

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Versuch 1 - Ausgleichspolynom der Beschleunigungssensoren</b>	<b>2</b>
1.1	Rohwerte . . . . .	2
1.1.1	Rohwerte bei $\varphi = -45^\circ$ . . . . .	2
1.1.2	Rohwerte bei $\varphi = -30^\circ$ . . . . .	3
1.1.3	Rohwerte bei $\varphi = -15^\circ$ . . . . .	4
1.1.4	Rohwerte bei $\varphi = 0^\circ$ . . . . .	5
1.1.5	Rohwerte bei $\varphi = 15^\circ$ . . . . .	6
1.1.6	Rohwerte bei $\varphi = 30^\circ$ . . . . .	7
1.1.7	Rohwerte bei $\varphi = 45^\circ$ . . . . .	8
1.2	Mittelwertverlauf und Ausgleichspolynom . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Versuch 2 - Offsetbestimmung der Winkelgeschwindigkeiten</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Versuch 3 - Auswertung der Motorgeschwindigkeit</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Versuch 4 - Ermittlung des Reibwertes <math>C_\varphi</math></b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Versuch 5 - Ermittlung des Reibwertes <math>C_\psi</math></b>	<b>14</b>

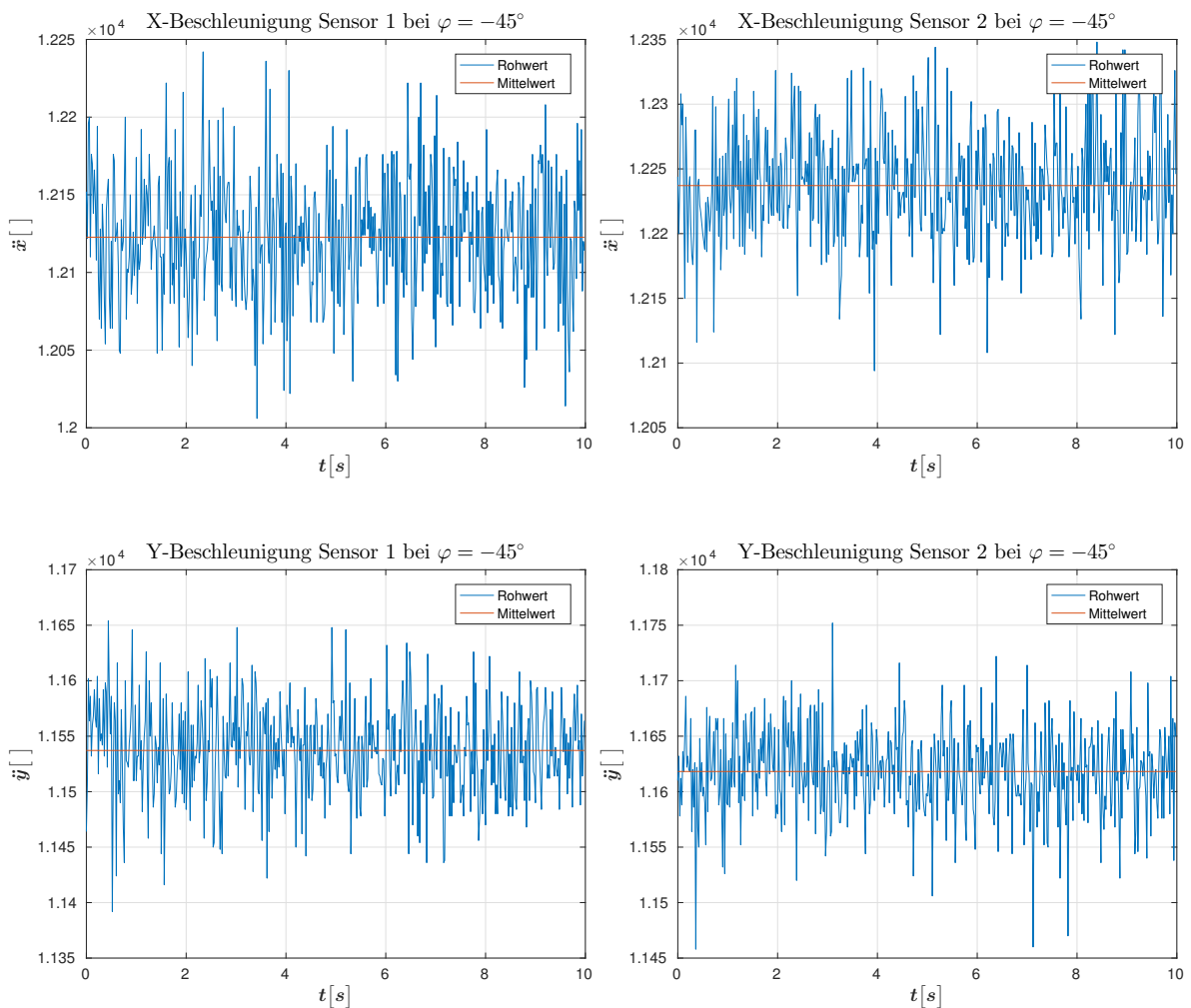
# 1 Versuch 1 - Ausgleichspolynom der Beschleunigungssensoren

Das Ziel des ersten Versuchs ist ein Ausgleichspolynom zu ermitteln um die Rohwerte der Sensoren in SI-Einheiten umzurechnen. Die Sensoren geben für jede Beschleunigungsachse 16-Bit Werte aus, welche im Zweierkomplement dargestellt werden. In dem Versuch wird die Würfelseite in sieben verschiedenen Positionen ( $\varphi \in \{-45^\circ, -30^\circ, -15^\circ, 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$ ) fixiert und jeweils  $m = 1000$  Beschleunigungswerte in X- und Y-Richtung aufgenommen. Da die Würfelseite in den Positionen stillsteht ist der Sollwert der Beschleunigungssensoren bekannt. Folglich kann ein Polynom ersten Grades approximiert werden um die Mittelwerte der Rohdaten in die entsprechenden Mittelwerte umzurechnen.

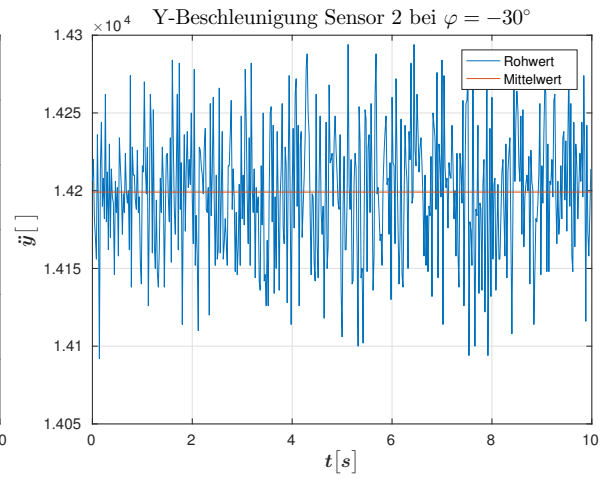
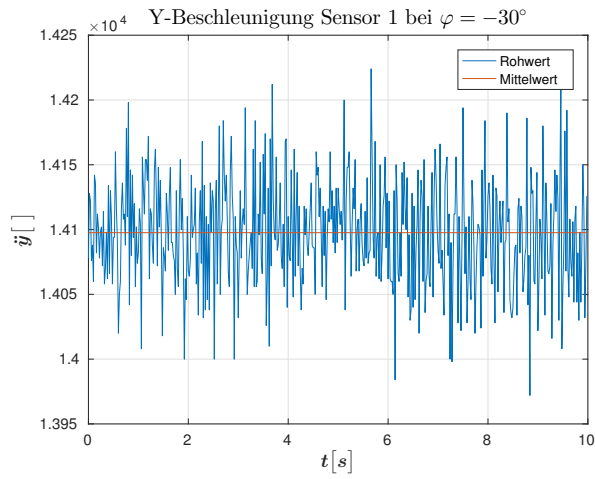
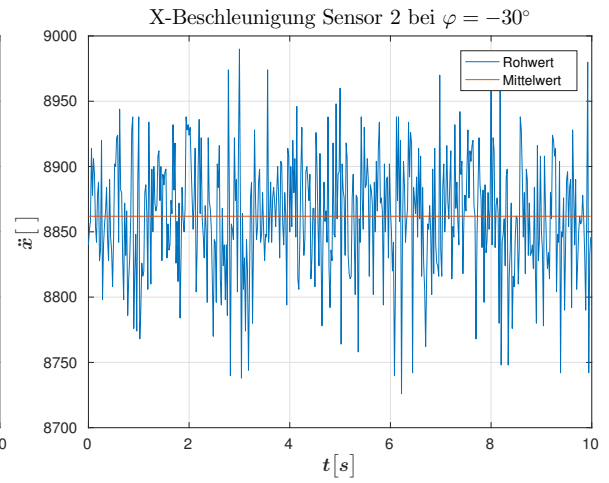
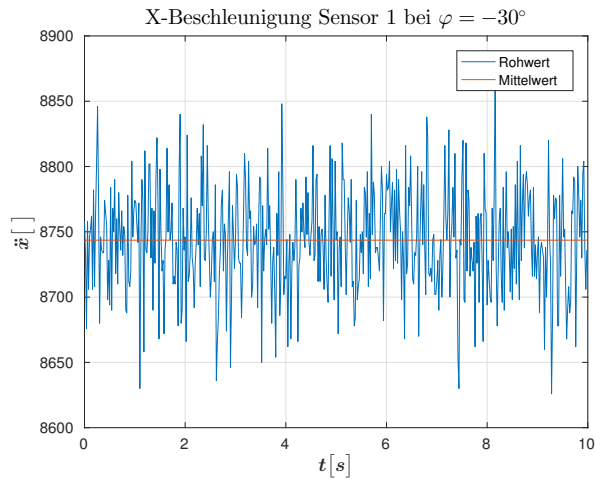
## 1.1 Rohwerte

Die folgenden Abbildungen zeigen die Rohwerte der beiden Sensoren in X- und Y-Richtung in den verschiedenen Positionen.

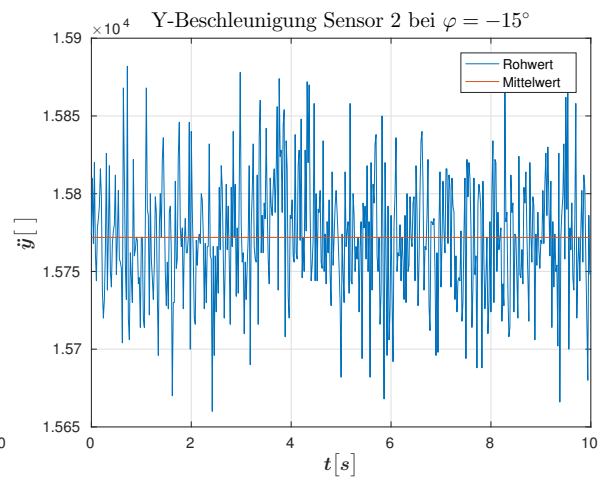
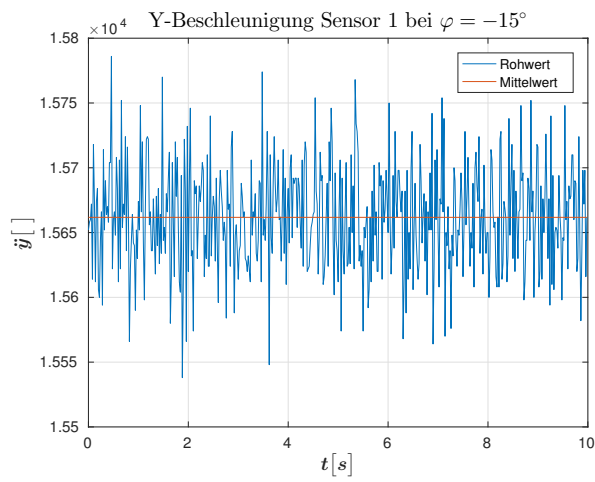
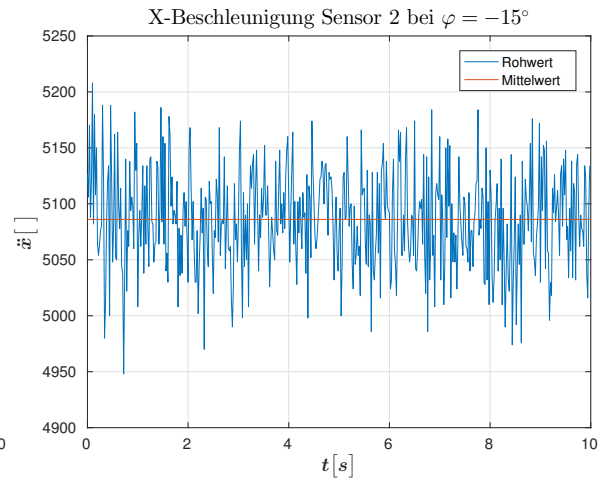
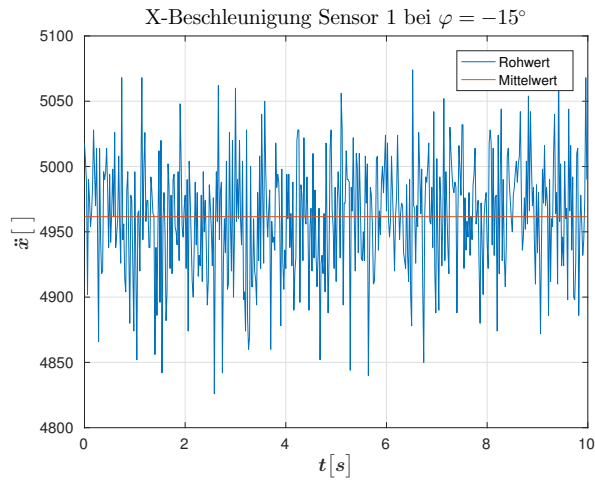
### 1.1.1 Rohwerte bei $\varphi = -45^\circ$



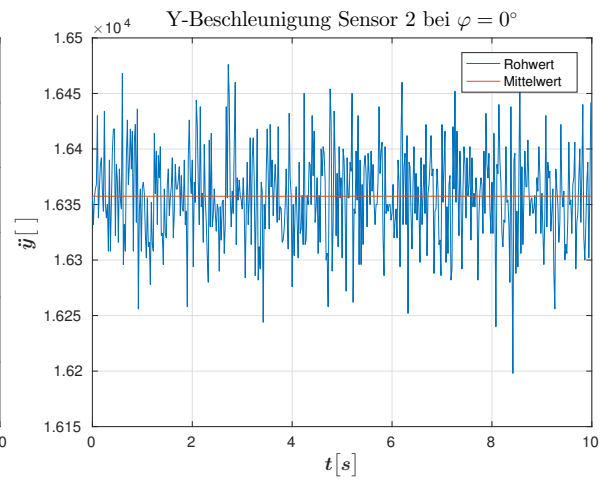
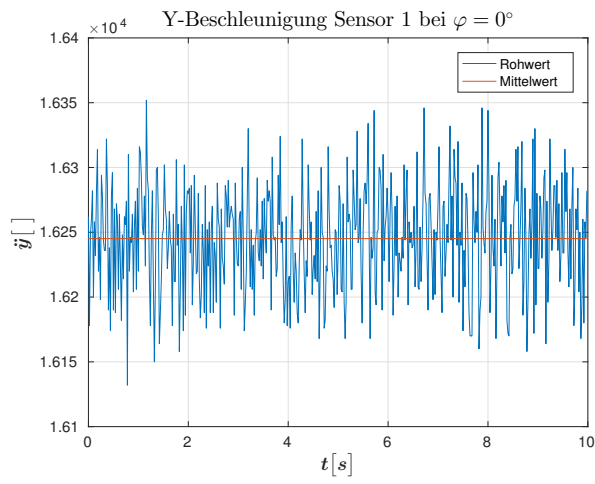
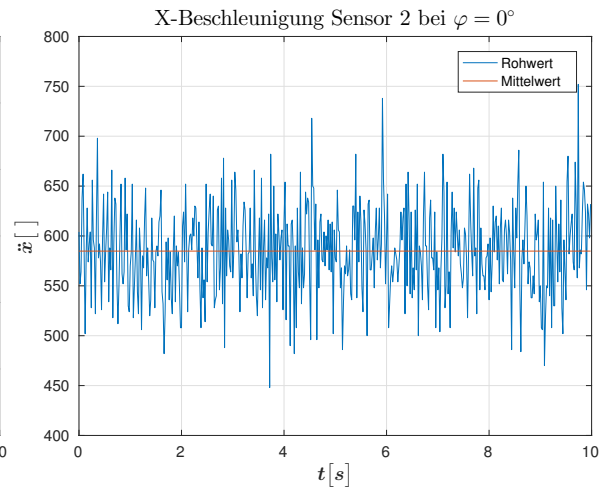
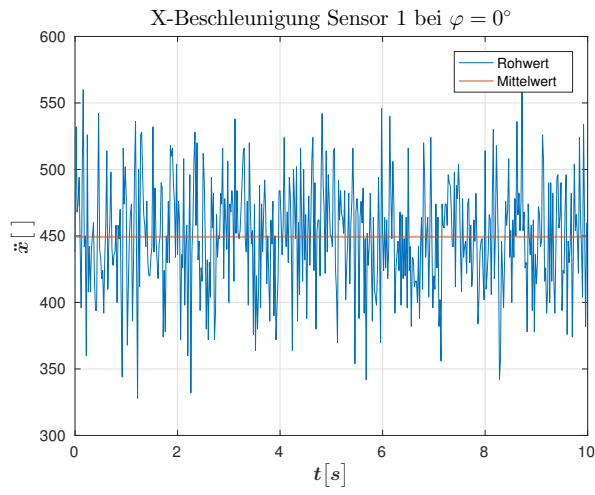
### 1.1.2 Rohwerte bei $\varphi = -30^\circ$



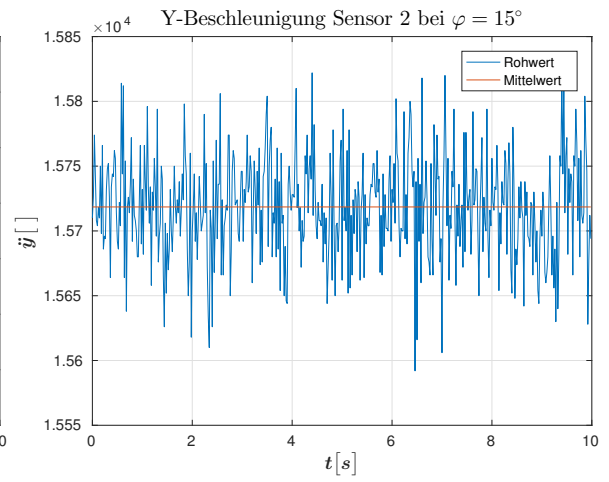
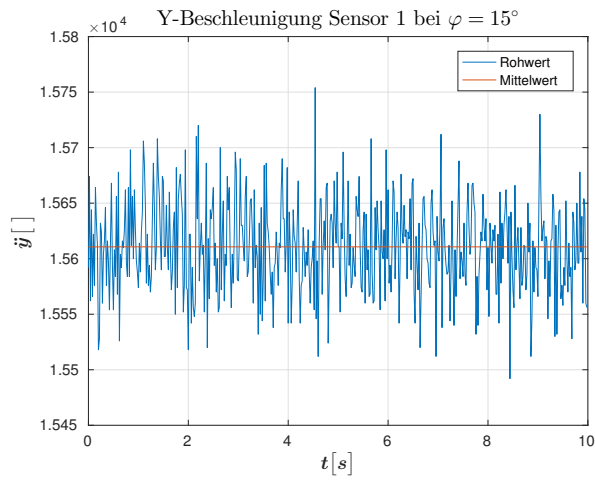
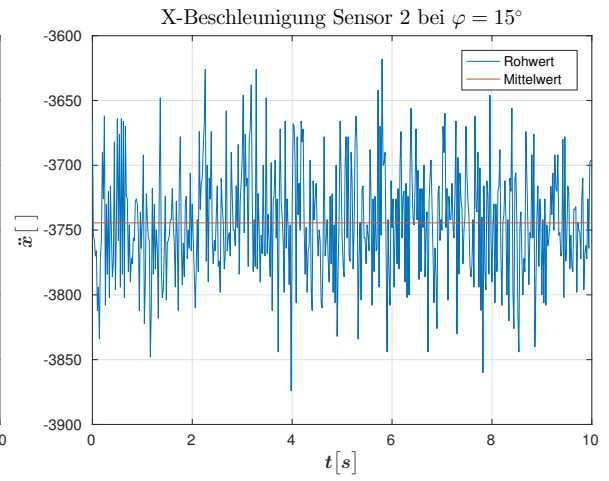
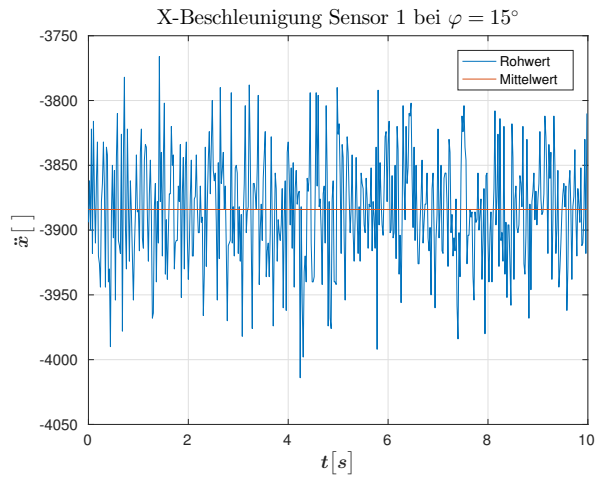
### 1.1.3 Rohwerte bei $\varphi = -15^\circ$



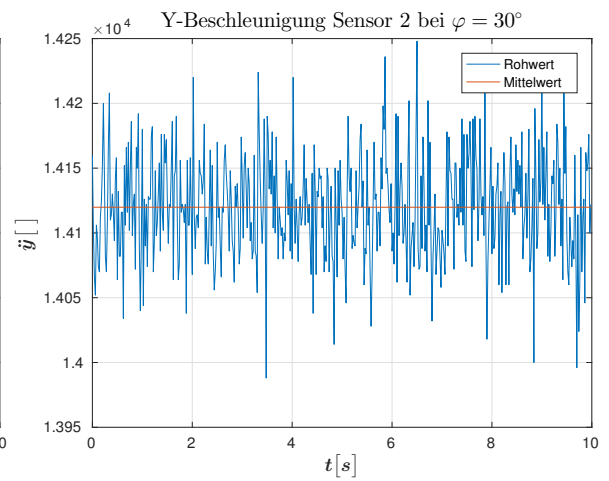
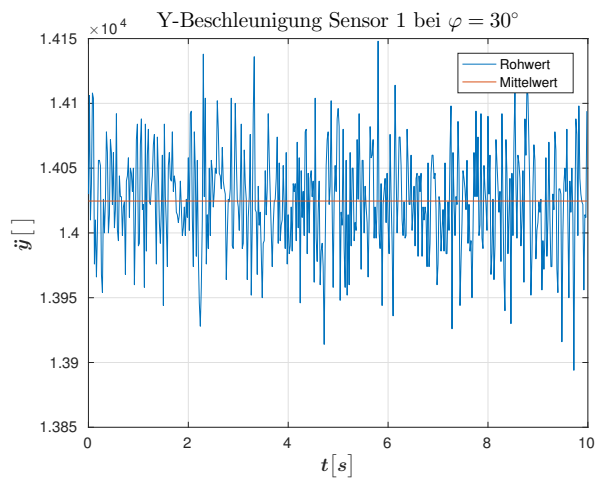
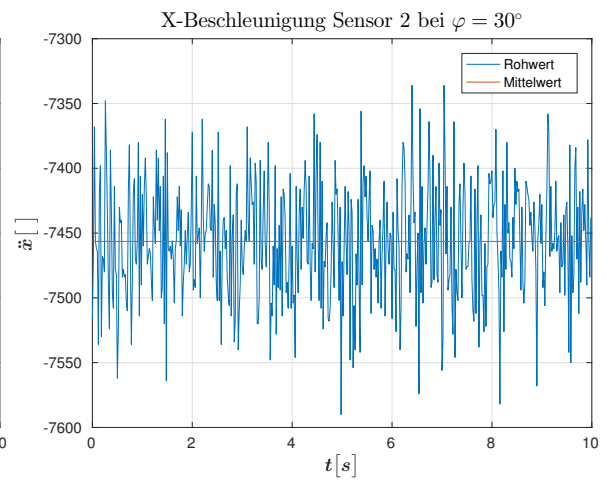
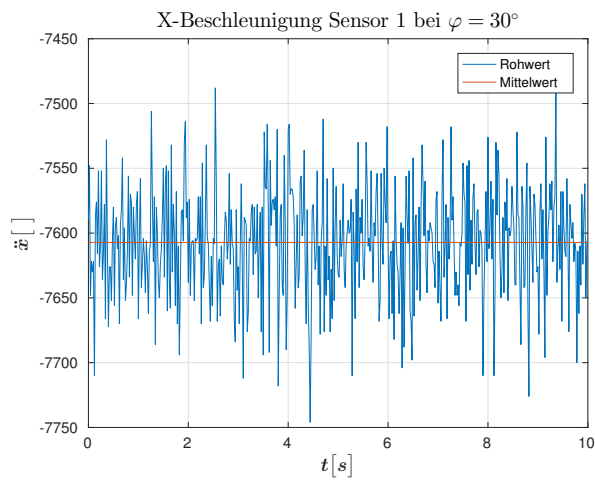
### 1.1.4 Rohwerte bei $\varphi = 0^\circ$



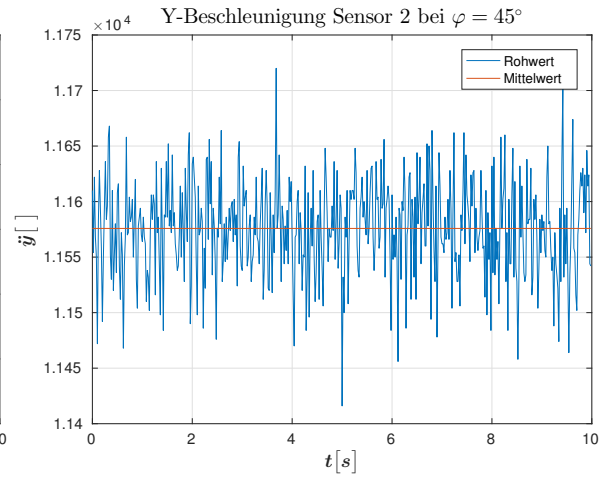
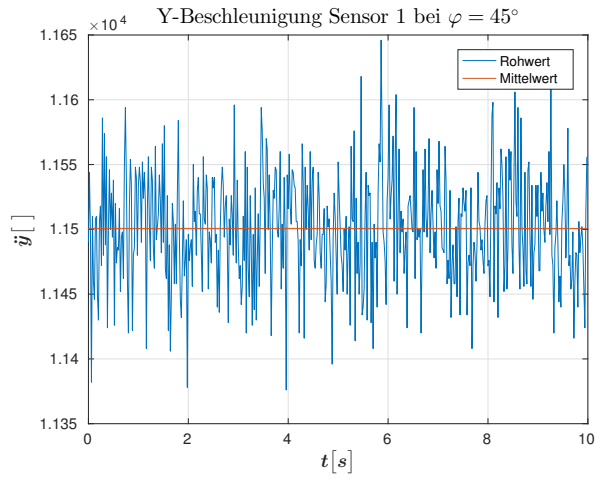
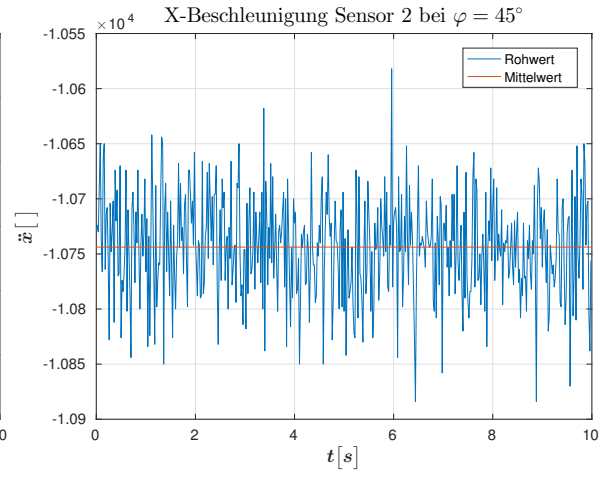
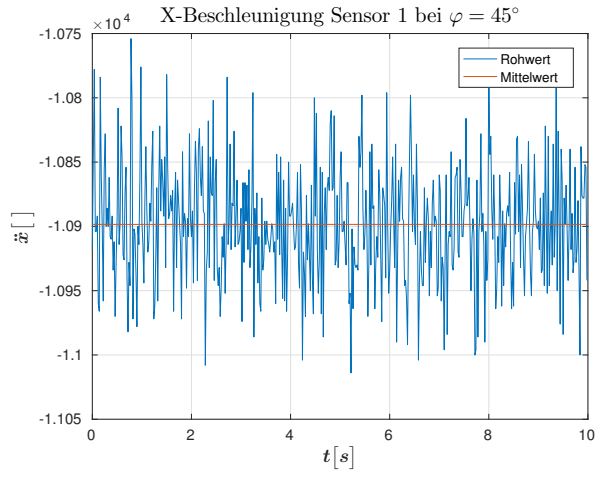
### 1.1.5 Rohwerte bei $\varphi = 15^\circ$



### 1.1.6 Rohwerte bei $\varphi = 30^\circ$



### 1.1.7 Rohwerte bei $\varphi = 45^\circ$





## 1.2 Mittelwertverlauf und Ausgleichspolynom

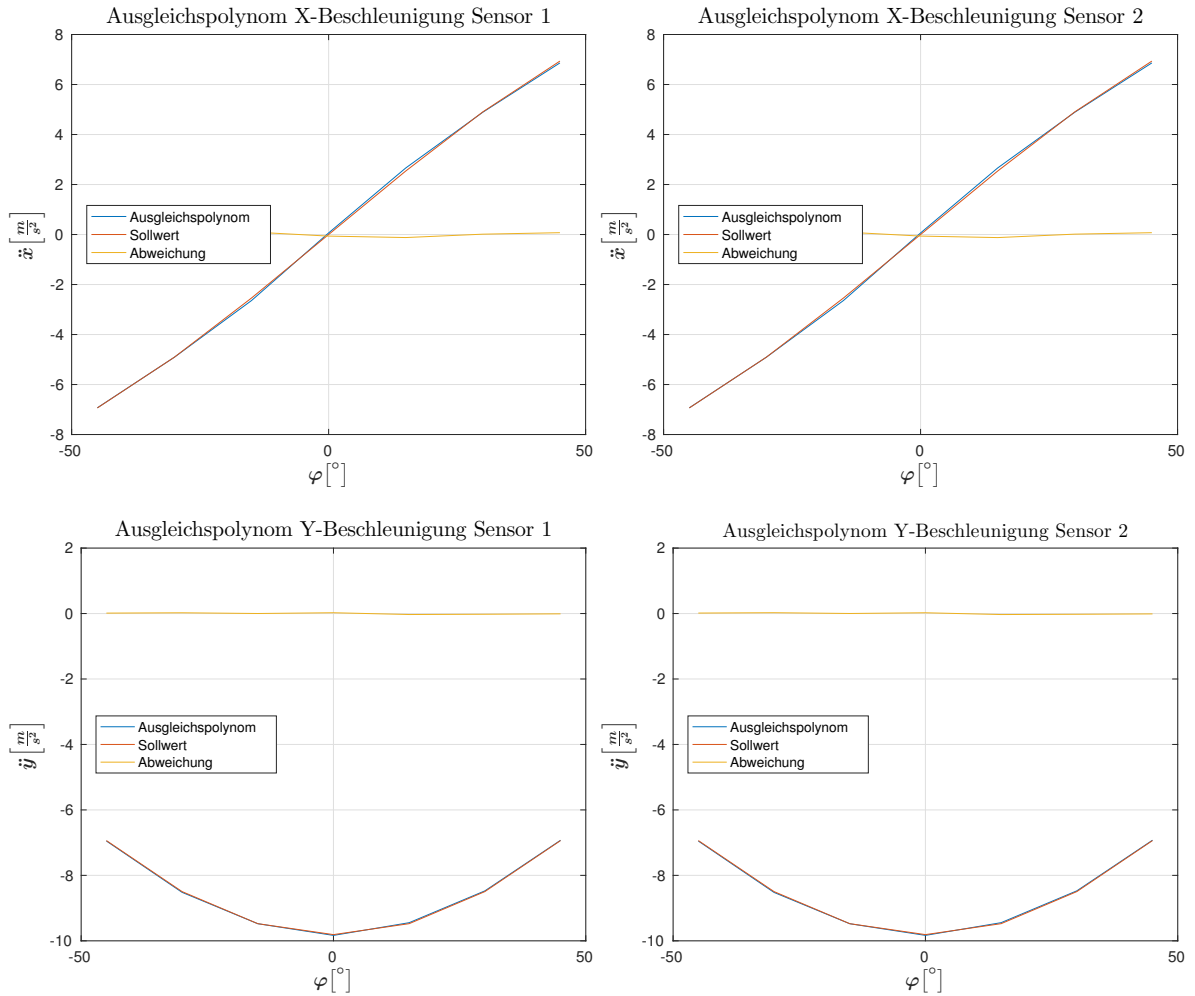
Für jede Achse der beiden Sensoren ergeben sich aus den obigen Aufzeichnungen ein Vektor, welcher den Verlauf der Mittelwerte beschreibt. Da die Sollbeschleunigung bekannt ist kann nun ein Polynom erster Ordnung bestimmt werden, welches die Rohdaten in Beschleunigungswerte umrechnet. Die folgenden Abbildungen zeigen den Verlauf der Sollwerte und die Ergebnisse der Umrechnung.

$$\begin{aligned}\ddot{x}_n &\equiv \text{X-Beschleunigung Sensor } n & \ddot{x}_n^R &\equiv \text{X-Rohwert Sensor } n \\ \ddot{y}_n &\equiv \text{Y-Beschleunigung Sensor } n & \ddot{y}_n^R &\equiv \text{Y-Rohwert Sensor } n\end{aligned}$$

$$\ddot{x}_n = p_{x_n}^1 \cdot \ddot{x}_n^R + p_{x_n}^2 \quad | \quad n \in \{1, 2\} \quad (1)$$

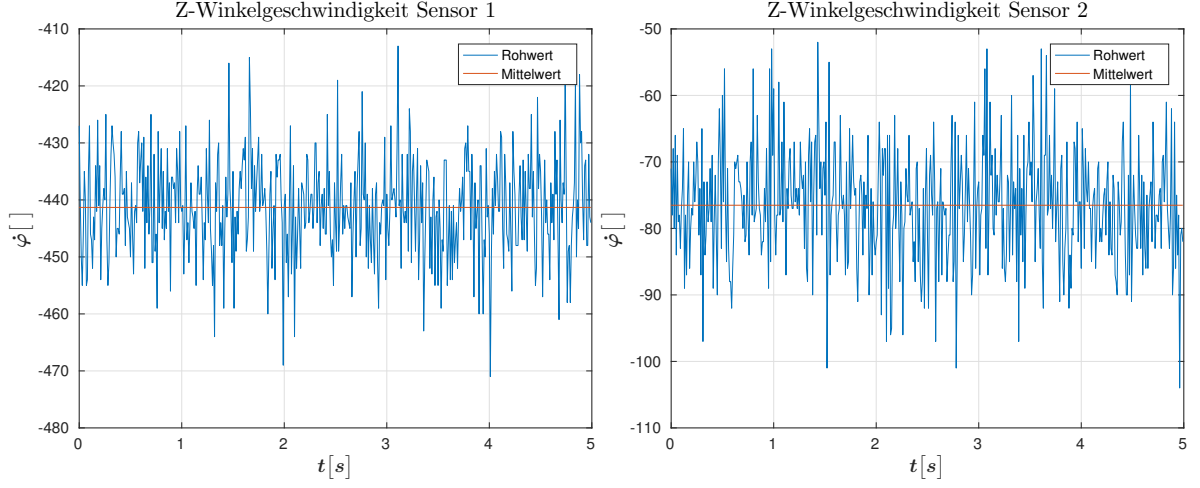
$$\ddot{y}_n = p_{y_n}^1 \cdot \ddot{y}_n^R + p_{y_n}^2 \quad | \quad n \in \{1, 2\} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}p_{x_1}^1 &= -5.992 \cdot 10^{-4} & p_{x_1}^2 &= 0.3328 \\ p_{x_2}^1 &= -6.003 \cdot 10^{-4} & p_{x_2}^2 &= 0.4138 \\ p_{y_1}^1 &= -6.127 \cdot 10^{-4} & p_{y_1}^2 &= 0.1186 \\ p_{y_2}^1 &= -6.81 \cdot 10^{-4} & p_{y_2}^2 &= 0.1143\end{aligned}$$



## 2 Versuch 2 - Offsetbestimmung der Winkelgeschwindigkeiten

Im zweiten Versuch wird die Würfelseite fixiert und die Winkelgeschwindigkeitswerte der beiden Sensoren aufgenommen. Hierbei werden jeweils  $m = 1000$  Werte aufgenommen. Da der Sollwert  $\dot{\varphi} = 0 \frac{m}{s}$  bekannt ist kann die systematische Messabweichung der Sensoren über den Mittelwert bestimmt werden. Der proportionale Umrechnungsfaktor von Rohdaten zu Winkelgeschwindigkeiten wird dem Datenblatt des Herstellers entnommen.



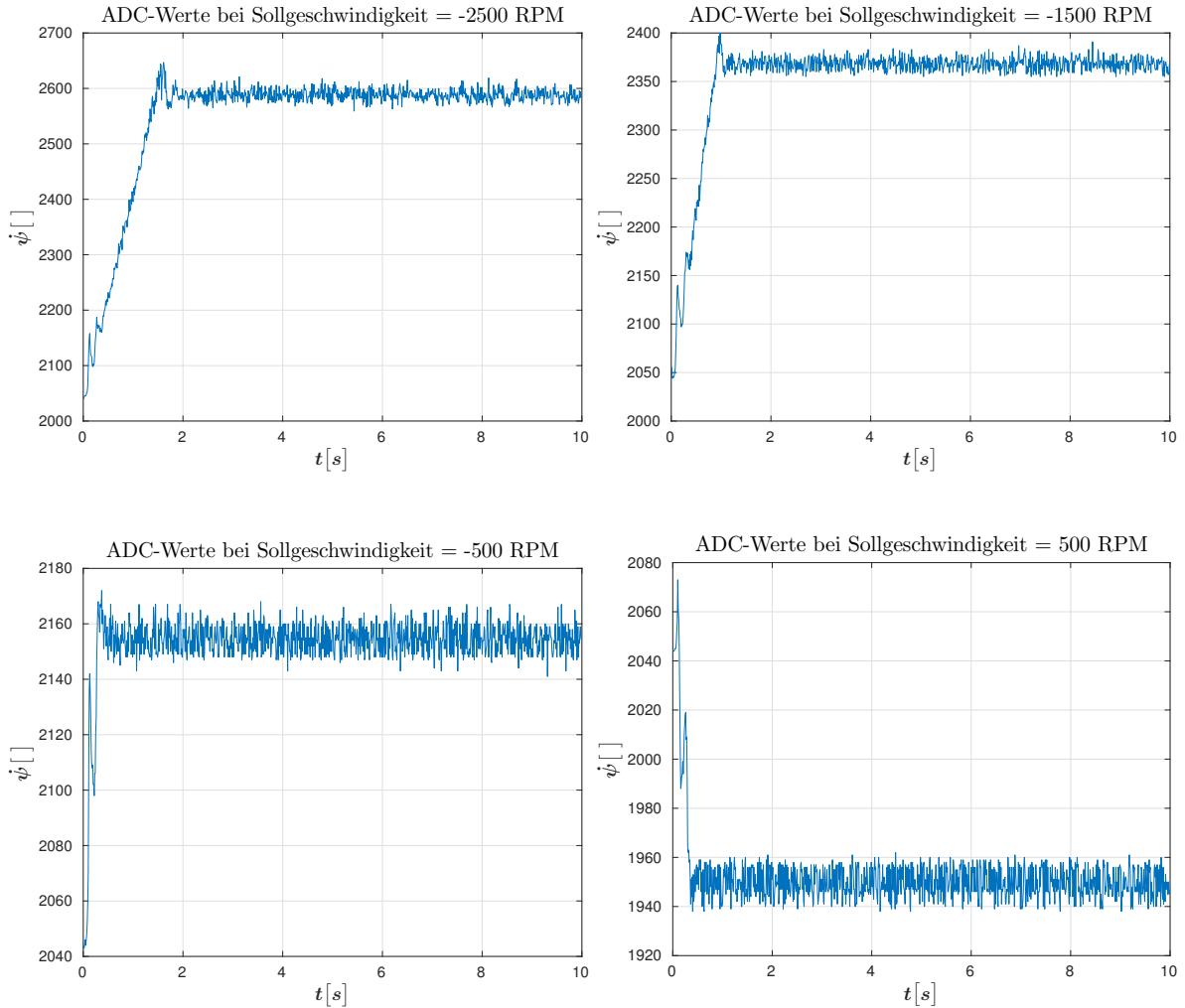
$$\dot{\varphi}_n \equiv \varphi\text{-Geschwindigkeit Sensor } n \quad \dot{\varphi}_n^R \equiv \dot{\varphi}\text{-Rohwert Sensor } n$$

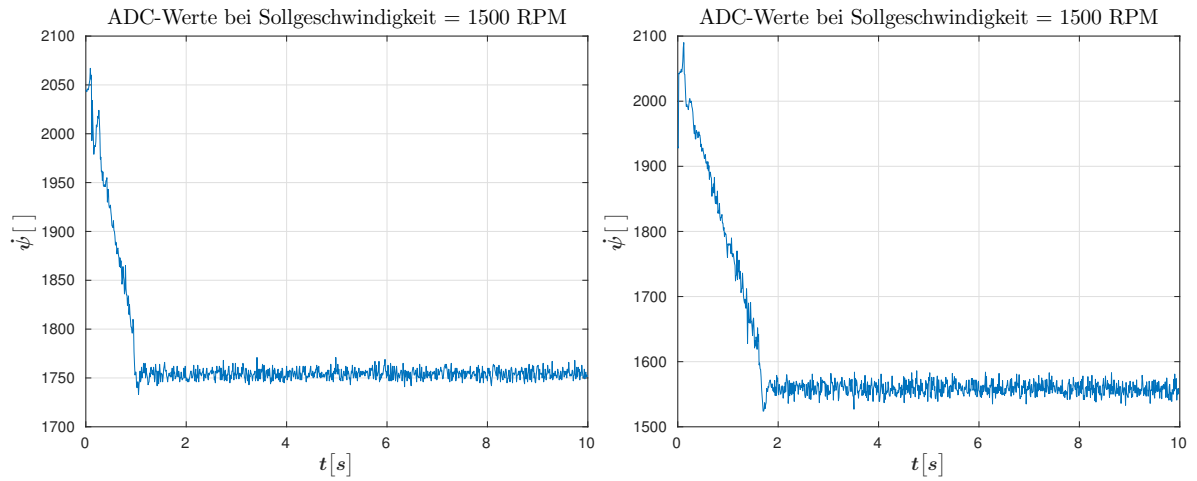
$$\dot{\varphi}_n = p_{\dot{\varphi}_n^R}^1 \cdot (\dot{\varphi}_n + p_{\dot{\varphi}_n}^2) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} p_{\dot{\varphi}_1}^1 &= -1.3265 \cdot 10^{-4} & p_{\dot{\varphi}_1}^2 &= 441.3160 \\ p_{\dot{\varphi}_2}^1 &= -1.3265 \cdot 10^{-4} & p_{\dot{\varphi}_2}^2 &= 76.5140 \end{aligned}$$

### 3 Versuch 3 - Auswertung der Motorgeschwindigkeit

Der Motortreiber liefert ein analoges Spannungssignal, welches die aktuelle Motorgeschwindigkeit wiedergibt. Um die ADC-Werte in SI-Einheiten wird ein Polynom erster Ordnung benötigt. Hierfür werden mit Hilfe der ESCON-Studio konstante Motorgeschwindigkeiten ( $\dot{\psi} \in \{-3000, -2000, -1000, 0, 1000, 2000, 3000\}[rpm]$ ) gefahren und pro Durchlauf  $m = 500$  ADC-Werte aufgenommen. Über die Mittelwerte der Messungen und die vorgegebenen Radgeschwindigkeiten wird anschließend ein Polynom erster Ordnung approximiert.

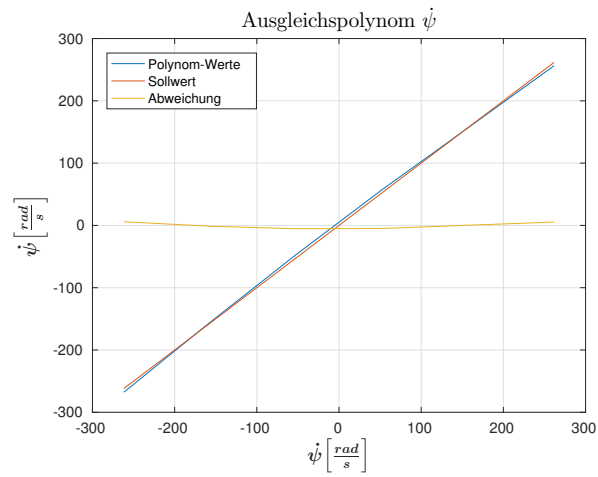




Mit Hilfe von MATLAB wird ein Polynom erster Ordnung bestimmt, welches die ADC-Werte in SI-Einheiten umrechnet.

$$\dot{\psi} \equiv \text{Geschwindigkeit der Schwungmasse} \quad \dot{\psi}_{ADC} \equiv \text{ADC-Wert}$$

$$\dot{\psi} = -0.5092 \cdot \dot{\psi}_{ADC} + 1050 \quad (4)$$



## 4 Versuch 4 - Ermittlung des Reibwertes $C_\varphi$

In dem die Schwungmasse fest mit der Würfelseite verbunden wird ergibt sich die folgende Bewegungsgleichung für das Gesamtsystem.

$$(\theta_K^A + \theta_R^B + m_R \cdot l_{AB}^2) \ddot{\varphi} = g(m_K \cdot l_{AC} + m_R \cdot l_{AB}) \sin(\varphi) - C_\varphi \cdot \dot{\varphi} \quad (5)$$

In dem Versuchsaufbau wird das Gesamtsystem nun von einem Startwinkel  $\varphi_0$  losgelassen, woraufhin eine gedämpfte Schwingung entsteht. Mit Hilfe der Sensoren können die Größen  $\varphi$ ,  $\dot{\varphi}$  und  $\ddot{\varphi}$  gemessen werden.

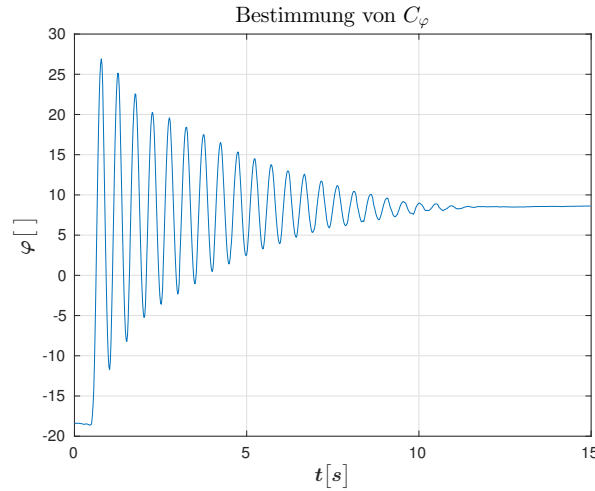


Abbildung 1: Ausfallwinkel der Würfelseite bei Versuch 4, Quelle: eigene Darstellung

Über die  $n$  Messpunkte ergeben sich die folgenden Vektoren.

$$\boldsymbol{\varphi} = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \vdots \\ \varphi_n \end{pmatrix} \quad \dot{\boldsymbol{\varphi}} = \begin{pmatrix} \dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_2 \\ \vdots \\ \dot{\varphi}_n \end{pmatrix} \quad \ddot{\boldsymbol{\varphi}} = \begin{pmatrix} \ddot{\varphi}_1 \\ \ddot{\varphi}_2 \\ \vdots \\ \ddot{\varphi}_n \end{pmatrix} \quad (6)$$

Damit ergibt sich durch Umstellen von 5 die folgende Gleichung.

$$C_\varphi \cdot \dot{\boldsymbol{\varphi}} = g(m_K \cdot l_{AC} + m_R \cdot l_{AB}) \sin(\boldsymbol{\varphi}) - (\theta_K^A + \theta_R^B + m_R \cdot l_{AB}^2) \ddot{\boldsymbol{\varphi}} \quad (7)$$

Mit Hilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate kann nun der Reibwert  $C_\varphi$  bestimmt werden.

$$C_\varphi = 5.4 \cdot 10^{-3} \cdot kg \cdot m^2 \cdot s^{-1} \quad (8)$$

## 5 Versuch 5 - Ermittlung des Reibwertes $C_\psi$

Im nächsten Versuchsaufbau wird die Würfelseite fixiert ( $\dot{\varphi} = 0$ ). Hierbei beschleunigt der Motor die Schwungmasse mit einem konstanten Drehmoment  $T_M = 10 \text{ mNm}$ .  $T_M$  ist so zu wählen, dass sich die Radgeschwindigkeit  $\dot{\psi}$  in einem Bereich bewegt, welcher dem Arbeitsbereich des geschlossenen Regelkreises entspricht.

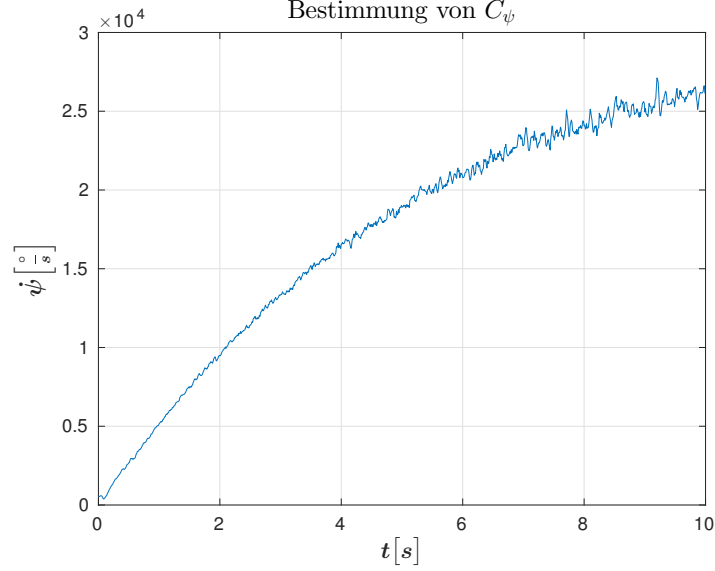


Abbildung 2: Versuch 5: Verlauf der Radgeschwindigkeit, Quelle: eigene Darstellung

Da die Bewegung auf einen Freiheitsgrad beschränkt wurde vereinfacht sich das Modell des Systems auf die folgende Bewegungsgleichung.

$$\theta_R^B \cdot \ddot{\psi} = T_M - C_\psi \cdot \dot{\psi} \quad (9)$$

Im Versuchsverlauf werden bei  $n$  Stützstellen die Werte von  $\psi$ ,  $\dot{\psi}$  und  $\ddot{\psi}$  gemessen. Daraus ergeben sich die folgenden Vektoren.

$$\boldsymbol{\psi} = \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \vdots \\ \psi_n \end{pmatrix} \quad \dot{\boldsymbol{\psi}} = \begin{pmatrix} \dot{\psi}_1 \\ \dot{\psi}_2 \\ \vdots \\ \dot{\psi}_n \end{pmatrix} \quad \ddot{\boldsymbol{\psi}} = \begin{pmatrix} \ddot{\psi}_1 \\ \ddot{\psi}_2 \\ \vdots \\ \ddot{\psi}_n \end{pmatrix} \quad (10)$$

Durch Einsetzen von 10 in 9 kann über die Methode der kleinsten Fehlerquadrate wiederum der Reibwert  $C_\psi$  bestimmt werden.

$$C_\psi = 4.8301 \cdot 10^{-6} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \quad (11)$$