

Energieproduktion mit Windturbinen an Autobahnen



Projekt-Team: Emir Akgül, Kevin Däpp, Myles Robert Wrightson

Beruf: Physiklaborant EFZ

Lehrjahr: 2

Name der Schule oder des Betriebs: TBZ

Name der Lehrperson oder der Berufsbildnerin/des Berufsbildners: Alice Grünfelder

Zusammenfassung:

Unser Projekt war, eine Windturbine mit einem möglichst kleinen Budget zu bauen und dann ihre Energieproduktion auszumessen. Es wird momentan diskutiert, ob kleine Windturbinen am Rand von schweizerischen Autobahnen gebaut werden sollen, um passiv Strom zu generieren. Da wir legal keine Windturbine an der Autobahn aufstellen dürfen, haben wir uns entschieden, unsere Messungen neben der Hauptstrasse durchzuführen, weil Autos und LKWs auch oft an Hauptstrassen vorbeifahren.

Energiespar-Potential in kWh pro Jahr: 0.006kWh pro Windturbine

Wettbewerbs-Kategorie: Innovationsprojekt

Inhalt

1	Einleitung.....	2
1.1	Ausgangslage	2
2	Ideensuche / Projektdefinition	2
2.1	Projektdefinition und -Zielsetzung:	2
2.2	Umsetzbarkeit	2
3	Projektplanung.....	3
3.1	Detaillierter Aufgabenplan	3
4	Resultate der Umsetzung.....	4
5	Einsparung durch das Projekt	7
5.1	CO2 Einsparung.....	7
5.2	Energie- bzw. Materialeinsparung.....	8
6	Auswertung der Projektarbeit	9
6.1	Rückblick	9
7	Literatur	10
8	Anhang	11

1 Einleitung

Die Ökobilanz von fossilen Brennstoffen zur Produktion von Energie ist sehr schlecht. Der CO₂-Ausstoß in unserer modernen Welt ist viel zu hoch, welches zu einem erhöhten Treibhauseffekt und dadurch zu einem Klimawandel führt. In unserem Projekt wollen wir dazu beitragen, den ökologischen Fußabdruck von der Energieproduktion zu reduzieren.

1.1 Ausgangslage

In unserer heutigen Welt wird viel zu viel CO₂ für die Energiegewinnung produziert. Wir müssen uns alle bemühen, diese Emissionen zu reduzieren. Eine Möglichkeit besteht darin, auf verschiedene Arten eine passive Energieproduktion aufzubauen, damit weniger fossile Brennstoffe verwendet werden müssen. Genau an dieses Thema wendet sich unser Projekt. Wir haben getestet, wie effektiv Windturbinen sein könnten, wenn man sie neben stark befahrenen Straßen platziert und den Wind der vorbeifahrenden Autos und Lastwagen für die Energiegewinnung verwendet.

2 Ideensuche / Projektdefinition

Ursprünglich wollten wir ein ganz anderes Projekt machen, nämlich eines was mit Atomenergie zu tun hat, doch es ist uns aufgefallen, dass es bei der Atomenergie sehr viele ungelöste Problematiken gibt, obschon es CO₂-technisch eine sehr gute Lösung wäre. Aus diesem Grund mussten wir uns eine andere Idee suchen. Nach ein wenig Brainstorming hatten wir den Einfall, unser Windturbinenprojekt zu machen.

Die Idee ist simpel: Wenn Autos fahren, gibt es dadurch, dass die Luft vor dem Auto verdrängt wird, einen kleinen Wind. Genau diesen Wind wollen wir uns zu Nutze machen, indem wir kleine Windturbinen am Straßenrand von stark befahrenen Straßen und Autobahnen aufstellen. Unser Projekt hat das Ziel herauszufinden, ob dieser Wind für die Energieproduktion brauchbar ist. Dafür mussten wir ein Prototyp-Windrad bauen und dann an einer stark befahrenen Straße platzieren und die Energieproduktion mit einem Arduino messen.

2.1 Projektdefinition und -Zielsetzung:

Unser Projekt ist ein Innovationsprojekt, da wir eine Windturbine selbst bauen und dazu noch messen, wieviel Energie sie an einer stark befahrenen Straße produziert, um die Wirksamkeit zu überprüfen. Dieses Projekt könnte für den Staat möglicherweise interessant sein, da man vermutlich durch die Energieproduktion der Windturbinen einiges an Energie passiv gewinnen kann, vorausgesetzt, man stellt sehr viele davon auf.

2.2 Umsetzbarkeit

Dieses Projekt ist gut umsetzbar, da wir die benötigten fachlichen Kompetenzen besitzen, eine Windturbine zu bauen und auszumessen.

Mögliche Probleme unseres Projekts sind:

- Der Arduino-Code funktioniert nicht.
- Die Bauteile der Windturbine kommen zu spät an.
- Die Zeit reicht evtl. nicht, um das Projekt umzusetzen, da wir zwischendrin unsere Teilprüfung haben.

3 Projektplanung

3.1 Detaillierter Aufgabenplan

Als erstes mussten wir genau festlegen, was wir alles machen müssen, um das Projekt umzusetzen. Nach ein bisschen Grübeln hatten wir alles bestimmt, was wir für das Projekt brauchen. Im Grunde hat unser Projekt 5 Hauptaufgaben, die gemacht werden mussten:

1. Messaufbau für die produzierte Energie erstellen
2. Windturbine bauen
3. Messen, wieviel Energie die Turbine produziert
4. Dokumentation erstellen
5. Die Wirksamkeit der Windturbine einschätzen

<i>Was</i>	<i>Arbeitsaufwand</i>	<i>Wer</i>	<i>Bis wann</i>
Arduino programmieren	5h	Kevin	10.05.2022
Windrad aufbauen	6h	Myles	14.05.2022
Messungen durchführen	3h	Myles	14.05.2022
Auswertung der Messungen	3h	Myles, Emir, Kevin	15.05.2022
Dokumentation	8h	Myles, Emir, Kevin	23.05.2022

4 Resultate der Umsetzung

Die erste Hürde unseres Projekts war es herauszufinden, wie wir die gewonnene Energie unserer Windturbine messen. Das Problem ist, dass man die gewonnene Energie sehr schlecht manuell, d.h. mit Messgeräten, wie z.B. einem Multimeter, messen kann, da der Energiegewinn nicht immer konstant ist. Manchmal produziert die Turbine mehr Energie, wenn viele Autos vorbeifahren, und manchmal produziert sie weniger, da es Zeiten gibt, wo keine Autos vorbeifahren. Aus diesem Grund leuchtete uns die Idee ein, einen Arduino für die Messungen zu verwenden.

Ein Arduino ist im Prinzip ein Mini-Computer, der Signale empfangen und senden kann. Der große Vorteil vom Arduino ist, dass er die gesamten gemessenen Resultate, wenn korrekt programmiert, abspeichern kann und daraus die gewonnene Energie berechnet werden kann.

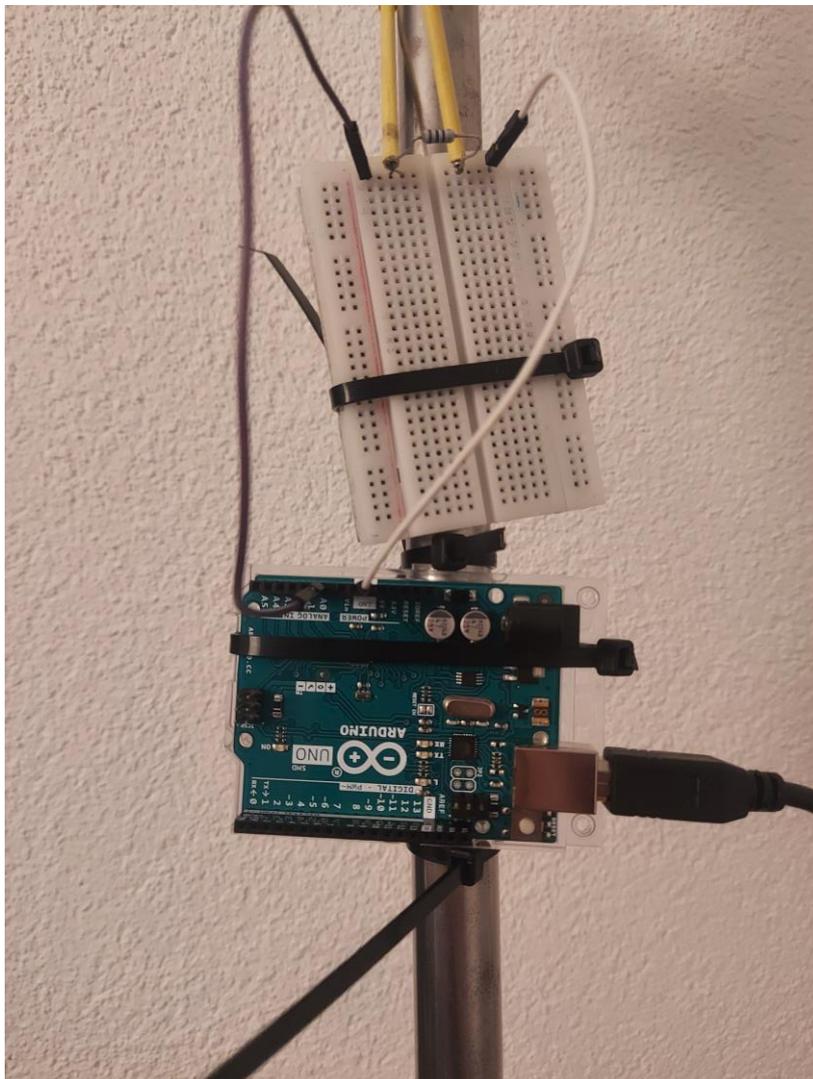


Abb. 1: Bild des Messaufbaus

Doch wie sieht so ein Arduino-Code aus?

Das Arduino hat 2 grundlegende Bereiche, die man programmieren muss, nämlich das „Setup“ und den „Loop“. Beide diese Begriffe kommen aus dem Englischen und heißen so viel wie Einstellung und Schleife. Im Setup kann man, wie der Name schon sagt, Sachen einstellen, die man für den Loop braucht. Der sogenannte Loop ist einfach eine Schleife, d.h. dass sich dieser Teil vom Code immer wiederholt.

Der Code sieht folgendermaßen aus:

```
int analogPin = A0;    //Pin und Variabel deklaration
float Ur = 0;
float R = 100;
float Pr = 0;
float Wr = 0;
float Wsave = 0;
unsigned long myTime = 0;
float myTime2 = 0;
```

Dieser Teil sagt dem Arduino, womit er arbeiten soll.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(analogPin, INPUT);
  Serial.println("Begin der Messung...");
}
```

Dieser Teil sagt dem Arduino, dass er die Messung starten soll.

```
void loop() {
```

```
  Ur = analogRead(analogPin)*4.9;
  Pr = sq(Ur)/R;

  Wr = Pr * (myTime-myTime2)/1000000 + Wsave ;
  Wsave = Wr;
  myTime2 = myTime ;|
```

Dieser Teil sagt dem Arduino wie er die Energieproduktion berechnet.

```
  Serial.print("Voltage: ");
  Serial.print(Ur/1000);
  Serial.println("V");
  Serial.print("Power: ");
  Serial.print(Pr/1000);
  Serial.println("mW");
  Serial.print("Energy gain: ");
  Serial.print(Wr);
  Serial.println("Ws");
  Serial.print("Time: ");
  Serial.print(myTime = millis()/1000);
  Serial.println("s");
  Serial.println("-----");
  delay(200);
```

Dieser Teil sagt dem Arduino, dass er uns die Resultate anzeigen soll.

Parallel zum Programmieren wurde die Windturbine noch errichtet:

Zuerst bestellten wir 2 Metallrohre, ein Aluminiumrohr, welches den Propeller und den Motor heben soll und ein Stahlrohr, welches das Aluminiumrohr heben soll. Um die Turbine zusammenzuhalten, wurde ein T-Pipe in dem CAD Programm «Fusion360» gezeichnet und mit einem 3D-Drucker ausgedruckt. Dieser T-Pipe hält die 2 Rohre 90 Grad zueinander. Der Motor wurde von Digitec bestellt und kam nach 1.5 Wochen an. Dieser wurde mit Reissverschlüssen befestigt, sodass er wiederverwendbar wäre, falls der Aufbau nicht funktioniert.

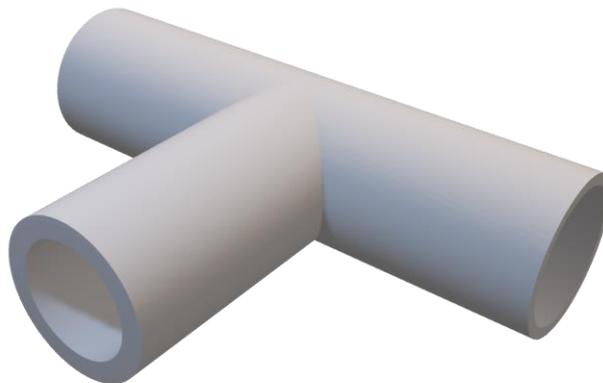


Abb. 2: Bild vom T-Pipe im CAD-Programm

Nachdem das Arduino fertig programmiert wurde, haben wir es an den Motor angehängt und eine Turbine aus einem Ventilator genommen, welche schlussendlich an dem Motor befestigt wurde. Der Versuch wurde am Strassenrand um 17:00 Uhr für eine Stunde durchgeführt. Wir haben in dieser Stunde 2.5 Ws (Watt-Sekunden) produziert. Diese Werte wurden dann von Emir mit anderen Arten der Energiegewinnung verglichen.

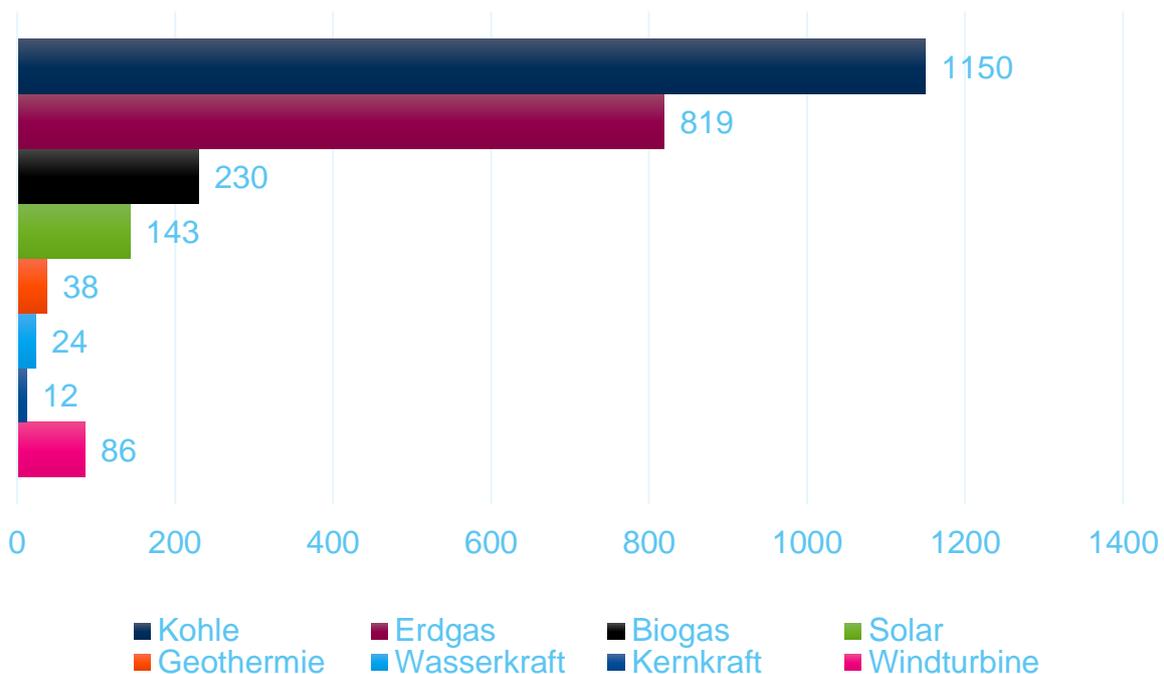


Abb. 3: Windturbine im Einsatz

5 Einsparung durch das Projekt

5.1 CO₂ Einsparung

In CO₂-Äquivalenten g/kWh



Wie man bei dieser Grafik sieht, produziert man mit richtiger Windenergie viel weniger CO₂ wie mit fossilen Brennstoffen. Wenn wir aber von den Messungen unserer Turbine ausgehen, ist sie natürlich weniger effizient als eine richtige Windturbine, weil wir einen nicht so effizienten Generator verwendet haben. Anhand unserer Recherchen kostet ein Gaskraftwerk umgerechnet 1,7 Millionen Franken. Damit könnte man 11'300 unserer Windräder bauen, was einer Energieproduktion von 7.8 Wh (Watt-Stunde) entspricht. Dies wäre ca. 11-mal schlechter als beim Gaskraftwerk (86.6 Wh pro Stunde). Es muss aber auch beachtet werden, dass die Energieproduktion unserer Windräder um einiges höher wird, wenn mehr Autos und LKWs vorbeifahren (z.B. an einer Autobahn).

Eine richtige Windturbine produziert 150 Wh Energie pro Stunde und kostet 700'000 Franken pro Turbine. Diese produziert mehr als ein Gaskraftwerk und ist zudem noch weniger als halb so teuer. Ein grosser Vorteil von unseren selbstgemachten Turbinen im Vergleich zu den konventionellen ist, dass sie zu Stosszeiten, wenn viele Leute aktiv sind, mehr Energie produzieren, da Leute z.B. mit dem Auto herumfahren. Dadurch wird der benötigte Energiespeicher reduziert.

Unsere Turbine würde pro Jahr ca. 0.006 kWh (6 Wh) produzieren. Dieser Wert berechnet sich aus der produzierten Energie von 2.5 Ws multipliziert mit 24h und anschliessend multipliziert mit 365d. Danach wurde es in kWh umgerechnet, indem man das Resultat durch 3'600 (kWs in kWh Umrechnungsfaktor) geteilt hat.

Ideal wäre es, wenn man diese Turbinen an Autobahnen aufstellt, wo es wenig Stau gibt und wo viele LKWs oder Busse durchfahren. Da sie viel Wind wegstossen, wird mehr Energie produziert. Dies heisst, dass man sie auch an Buslinien, aufstellen könnte, da dort den ganzen Tag Busse durchfahren. Als letztes: Wenn gerade nicht viel Strom gebraucht wird, kann man eventuell diesen an Elektroladestationen liefern.

5.2 Energie- bzw. Materialeinsparung

Wir haben für unser Projekt insgesamt 150 Franken ausgegeben, doch 90 Franken davon sind reduzierbar, da wir zusätzlich Sachen bestellt haben, um auszuprobieren, was genau funktioniert und was nicht.

Auf die Massenproduktion dieser Windturbinen würden wir nicht setzen, da die Energieproduktion unserer Windturbinen, laut unseren Berechnungen nicht so hoch ist, wie eine konventionelle Windturbine. Dies liegt aber vermutlich daran, dass wir nicht die qualitativ-hochwertigsten Materialien verwendet haben.

Im Fazit: Das Aufbauen vieler unserer Turbinen lohnt sich eher nicht, da die Energieproduktion nicht sehr effizient ist. Man sollte also auf konventionelle, hohe Windturbinen setzen, weil diese effizienter Energie produzieren. Uns ist jedoch aufgefallen, dass es eine starke Zunahme der Energieproduktion gab, wenn z.B. ein Bus an unserer Turbine vorbeigefahren ist. Dies heisst, dass es möglicherweise lohnt, diese an stark befahrenen Buslinien aufzubauen.

```
-----  
Voltage: 0.52V  
Power: 2.75mW  
Energy gain: 2.52Ws  
Time: 3756s  
-----
```

Abb. 4: Energieproduktion, wenn ein Bus vorbeifährt

5.3 Sensibilisierung von Personen

Wenn man weiter an dieser Idee forscht, besteht die Möglichkeit, dass es sich lohnt, an jeder Autobahn solche Windturbinen aufzustellen, doch mit unseren Windturbinen ist dies noch nicht der Fall.

6 Auswertung der Projektarbeit

6.1 Rückblick

- *Haben wir unsere Ziele erreicht? Sind wir zufrieden mit unserem Projekt, bzw. mit dem was wir erreicht haben?*

Ja, unsere Ziele wurden gut erreicht. Die Resultate waren aber nicht gerade berauschend. Es wurde nämlich sehr wenig Energie produziert. Dies liegt daran, dass wir einen sehr günstigen Motor verwendet haben. Bei einem höheren Budget könnte man sicher einen leistungsstärkeren Motor verwenden.

- *Konnten wir das Projekt wie geplant durchführen?*

Zum Grossteil ja, aber wir hatten Probleme mit Digitec, da sie 1.5 Wochen brauchten, um den Motor auszuliefern, dabei haben wir sehr viel Zeit verloren.

- *Mit welchen Schwierigkeiten waren wir konfrontiert?*

Wie schon angesprochen, gab es Schwierigkeiten mit der Zeit wegen der Teilprüfung und den langen Lieferzeiten von Digitec.

Es gab auch Schwierigkeiten bei dem Propeller des Windrads. Die ursprüngliche Idee war, den Propeller 3D zu drucken. Der Drucker war aber viel zu klein, also haben wir einen Ventilator auseinandergenommen und dessen Propeller verwendet.

- *Wie geht es mit dem Projekt weiter?*

Ein möglicher nächster Schritt unseres Projektes wäre, den Staat über unsere Messungen zu informieren und evtl. einen zweiten Prototypen zu entwickeln, dieses Mal aber mit einem besseren Generator. Und zum Schluss müssten wir eine Genehmigung beantragen, damit wir diese Windturbinen aufstellen dürfen. Doch dies wird vermutlich nicht passieren.

- *Was nehmen wir aus dieser Erfahrung mit für weitere Projektarbeiten?*

Eine wichtige Kenntnis, die wir gewonnen haben, ist, dass man mehr Kontakt mit den Projektmitgliedern haben sollte, um seine Vision vom Projekt so zu verwirklichen, wie man es sich vorgestellt hat. Das Problem, das wir hatten, war, dass wir mehrere hundert Kilometer voneinander entfernt leben und uns deshalb nicht so gut absprechen konnten.

7 Literatur

Alle Fotos wurden selbst gemacht.

Alle Informationen für die Einsparung von CO₂ stammen von folgenden Quellen:

Aerschmann, N. (ohne Jahrgang). Nau-Schweiz. Verband schlägt Bau von 2000 Gaskraftwerken in der Schweiz vor. Verfügbar unter: <https://www.nau.ch/news/schweiz/verband-schlagt-bau-von-2000-gaskraftwerken-in-der-schweiz-vor-66024351> [Zugriff: 22.05.2022]

Blümm, F. (ohne Jahrgang). Tech for future. CO₂ pro kWh: Welche ist die klimafreundlichste Energiequelle?. Verfügbar unter: <https://www.tech-for-future.de/co2-kwh-strom/> [Zugriff: 22.05.2022]

8 Anhang

Wir haben folgende PowerPoint-Präsentation zur Vorführung unseres Projekts erstellt



Inhalt

- Projektidee und Ziele
- Projektplanung
- Projektdurchführung
- Resultate und Auswertung des Projekts
- Eingespartes CO₂
- Energieeinsparung und Materialkosten



Projektidee und Ziele

- Eine Windturbine neben der Hauptstrasse aufbauen und messen, wie viel Energie sie passiv produzieren kann.
- Sie sollte mit möglichst kleinem Budget aufgebaut werden können.
- Die Resultate vergleichen und auswerten.



Projektplanung

- Bauteile bestellen und herstellen
- Arduino als Messfunktion programmieren
- Windturbine zusammenbauen und aufstellen
- Energieproduktionen bemessen
- Dokumentieren mit Auswertung



Projektdurchführung

- Im Internet recherchiert, was alles für eine DIY Windturbine benötigt wird
- Bei Digitec, Coop Bau+Hobby und Jumbo Teile bestellt
- Teile bemessen und Bauteile konstruiert und 3D-gedruckt
- Windrad zusammengebaut und aufgestellt
- Arduino programmiert und an Windturbine gesteckt
- Messung eine Stundelang durchgeführt
- Werte ausgewertet und dokumentiert

Projekt Durchführung

```
int analogPin = A0;    //Pin und Variabel deklaration
float Ur = 0;
float R = 100;
float Pr = 0;
float Wr = 0;
float Wsave = 0;
unsigned long myTime = 0;
float myTime2 = 0;
```

9

Projekt Durchführung

Projekt Durchführung

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(analogPin, INPUT);
  Serial.println("Begin der Messung...");
}
```

10

Projekt Durchführung

Projekt Durchführung

```

void loop() {
  |
  Ur = analogRead(analogPin)*4.9;
  Pr = sq(Ur)/R;

  Wr = Pr * (myTime-myTime2)/1000000 + Wsave ;
  Wsave = Wr;
  myTime2 = myTime ;

  Serial.print("Voltage: ");
  Serial.print(Ur/1000);
  Serial.println("V");
  Serial.print("Power: ");
  Serial.print(Pr/1000);
  Serial.println("mW");
  Serial.print("Energy gain: ");
  Serial.print(Wr);
  Serial.println("Ws");
  Serial.print("Time: ");
  Serial.print(myTime = millis()/1000);
  Serial.println("s");
  Serial.println("-----");
  delay(200);

```

11

Projekt Durchführung

Projektdurchführung



12

Projekt Durchführung

Projekt Durchführung



13

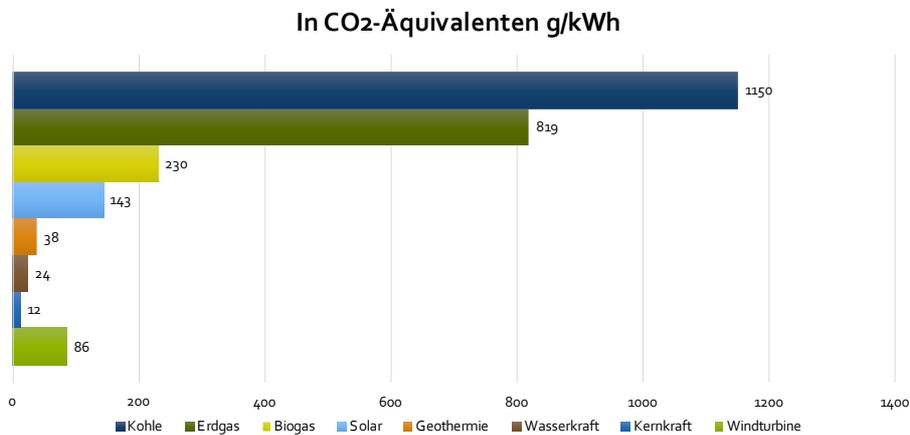
Projekt Durchführung



Eingespartes CO₂



CO₂ Ausstoss verschiedener Energiequellen



15

Eingesparter CO₂

Kosten

- 150.- Fr.
- Auf 60.- Fr. reduzierbar
- 1 Gaskraftwerk kostet 1.7 Mio. Franken
- Mit Kosten von einem Gaskraftwerk könnte man 11'300 Windräder bauen und dabei 28'000Ws produzieren in 1h
- Ein Gaskraftwerk produziert 312'000kWs pro Stunde
- Ein richtiges Windrad kostet ca. 700'000 Franken, das heisst, dass man für die Kosten eines Gaskraftwerks 2.5 Windräder bauen könnte, welche je eine Leistung von max. 540'000kWs besitzen.

16

Kosten

Produzierter Strom nach eine Stunde

```
-----  
Voltage: 0.52V  
Power: 2.75mW  
Energy gain: 2.52Ws  
Time: 3756s  
-----
```

17

Produzierter Strom nach eine Stunde

Produzierter Strom nach eine Stunde

- Richtiges Windrad: 540'000 kWh
- Solar: Max. 21 kWh pro Zelle
- Wasserkraftwerk: 1'728'323 kWh
- Zum Vergleich: AA Batterie: 4.32 kWh

18

Produzierter Strom nach eine Stunde

Fragen?