

# Abgabe 1 Autonomes Fahren

Team 03

14. November 2018

## Inhaltsverzeichnis

### 1 Masse

#### 1.1 gesamtes Auto

Die Waage kann nur eine Masse bis 2 kg messen, deshalb wurde wie folgt ein Gesamtgewicht von 2261,13 g errechnet:

- Akku: 404,32 g
- Fahrzeug: 1841,36 g
- Akkualterung: 15,45 g

#### 1.2 Einzelmessungen

Für spätere Berechnungen und zur Sicherheit wurde eine Messung der enthaltenen Einzelteile (soweit möglich) durchgeführt. Dies hat folgende Massen ergeben:

- Einzelnes Rad: 37,35 g
- 4 Räder: 149,74 g
- Motor: 181,87 g
- Raspberry Pi: 50,18 g
- IBT\_2 (blau): 65,99 g
- Verschaltung: 48,13 g
- Chassis: 762,99 g
- Kameraaufhängung: 147,05 g
- Grundplatte für Technik: 227,32 g
- Servomotor: 63,81 g
- Kamera: 3,38 g
- Schalter: NaN
- div Schrauben: 3,73 g
- div Schrauben: 4,14 g
- div Schrauben (Verbindung vom Chassis zur Technik): 38,11 g
- IMU (beschleunigungssensor): NaN
- Kabel zwischen blauer Platine und Steuerungseinheit: 7,12 g
- Sicherung: 34,47 g

### 2 Schwerpunkt

Der wahre Schwerpunkt kann nicht ermittelt werden, dieser liegt im Inneren der Karosserie. Wir haben die Schwerpunktslage bezogen auf die Grundfläche auf zwei verschieden Arten ermittelt:

- Zum einen wurde das Gewicht mit Federwagen in  $X$ -Richtung gemessen, Werte waren vorne 7,1 N und hinten 14,5 N bei einem Abstand zwischen den Messpunkten von 31,5 cm. Dies führt zu einer Schwerpunktslage von  $31,5 \cdot \frac{7,1}{7,1+14,5} \approx 10,354$  gegenüber dem hinteren Messpunkt und einer Schwerpunktslage von  $31,5 \cdot \frac{14,5}{7,1+14,5} \approx 21,146$  gegenüber dem vorderen Messpunkt.
- Weiter haben wir eine Messung mit Waage durchgeführt. Hierbei wurde eine Achse aufgelegt und gemessen, während die andere in Gleichgewichtslage fix gehalten wurde. Gemessen wurden vorne 907,4 g und hinten 1305,3 g bei einem Abstand zwischen den Achsen (Messpunkten) von 28,5 cm. Dies führt zu einer Schwerpunktslage von  $28,5 \cdot \frac{907,4}{907,4+1305,3} \approx 11,687$  gegenüber dem hinteren Messpunkt beziehungsweise einer Schwerpunktslage von  $28,5 \cdot \frac{1305,3}{907,4+1305,3} \approx 16,812$  gegenüber dem vorderen Messpunkt.

Hierbei sind wir davon ausgegangen, dass der Schwerpunkt in  $Y$ -Richtung (seitlich) zu vernachlässigen sei. Zwei Messungen mit Federwagen haben folgende Ergebnisse geliefert:

- links 11,1 N sowie rechts 9 N
- links 10 N sowie rechts 10,5 N

Die Unterschiede sind hier auf Messfehler zurückzuführen, im Mittel ist die Schwerpunktslage in diese Richtung zu vernachlässigen und nur wie oben beschrieben in  $X$ -Richtung zu betrachten. Auch in  $X$ -Richtung traten verschiedene Unterschiede auf, im Mittel lässt sich aber (wie erwartet) sagen dass sich der Schwerpunkt etwa im hinteren Drittel auf Höhe des Motors befindet, auf einer Höhe von 20cm von der vorderen Radaufhängung entfernt.

### 3 Trägheit

Um die Trägheit zu errechnen, wurde ein Versuch an einem Pendel durchgeführt. Das an einer Lichtschranke anliegende Signal, sobald das Pendel diese durchläuft, wurde in einem Oszilloskop<sup>1</sup> als CSV Datei exportiert und in den Abbildungen ??, ?? und ?? analysiert. Hier sieht man, dass für die Aufhängung eine mittlere Periodendauer von zwischen 1,44s und 1,45s vorliegt, während diese für das Auto 1,37s beträgt.

Wir haben folgende Gleichungen (mit  $T$  Periodendauer,  $I$  Trägheitsmoment,  $\omega$  Kreisfrequenz,  $m$  Masse,  $g$  Erdbeschleunigung und  $l$  Länge des Pendels) zugrunde gelegt:

$$\ddot{x}(t) + \omega^2 x(t) = 0 \quad (1)$$

$$\Leftrightarrow \ddot{\alpha}(t) + \frac{mgl}{I} \alpha(t) = 0 \quad (2)$$

$$\Leftrightarrow I\ddot{\alpha} + \alpha mgl = 0 \quad (3)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}} \quad (4)$$

$$I_{\text{Car}} = (t_{\text{auto}}^2 / (2\pi)^2 \cdot 9,81 \cdot m_{\text{gesamt}} \cdot l_{\text{ges}} - l_{\text{car}}^2 \cdot m_c - l_{\text{gerüst}}^2 \cdot (m_p + m_g) - I_{\text{gerüst}} \quad (5)$$

Mithilfe des Steiner Anteils wird das Koordinatensystem fuer das Auto verschoben. Dadurch ergibt sich Gleichung 5 fuer das Traegheitsmoment des Autos.

Einsetzen ergibt (wenn  $I_{\text{gerüst}} = 0,0625$  und  $L_{\text{car}} = 0,385$  angenommen wird)  $I_{\text{Car}} = 0,0274$ . Andere Gruppen haben hier bis zu 0,04 errechnet / gemessen. Dies resultiert möglicherweise aus der Annahme  $L_{\text{car}}$ , durch die fehlerhafte Berücksichtigung des Schwerpunkts (durch 0,5 cm Änderung kommt man schon auf 0,04).

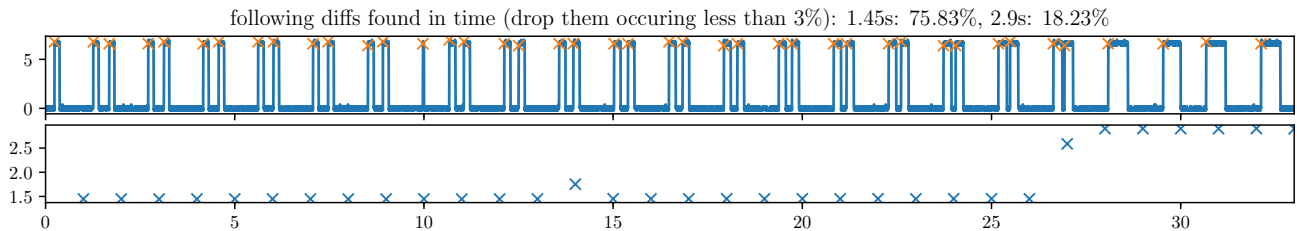


Abbildung 1: Aufhängung ohne fixierende Gummibänder

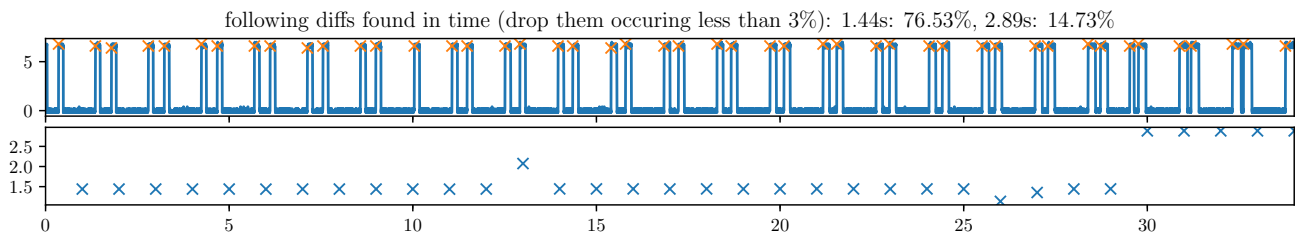


Abbildung 2: Aufhängung mit Halterung

<sup>1</sup>MDO3000 series, compare ~/Downloads/MD03000-Oscilloscope-User-Manual.pdf

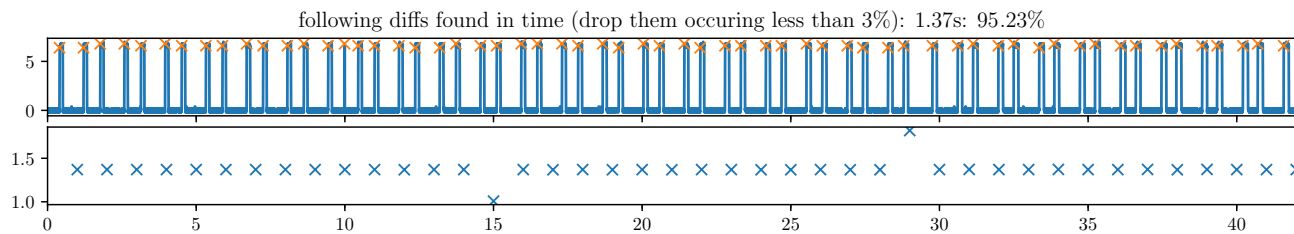


Abbildung 3: Aufhängung mit befestigtem Auto

Tabelle 1: Messergebnisse Dynamischer Radius

Geschwindigkeit	Umdrehungen	Dynamischer Radius
1000	4,9167	3,237 cm
2000	5	3,1415 cm
3000	5	3,1415 cm

## 4 Radius

Zunächst haben wir die Referenz aus den Kameraaufnahmen in von bekannten 60cm zu 26mm im Bild. Über diese Referenz kann auch  $l$  als Abstand zwischen Vorder- und Hinterreifen ermittelt werden. Wir haben Kreisfahrten mit 7 verschiedenen konstanten Geschwindigkeiten aufgenommen. Die digitalen Werte sind: 300, 500, 1000, 1500, 2000, 2500 und 3000. Diese haben wir über die ermittelten Durchmesser sowie Zeitabstände auf die gemittelten Geschwindigkeiten umgerechnet.

(Dies sind die ergebnisse in den velocity spalten nach dem Pfeil. Der erste ist mit der ersten Runde der zweite in Klammern wurde ohne diese Berechnet (Einfluss der Beschleunigung)).

Die Momentaufnahmen sind alle 180 Grad und die Spalte Distance gibt die anhand der Bilder gemessenen Werte in mm an. Darunter ist der gemittelte Wert, sowie die Umrechnung in cm. In der Spalte delta t sind zunächst die absoluten Zeitpunkte im video und danach die sich daraus ergebene Differenz angegeben. Für die Geschwindigkeit haben wir die Strecke des halben Umfangs  $x = \pi * \text{distance} / 2$  und die Geschwindigkeit aus  $v = x / \text{deltat}$ .

Im Ergebnis ist das Mapping von digitalen Werten zu tatsächlicher Geschwindigkeit nicht linear (dgeressives Verhalten). Der gefahrene Radius bei verschiedenen Geschwindigkeiten bleibt näherungsweise konstant.

Ganz unten sind die Ergebnisse der dnamischen Kreisfahrt dort wurde die Geschwindigkeit stückweise erhöht und wir haben ähnlich wie bei der stationären die Durchmesser ermittelt. Dabei wurden Momentaufnahmen alle 90 Grad genommen daher gibt es horizontal und vertival distance also einmal (0 zu 180 und 90 zu 270). Das Ergebnis hier ist, dass der gefahrene Druchmesser (bzw. Radius) bei steigender Geschw. ansteigt. Dies entspricht Untersteuern. Bei der Berechnung des Eigenlenkgradienten haben wir angenommen, dass der maximale Lenkeinschlag der Reifen konstant bleibt Gemessen waren 25grad. Der Egenlenkgradient wird im Matlab script berechnet zu  $(\text{deltv} - \text{ackerman}) * R / v^2 = EG$ . Hierbei kommt gemittelt ein kleiner positiver Wert raus, was das Untersteuern bestätigt.  $0.0547 [rad * s^2/m]$  Der Ackermann winkel als  $el/R$  kann als gemittelt  $0.041 [rad]$  als konstant bestätigt werden.

## 5 Dynamischer Radius

Wir haben festgestellt, dass der Durchmesser des Reifens 6,5cm entspricht. Der Radius beläuft sich folglich auf 3,25 cm. Bei der Berechnung des dynamischen Radius haben wir die Geschwindigkeiten 1000, 2000 und 3000 verwendet. Zur Messung haben wir eine Markierung am hinteren linken Reifen angebracht, um die Anzahl der Umdrehungen in einem festen Abstand zu bestimmen (hier: 1 m). Da der Ausgangsumfang bei 20,42 cm liegt, konnten wir bereits zu Beginn von etwa 5 Umdrehungen ausgehen. Hierbei haben wir festgestellt, dass sich der dynamische Radius nur geringfügig von den Ausgangswerten unterscheidet. Aufgrund der Messmethode unterliegen diese Ergebnisse allerdings einer gewissen Schwankung.

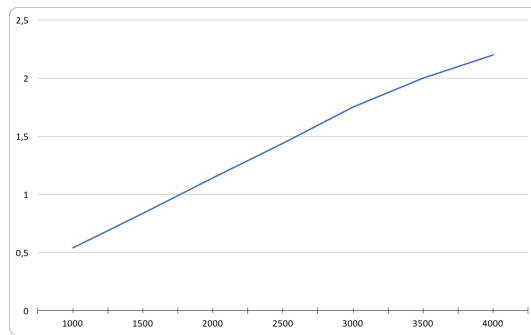


Abbildung 4: 1 m/s zu Motorinput

## 6 Motor-Kennlinie

In der Motorkennlinie beobachteten wir lineares Verhalten, ausser am Ende der Kennlinie. Der Motor arbeitet mit einem Eingang zwischen 0 und 4095 Einheiten. Beim Aufnehmen der Motorkennlinie mit Python beginnt diese erst bei 1000 Einheiten; erst dort beginnt das Auto, sich zu bewegen. Andere Gruppen beobachteten allerdings ein nicht-lineares Verhalten mit fallender Steigung und nahezu logarithmisch verlaufender Kennlinie. Zudem liegt die durch uns gemessene Maximalgeschwindigkeit von 4000 Einheiten unter Vergleichswerten anderer Teams. Die Problematik ist uns bewusst und könnte aus unterschiedlicher Modellierung und der Steuerung der Autos resultieren. Vor weiterer Modellierung werden wir diesen Aspekt gemeinsam mit anderen Teams weiter untersuchen.