann auch Gülle, also die Exkremente von Kühen beispielsweise, durch den hohen Anteil an Methan benutzt werden, um diese zu verbrennen.

## Vergleich der Wasserkraft zu den alternativen Energien

Wasserkraft ist eines der bedeutendsten Elemente in der Strom Produktion. Wie Wind enthält Wasser Energie, welche durch spezielle Wasserkraftwerke ausgenutzt wird, um damit Strom zu produzieren.

Das Problem bei Wasser ist, dass es ein grosser Aufwand ist, um grössere Mengen Strom mit Wasserkraft herzustellen. Wenn man ein Kilo Wasser mit der Erdbeschleunigung (9,832 m/s) multipliziert, so erhält man ungefähr 9,83 Joule. Umgewandelt sind das  $2,73 \cdot 10^{-3}$  Wh.

Um mit Wasser 1000Wh an Strom herzustellen, müssten ungefähr 366.151 Liter Wasser einen Meter in die Tiefe stürzen.

Hat man einen Bachlauf von 30cm tiefe und 2 Meter breite, würde es 13 Minuten dauern damit diese Menge durchfließen würde. An diesem Bach könne man maximal nur 4,6 kW an Leistung herstellen.

Das Problem mit Wasserkraft ist also, dass es entweder viel Wasser braucht oder eine große Fallhöhe damit man viel Strom herstellen kann.

Ein weiterer Nachteil ist, dass es gerade hier in Luxemburg einen großen Eingriff in die Umwelt erfordert, um ein hohes Gefälle herzustellen. Je nach Lage ist es ungünstig und kostet sehr viel Geld. In Deutschland beispielweise gibt es viele Regionen mit großen Gefällen. So findet man diese beispielsweise in den Alpen und Mittelgebirgen sowie in großen Flüssen. So werden in den Gebirgreichen Regionen im Süden Deutschland 80% des Wasserkraftstroms produziert.

Luxemburg besitzt wenig, bis gar keine größeren Gefälle, die man Vorteilhaft nutzen könnte. In Vianden musste man daher ein großes Oberbecken bauen, um überhaupt ein Gefälle zu erzeugen welches stark genug abfällt, um somit viel Energie herzustellen. In Esch-sur-Sûre war ein großer Eingriff in die Natur nötig, um eine Staumauer herzustellen. Flüsse wie die Mosel könnten und werden durch ihre große Menge an Wasser momentan sogar für die Stromproduktion benutzt.

Die Wasserkraft ist hier im Land schwer zu nutzen. Eine einfachere Möglichkeit Strom herzustellen, wären Wasserräder.

Wasserräder können der Lage entsprechend in der Größe angepasst werden, sie sind billig und können mit einfachen Mitteln gebaut werden. Zusätzlich dazu besitzen wir hier im Lande Strukturen wie Mühlen, welche genutzt werden könnten. Auch wenn ein Wasserrad sicherlich kein Wasserkraftwerk wie dieses in Vianden ersetzen kann, ist das Wasserrad trotzdem eine nachhaltige und einfache Möglichkeit, um zusätzlich Strom zu produzieren. Es bräuchte jedoch viele Wasserräder, um überhaupt eine bemerkenswerte Menge an Strom herstellen zu können.

Vergleicht man Wasserkraft nun mit Windkraft erkennt man, dass Windkraft viel mehr Strom produzieren kann. In Deutschland war es 2019 so, dass mit Wasserkraft 4%, also 20,6 TWh, des Bruttostromverbrauchs gedeckt werden konnte. Mit Windkraftanlagen konnte im selben Jahr 24,4% ungefähr 126 TWh des Stromverbrauchs gedeckt werden.

Trotz des großen Unterschiedes in der Stromherstellung, wird Wasserkraft immer mehr gefördert, während Windkraftanlagen zugebaut werden. So ist es zumindest in Deutschland.

In Luxemburg gibt es laut Geoportal 56 Windräder und 23 Windräder sollen dazu kommen.

Wasserkraftwerke gibt es hier im Lande momentan 4. Stausee in Obersauer, Grevenmacher, Stradbredimus und Vianden.

Der meiste Strom wird in Vianden produziert.

## Schlussfolgerung

Man Kann festhalten, dass Wasserräder eine billige, umweltfreundliche und leicht zu errichtende, respektiv zu bauende, Methode zur Stromherstellung sind. Jedoch sind Wasserräder nicht die effektivste Methode um den Flussstrom in eine mechanische Bewegung umzusetzen, um einen Wirkungsgrad zu erreichen, welcher auf 100 tendiert und um die Flussstromgeschwindigkeit, als Beispiel, per Venturi oder Staudamm zu erhöhen, wie man es aus produktiven Wasserkraftwerken kennt, wie dem Drei Schluchten Damm aus Hubei, China, müsste die natürliche Erscheinung des Flusses zerstört werden, welches teuer ist und nicht mehr den starken ökologischen Faktor beinhaltet, welcher der Hauptgrund des Projektes war.

Wasserräder würden also wenig Einfluss auf den gesamten Stromverbrauch des Landes haben, vor allem da sie nicht genügend Kraft hervorbringen können, um einen stark wirkungsvollen Generator anzutreiben.

Dennoch wäre es eine gute Idee Wasserräder zu installieren, auch wenn sie den Gesamtstromverbrauch wenig beeinflussen, sind sie trotzdem eine Energiequelle, welche wenige Umstände bereiten und mit Hilfe einer Kraft, welche unabhängig der Menschen vorhanden ist, elektrischen Strom herstellen.

## Literaturverzeichnis

- “212.790 Gleichstrom Bilder, Stockfotos Und Vektorgrafiken.” *Shutterstock*, [www.shutterstock.com/de/search/gleichstrom](http://www.shutterstock.com/de/search/gleichstrom). Aufgerufen 20. Mai 2023., 14
- “Das Sägewerk.” *Muehle*, [muehle-dietfurt.jimdo.free.com/rengnathm%C3%BChle/m%C3%BChlentechnik/s%C3%A4gewerk/](http://muehle-dietfurt.jimdo.free.com/rengnathm%C3%BChle/m%C3%BChlentechnik/s%C3%A4gewerk/). Aufgerufen am 8. März 2023., 16
- “Deckblätter Online Kostenlos Gestalten.” *EDIT.Org in English*, [edit.org/de/gestalte-dein-deckblatt](http://edit.org/de/gestalte-dein-deckblatt). Aufgerufen am 10. Mai 2023, 3
- “Diode - Wie Funktioniert Die?” *YouTube*, 4. Mai 2015, [youtu.be/MSncOmacDJ0](https://youtu.be/MSncOmacDJ0). Aufgerufen am 20. Mai 202, 13
- “Gleichrichter.” *Conrad Electronic*, [www.conrad.de/de/c/gleichrichter-17309.html](http://www.conrad.de/de/c/gleichrichter-17309.html). Aufgerufen am 18. Mai 2023., 13
- “Homopolar Generator.” *Wikipedia*, 11 Mar. 2023, [en.wikipedia.org/wiki/Homopolar\\_generator](https://en.wikipedia.org/wiki/Homopolar_generator). Aufgerufen am 20. Feb. 202, 8
- “Induktion Und Transformator.” *LEIFiPhysik*, [www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/induktion-und-transformator/aufgabe/erster-funktionsfaehiger-generator-von-pixii](http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/induktion-und-transformator/aufgabe/erster-funktionsfaehiger-generator-von-pixii). Aufgerufen am 20. Feb. 2023., 8
- “Magnetischer Fluss • Formel, Beispiel Und Induktion.” *Studyflix*, [studyflix.de/elektrotechnik/magnetischer-fluss-3141](http://studyflix.de/elektrotechnik/magnetischer-fluss-3141). Aufgerufen am 10. Mai 2023., 9
- “Regenerative Energieversorgung.” *LEIFiPhysik*, [www.leifiphysik.de/uebergreifend/regenerative-energieversorgung/geschichte/geschichte-der-wasserkraft](http://www.leifiphysik.de/uebergreifend/regenerative-energieversorgung/geschichte/geschichte-der-wasserkraft). Aufgerufen 18. Mai 2023., 7
- “Schöpfrad.” *Wikipedia*, 13 Mar. 2023, [de.m.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%B6pfrad](https://de.m.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%B6pfrad). Aufgerufen am 15. März 2023., 18
- “The Simple Club - Die Lorentz Kraft.” *Google YouTube*, 29. Dec. 2014, [www.google.com/search?q=lorentzkraft&client=opera-gx&hs=pII&sxsrf=APwXEdcoBJ4nm8Bz7uchZqFOOGnTktW9Xw%3A1684429643343&source=Inms&tbm=vid&sa=X&ved=2ahUKEwimnamOrf\\_-AhWZNewKHdKTDWYQ\\_AUoAnoECAIQBA&biw=1399&bih=800&dpr=1#fpstate=ive&vld=cid:70da9b2d,vld:snM3g4zWeNw](http://www.google.com/search?q=lorentzkraft&client=opera-gx&hs=pII&sxsrf=APwXEdcoBJ4nm8Bz7uchZqFOOGnTktW9Xw%3A1684429643343&source=Inms&tbm=vid&sa=X&ved=2ahUKEwimnamOrf_-AhWZNewKHdKTDWYQ_AUoAnoECAIQBA&biw=1399&bih=800&dpr=1#fpstate=ive&vld=cid:70da9b2d,vld:snM3g4zWeNw). Aufgerufen am 18. Mai 2023., 11
- “Wechselstrom.” *DNA*, [www.xplore-dna.net/mod/page/view.php?id=300](http://www.xplore-dna.net/mod/page/view.php?id=300). Aufgerufen am 10. Mai 2023., 12
- “What Is Diode - Definition, Types of Diode, V-I Characteristics & Application.” *GeeksforGeeks*, 11. Mai 2023, [www.geeksforgeeks.org/diode/](http://www.geeksforgeeks.org/diode/). Aufgerufen am 20. Mai 202, 13

### A

- Author, No. “Hintergrund / 35 Prozent Mehr: Deshalb Wird Der Strom in Luxemburg Teurer.” *Tageblatt.Lu*, 2022, [www.tageblatt.lu/headlines/35-prozent-mehr-deshalb-wird-der-strom-in-luxemburg-teurer/](http://www.tageblatt.lu/headlines/35-prozent-mehr-deshalb-wird-der-strom-in-luxemburg-teurer/). Aufgerufen am 22. März 2023., 23

### B

- Bestandteile des Lichts, welche die Energie besitzen. Entstehen in der Atomhülle, 43

### F

- Ffhadmin. (2021, October 26). Récupéré sur Fischer Future Heat GmbH: <https://www.fischerfutureheat.de/generator/>, 9

**L**

Landolf, Urs. *1866 Sagebien's Wasserrad - Mühlenkalender*, [www.muehlenkalender.ch/1866-sagebien-s-wasserrad-1.html](http://www.muehlenkalender.ch/1866-sagebien-s-wasserrad-1.html). Aufgerufen am 15. März 2023., 21

Leyhausen, Hans Jörg. *Die Meisterprüfung Im Kfz-Handwerk*. 1980, 13

Leyhausen, Hans Jörg. *Die Meisterprüfung Im Kfz-Handwerk*. 1980., 10

Limited, Alamy. "Poncelet-Rad." *Alamy*, [www.alamy.de/stockfoto-energie-wasser-wasserrader-wasserrad-sogenanntes-poncelet-rad-querschnitt-holzgravur-ende-19-jahrhundert-19-jahrhundert-technik-technik-technik-impuls-impulse-antriebskraft-antriebskraft-stromerzeugung-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-paddelrad-schaufelrad-schaufelrader-schaufelrader-historische-historische-additional-rights-clearances-not-available-106916038.html](http://www.alamy.de/stockfoto-energie-wasser-wasserrader-wasserrad-sogenanntes-poncelet-rad-querschnitt-holzgravur-ende-19-jahrhundert-19-jahrhundert-technik-technik-technik-impuls-impulse-antriebskraft-antriebskraft-stromerzeugung-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-wasserkraft-paddelrad-schaufelrad-schaufelrader-schaufelrader-historische-historische-additional-rights-clearances-not-available-106916038.html). Aufgerufen am 15. März 2023., 20

**R**

Redaktion. "Wie Funktioniert Eine Lichtmaschine?" *AUTOTUNING.DE*, 30 Jan. 2023,

[www.autotuning.de/wie-funktioniert-eine-lichtmaschine/](http://www.autotuning.de/wie-funktioniert-eine-lichtmaschine/). Aufgerufen am 18. Mai 2023, 6

**V**

Von Arne Nordmann (norro) - Own illustration. Using Image:Schema eolienne.svg, Image:Windrad-Nahaufnahme.jpg. "Funktionaler Aufbau Eines Windrads." *Funktionaler Aufbau Eines Windrads | Medienportal Der Siemens Stiftung*, [medienportal.siemens-stiftung.org/de/funktionaler-aufbau-eines-windrads-108871](http://medienportal.siemens-stiftung.org/de/funktionaler-aufbau-eines-windrads-108871), 41

**W**

Wasserräder Mit Freihang: Entwurfs- Und Berechnungsgrundlagen (Overshot ..." *Research Gate*, [www.researchgate.net/publication/278966149\\_Wasserrader\\_mit\\_Freihang\\_Entwurfs-\\_und\\_Berechnungsgrundlagen\\_Overshot\\_water\\_wheels\\_-\\_Calculation\\_and\\_Design](http://www.researchgate.net/publication/278966149_Wasserrader_mit_Freihang_Entwurfs-_und_Berechnungsgrundlagen_Overshot_water_wheels_-_Calculation_and_Design). Accessed 23 May 2023., 15

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Innenpolmaschine .....	6
Abbildung 2: Aussenpolmaschine .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abbildung 3: Lineargenerator .....	7
Abbildung 4: erster Generator .....	8
Abbildung 5: erster Generator mit Handkurbel .....	8
Abbildung 6: Induktinsspannung .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abbildung 7: Spannung- Zeit-Diagramm bei Wechselstrom	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abbildung 8: Entstehung von Wechselspannung .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abbildung 9: Gleichrichter .....	13
Abbildung 10: eine Diode .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abbildung 11: Spannung-Zeit-Diagramme bei DC und AC .....	14
Abbildung 12: Das Sägewerk .....	16
Abbildung 13: Schöpfrad .....	17
Abbildung 14: Wasserrad in der Muerbelsmillen (Mohrfelsmühle im Pfaffental) .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abbildung 15: Das Poncelet Wasserrad .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abbildung 16: Das Sagebien Wasserrad .....	20
Abbildung 17: Die Pelton-Turbine im Lycée des Arts et Métiers .....	22
Abbildung 18: Die Basis Planung, 3D-Design .....	26
Abbildung 19: Schneiden der Styrodur-Platte .....	27
Abbildung 20: Venturi .....	27
Abbildung 21: Gerüst Messungen .....	28
Abbildung 22: Schweißen des Gerüsts .....	28

Abbildung 23: Gerüst Zusammensetzung .....	28
Abbildung 24: Sägen des Gerüsts .....	28
Abbildung 25: übersetzung der Muerbelsmillen .....	29
Abbildung 26: übersetzung Kugellager .....	29
Abbildung 27: übersetzung Zahnräder .....	29
Abbildung 28: Fahrraddynamo ( Permanentmagneten) .....	30
Abbildung 29: Lkw-Alternator (Elektromagneten) .....	30
Abbildung 30: Rad Planung, 3D-Design .....	31
Abbildung 31: Das Endprodukt Seitenansicht .....	34
Abbildung 32: Das Resultat Ansicht von oben .....	34
Abbildung 33: Das Experiment .....	35
Abbildung 34: Dorf: Schoenfels; Fluss: Mamer .....	39

---