

Hürth, der 30.11.2024

Bericht: Projekt H - Wir bauen ein Wasserstoffauto!

Die Idee, ein Brennstoffzellenauto zu bauen, habe ich schon seit langem, denn in unserer Physiksammlung schlummert ein bislang ungenutzter Elektrolyseur und 10 Metallhydrid-Speicherkartuschen samt Druckminderern von beträchtlichem Wert. Wir haben also eine gesamte Lade- und Speicherinfrastruktur in unserem Fundus, können damit nur nichts anfangen. In unserer 3D-Druck-AG beobachtete ich, dass einige Schülerinnen und Schüler so kompetent sind, komplizierte Teile wie Radaufhängungen zu konstruieren. Ich konnte einige von meiner Idee begeistern und so machten sich ein Dutzend interessierte

Schülerinnen und Schüler in einer von mir koordinierten AG auf den Weg. Bis zum Frühjahr 2024 haben wir es geschafft, mit wenig Geld ein batteriebetriebenes Elektroauto im Maßstab von etwa 1:12 zu bauen. Wir konnten das Signal einer Fernbedienung am Raspberry Pi Pico Microcontroller empfangen und damit den



Abbildung 1: Unsere jungen „Ingenieurinnen und Ingenieure“

Antriebsmotor steuern, so dass das Auto [ferngesteuert vor- und zurück fahren konnte](#).

Wir möchten uns herzlich beim VDE für die Unterstützung unseres Projektes bedanken! Der Preisgewinn ermöglicht uns, die Stromerzeugung in einer Brennstoffzelle umzusetzen und unsere vorhandene Infrastruktur endlich einzusetzen. Aber vielmehr ermöglicht die Unterstützung den Jugendlichen, Dinge zu erforschen, die sonst schwer zugänglich wären: die Energiebereitstellung durch die Brennstoffzelle elektronisch zu steuern, oder: sich zum Wasserstoff als (erneuerbarem) Energieträger durch eigene Erkenntnisse eine Meinung zu bilden.

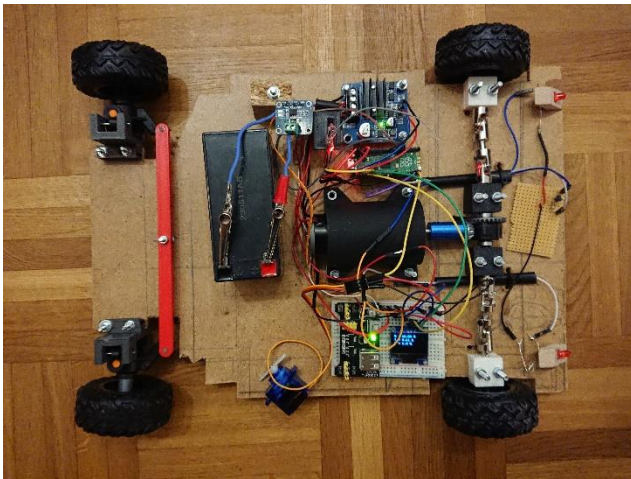


Abbildung 2: Der damalige „Prototyp“ mit vielen selbst-designeten Teilen

Im eigenständigen Design vieler mechanischer Teile haben die Schülerinnen und Schülern exzellent gearbeitet, jedoch würden sie einer dauerhaften und größeren Beanspruchung nicht standhalten. Auch war der Getriebemotor mit einer maximalen Drehzahl von 1260 U/min für so ein Auto untermotorisiert. Schließlich war kein Platz mehr für eine Brennstoffzelle. Deshalb beschlossen wir, das Auto im Maßstab 1:10 größer neu zu bauen und auch auf fertige mechanische Komponenten

zurückzugreifen. Für die Radaufhängung und Lenkungsbauteile sind wir mit Ersatzteilen für das RC-Car „Traxxas 4-tec“ fündig geworden. Außerdem haben wir uns für den Neubau einen bürstenlosen Motor „gegönnt“, der einem Auto dieser Größe gerecht wird. Alle wichtigen verwendeten Teile finden Sie in unserer [Materialliste](#).

Die Energieversorgung durch die Brennstoffzelle war zunächst unsere größte Herausforderung, die wir nun kurz darstellen wollen: Ein Auto erbringt während der Fahrt höchst unterschiedliche Leistungen, wobei der Antriebsmotor sicherlich die größte Last darstellt. Bei höchster Drehzahl, jedoch ohne Last, haben wir eine Stromstärke von knapp 3A gemessen. Wir gehen davon aus, dass alle elektrischen Geräte, die wir betreiben möchten, in der Spitze 5A an einer 12V-Batterie „ziehen“ werden. Das wäre dann eine Leistung von 60W. Die Brennstoffzelle erbringt hingegen nur eine Dauerleistung von 30W und mag es gerne, wenn sie einen konstanten Strom abgibt. Somit ist ein elektrochemischer Akku als Pufferspeicher notwendig. Wir haben dafür einen Lithium-Ionen Akku (oder kurz: LiPo) mit einer Nennspannung von 11,1V besorgt (3S2P). Dieser hat sich im Automodellbau bewährt und kommt gut mit den schwankenden Leistungen zurecht. Der Strom der Brennstoffzelle würde dann diesen Akku laden. [Sehen Sie hier unsere erste Inbetriebnahme der Brennstoffzelle und den Versuch der Ladung des Akkus](#). Der MPPT-Laderegler transformiert die zwischen 14V und 8V schwankende Spannung an der Brennstoffzelle in eine konstante Ladespannung. Außerdem verhindert er ein Überladen des Lithium-Ionen-Akkus. In unserem ersten Versuch wollte sich kein Ladestrom einstellen, da der Akku voll war, also die Ladeschlussspannung erreicht war, wie wir später herausfanden. Nun funktioniert die Ladung des Akkus durch die Brennstoffzelle bei gleichzeitiger Lastentnahme zumindest im Labor. [Die Schaltung haben wir hier dargestellt](#).

Die zweite Herausforderung war der bürstenlose Motor, den wir samt Electronic Speed Controller (ESC) gekauft haben. Als Zubehörteil für ein fertiges Modellauto wird er eigentlich direkt an einen Fernbedienungsempfänger angeschlossen. Wenn man dies mit dem bei der Fernbedienung mitgelieferten Empfänger macht, dann funktioniert die Steuerung auch einwandfrei. Unser Anspruch war jedoch, dass die Steuerung über unseren Pi Pico läuft. Schließlich wollten wir dabei etwas lernen und ja noch andere Dinge mit dem

Microcontroller steuern und erfassen. Wir wussten, dass der Motorcontroller auf Pulsweiten modulierte Signale reagiert und damit die Geschwindigkeit des Motors steuert. Sämtliche Anleitungen im Internet halfen uns nicht weiter und auch wahllos an den Controller geschickte Pulsweiten brachten ihn nicht zum Laufen. Die Idee, das Signal am PWM-Ausgang des Fernbedienungsempfängers mitzuschneiden, brachte dann den

Durchbruch: Wir sahen, dass die Periodendauer des Signals 20 Millisekunden (ms)

beträgt, was einer Frequenz von 50 Hz entspricht (siehe Abb. 3). Nach dem Herumspielen an der Fernbedienung zeigte sich, dass volle Geschwindigkeit vorwärts einer Pulsweite von 2ms und einer entsprechenden „Auszeit“ von 18ms entspricht. In der neutralen Position der Steuerhebels der Fernbedienung (Motor soll nicht drehen) konnten wir eine Pulsweite von 1,5ms messen. Und eine Pulsweite von 1ms entspricht der höchsten Drehzahl im Rückwärtsgang. Nun war uns klar, warum der Motor nicht funktionierte: Wenn man den Controller einschaltet, möchte er keinen „Schub“ empfangen und nicht sofort losdrehen. Nur dann ist der Controller bereit und geht wirklich an.

Nachdem wir diese Pulsweite für die neutrale Position am Pi Pico eingestellt hatten, [ging er an und wir konnten ihn mit Pulsweiten in der oben dargestellten Bandbreite beliebig steuern](#) (das wird in Zeile 13 des Programms in der nachstehenden Abbildung bewerkstelligt. Es war nun sehr einfach, das Programm zur Motorsteuerung unseres „alten Autos“ an den neuen Motor anzupassen. [Sie finden es hier](#). Zum Empfang von Daten der Fernbedienung nutzen wir das digitale Ibus-Protokoll. Die notwendige Ibus-Bibliothek für Micropython finden Sie auch im [Materialordner](#). Nach dem informatischen Konzept des *polling* werden in unserem Programm dann in Endlosschleife in Zeile 20 die Signale alle 6 Kanäle der Fernbedienung empfangen. Der Wert für den Kanal 2 (Steuerhebel für Antriebsmotor) wird in Zeile 21 in einen Wert zwischen -100 und 100 umgerechnet. Und in Zeile 22

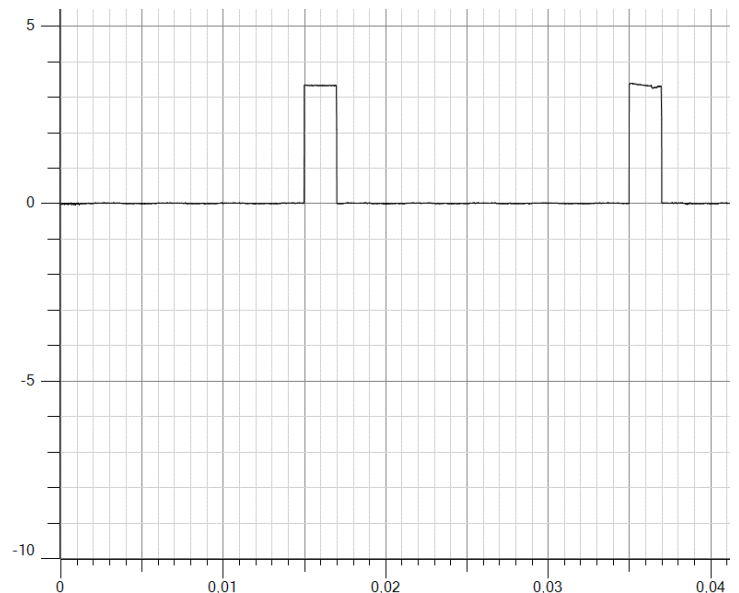


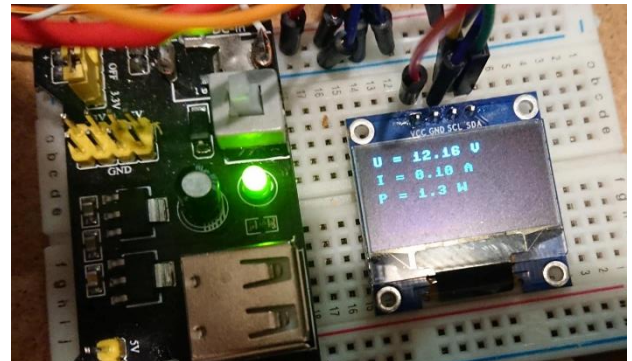
Abbildung 3: Bei einer Pulsweite von hier 2ms steuert der Controller den Motor auf die maximale Drehzahl vorwärts; Aufzeichnung mit Cassy Lab

wird nach der von uns ermittelten Umrechnungsfunktion die entsprechende Pulsweite zum Motorcontroller geschickt.

```
13 motor.duty_u16(4878)
14 time.sleep(1)
15 input("Please turn the engine on and press enter when done!")
16 print("Ready!")
17 time.sleep(2)
18
19 while True:
20     res = ibus_in.read()
21     antrieb = IBus.normalize(res[2])
22     motor.duty_u16(int((antrieb*16)+4878))
23
```

Abbildung 4: Programm zur Motorsteuerung in Micropython

Wie Sie sehen, haben wir unser (neues) Auto noch nicht gebaut und die Stromerzeugung in der Brennstoffzelle funktioniert zunächst im Labor. Aber wir sind jetzt „drin“ im System, können Signale der Fernbedienung empfangen und verarbeiten. Auch haben wir die Gewissheit, dass die Brennstoffzelle unseren Akku lädt bzw. der Strom direkt den Antrieb speist. Diese Grundlagenarbeit haben vier „alte Hasen“ im Projekt über den Sommer geleistet. Sie ermöglicht, die anstehenden Arbeiten im Autobau nun wieder auf viele Schultern mit unterschiedlichen Vorkenntnissen zu verteilen. Z. B. läuft die Steuerung des Servomotors zur Lenkung ähnlich wie beim Antriebsmotor. Im zweiten Halbjahr dieses Schuljahres kann ich die AG wieder anbieten. Das Interesse bleibt ungebrochen. Schülerinnen und Schüler möchten eigene Ideen umsetzen. Es ist ungemein motivierender, einen über 50m fernsteuerbaren Blinker als ein bloßes Blinklicht auf dem Steckbrett umzusetzen! Nachdem wir mit den neuen mechanischen Komponenten ein zuverlässig fahrendes (neues) Auto gebaut haben, werden wir die im Schaltplan eingezeichneten Volt- und Amperemeter implementieren.



Anzeige der (Momentan-) Spannung und Stromstärke sowie der Leistung bei unserem „alten“ Auto.

Sie ermöglichen die Erfassung der Leistungsdaten unter Last, was dann erst eine grundlegende quantitative Erforschung der Brennstoffzelle auch in anderen unterrichtlichen Zusammenhängen erlaubt. Wir werden über die Ergebnisse und den weiteren Bau des Autos unter www.projekt-h.org berichten.

J. Hötzel