

Hochschule Karlsruhe  
Technik und Wirtschaft  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Projektanfrage**

### **„Galvanometer- Scanner“ Sommersemester 2014**

Autor:  
Manuel Del Basso

6. April 2014



## Abbildungsverzeichnis

|      |  |    |
|------|--|----|
| 5.1  | Rotorwelle Karbon, diametral magnetisierter Rohrmagnet NdFeB/N45 Kugellager, Positionssensor PCB, Gebermagnet (gelb) für Positionssensor . . . . .   | 7  |
| 5.2  | Kerne für Statorwicklungen, Stahl St 37-2 zur Erhöhung der Flußdichte . . . . .  | 7  |
| 5.3  | Statorkerne mit Wicklungen . . . . .   | 8  |
| 5.4  | Aluminium A- Lagerschild links und B- Lagerschild rechts, mit montiertem Positionssensor . . . . .   | 8  |
| 5.5  | Aluminium Gehäuseplatten oben und unten mit montierten Statorspulen . . . . .  | 9  |
| 5.6  | Kompletter Aufbau eines Galvos mit montiertem Umlenkspiegel . . . . .  | 9  |
| 5.7  | Seitenansicht Rotor und Statorkerne, der an der Rotorwelle befestigte, diametral magnetisierte Gebermagnet rotiert innerhalb der Durchgangsbohrung in der das Kugellager eingelassen ist . . . . . | 10 |
| 5.8  | Draufsicht rechtes Lagerschild, Gebermagnet und Sensor- IC, Leiterplatte ausgeblendet . . . . .  | 10 |
| 5.9  | Verlauf des einfallenden und reflektierten Lichtpunktes, Ablenkung bei $1^\circ$ . . . . .   | 11 |
| 5.10 | Verlauf des einfallenden und reflektierten Lichtpunktes, Ablenkung bei $15^\circ$ . . . . .  | 11 |
| 5.11 | Anordnung der Galvanometer- Motoren in XY- Scanner- Konfiguration . . . . .  | 12 |
| 5.12 | Planar- Modell des Galvo- Motors zur Reduzierung der Simulationszeit für die ersten Versuche . . . . .   | 12 |
| 5.13 | Erster PD- Reglerentwurf in ANSYS Simplorer mit Planar Modell des Galvo- Motors als Regelstrecke . . . . .   | 13 |
| 5.14 | Verlauf Sollwerte am Eingang des ERR_SUM Blocks . . . . .  | 14 |
| 5.15 | Verlauf der Winkelposition am Ausgang des "posSens" Blocks . . . . .   | 14 |
| 5.16 | CurrentCommand, Ausgangsgröße des "Software-" Reglers . . . . .  | 15 |
| 5.17 | Wicklungsstrom im Mess- Shunt, Spannungsfall als Rückführgröße für den analogen, proportionalen Strom- Regler mit nachgeschalteter Leistungsstufe . . . . .  | 15 |
| 5.18 | Platine mit magnetischem Drehencoder AS5055A als Winkelpositionssensor . . . . .   | 16 |
| 5.19 | Zwei Entwürfe des Stromreglers mit Endstufe . . . . .  | 17 |



## Inhaltsverzeichnis

|  |          |
|--|----------|
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>                         | <b>2</b> |
| <b>1 Einleitung</b>                                  | <b>4</b> |
| <b>2 Konstruktion des Motors</b>                     | <b>4</b> |
| 2.1 Rotor . . . . .                                  | 4        |
| 2.2 Statorkern . . . . .                             | 4        |
| 2.3 Motorwicklung . . . . .                          | 4        |
| 2.4 Gehäuse . . . . .                                | 5        |
| 2.5 Rückführgröße . . . . .                          | 5        |
| <b>3 Mathematische Modellierung der Regelstrecke</b> | <b>6</b> |
| 3.1 Linearisierung . . . . .                         | 6        |
| 3.2 ... . . . .                                      | 6        |
| <b>4 Reglerentwurf</b>                               | <b>6</b> |
| 4.1 ... . . . .                                      | 6        |
| <b>5 Proportionaler Stromregler</b>                  | <b>6</b> |
| 5.1 Endstufe . . . . .                               | 6        |
| 5.2 ... . . . .                                      | 6        |

## 1 Einleitung

Ziel des Projektes ist der Aufbau eines funktionsfähigen XY- Galvanometer- Scanners mit selbst entworfenen Galvanometer- Motoren und eines in C implementierten Software- Reglers auf einem 8- Bit Mikrocontroller der Atmel ATxmega Familie.

Als Galvanometer- Motor- Typ ist ein "Moving magnet motor" geplant, um die Motorkonstruktion einfach zu halten, ist ein Design mit nur einem Pol- Paar angedacht.

Unter Zuhilfenahme der FEM- Simulationsumgebung "Maxwell" und "Simplorer" der Firma ANSYS, sollen Reglerparameter anhand eines nichtlinearen Modells des Galvanometer- Motors optimiert werden.

Die Sollwert- Vorgaben für die XY- Winkelpositionen werden vorerst als einfache Lookup- Tabellen direkt im Mikrocontroller erzeugt, welcher auch die diskreten Reglerfunktionen übernehmen soll. Sollte das geplante System soweit funktionieren dass mit dem Scanner einfache geometrische Figuren erzeugt werden können (Kreise, Quadrate, Achter, ...), könnte evtl. eine PC- Software- Lösung zur Erzeugung von Pixelkoordinaten inkl. Dunkeltastung des Lasers als Erweiterung angedacht werden.

## 2 Konstruktion des Motors

### 2.1 Rotor

Um das Massenträgheitsmoment des Rotors klein zu halten, ist für die durchgehende Rotorwelle ein Kohlefaserverbundwerkstoff geplant, dem Modell entsprechende Wellen mit  $\varnothing=4\text{mm}$  inkl. Kugellager gibt es im Bereich RC- Modellbau zu kaufen.

### 2.2 Statorkern

Um die Flußdichte im Luftspalt zwischen Rotor und Statorkern zu erhöhen, wurden die ersten Simulationen mit einfachem Stahl (St 37-2) als weichmagnetischer Werkstoff durchgeführt. Die Verwendung von keramischen Verbundwerkstoffen wie Mangan- Ferriten o.ä., wären aus Sicht der Flußdichtemaximierung und geringeren Wirbelstromverlusten vorzuziehen. Da die Bearbeitung, spezieller die Zerspanbarkeit von Ferriten eher problematisch ist, ist für den ersten Aufbau die Stahl- Variante geplant. Auch ein niederpermeables Kernmaterial wäre denkbar, das erzeugbare Drehmoment mit Luftspulen, bei gleichem Wicklungsstrom, ist aber wesentlich geringer, was bei gleicher Rotormasse zu geringeren Winkelbeschleunigungen führt.

### 2.3 Motorwicklung

Konstruktionsbedingt können die Gehäuseplatten, verschraubt mit einem einzelnen Statorkern, als Wicklungshilfe genutzt werden. In den ersten Simulationen mit Stahl- Stator wurde eine Windungszahl von je 40 Windungen genutzt. Die mittlere Eigeninduktivität pro Spule beträgt ca.  $60\mu\text{H}$ . Im Simulationsmodell in Abbildung 5.19 wurden die Wicklungsparameter wie Widerstand und Induktivität durch konstante, externe Bauelemente modelliert. Wenn als Co- Simulation nicht das Planarmodell, sondern das 3D- Modell des Galvanometers eingebunden wird, kann die zeitvariante Selbst- und Gegeninduktivität sowie die Flußverkettung von Maxwell berechnet werden um ein möglichst realistisches Modell zu erhalten.



## 2.4 Gehäuse

Als Gehäusematerial für die Lagerschilde (Abbildung 5.4) sowie Gehäuseplatten (Abbildung 5.5) wurde Aluminium gewählt. Hochpermeable Werkstoffe wie Stahl würden einen ungewollten magnetischen Kreis von einem Statorkern über die Lagerschilde zum anderen Statorkern bilden und die Induktivität der Spulen würde sich erhöhen, was einer schnellen Richtungsänderung des Wicklungsstroms entgegen wirkt. Kunststoffe sind wegen der zu erwartenden Erwärmung aufgrund Wicklungs- und Kernverluste eher weniger geeignet.

## 2.5 Rückführgröße

Zur Erzeugung der Rückführgröße soll ein magnetischer Drehencoder AS5055A der Firma AustriaMicroSystems (AMS) mit folgenden Eckdaten zum Einsatz kommen:

|                |              |
|----------------|--------------|
| Auflösung      | 12 Bit       |
| Messbereich    | 360°         |
| Programmierung | SPI          |
| Abtastrate     | 3kHz (max)   |
| Sensorausgang  | Digital, SPI |

Die magnetischen Drehencoder von AMS gibt es mit unterschiedlichen Ausgangssignalformen wie Analog, PWM oder über eine digitale Schnittstelle, was beim Einsatz eines diskreten Reglers vorteilhaft wäre. Ein Eagle- Entwurf der Sensorplatine ist in Abbildung 5.18 zu sehen.



---

## **3 Mathematische Modellierung der Regelstrecke**

### **3.1 Linearisierung**

### **3.2 ...**

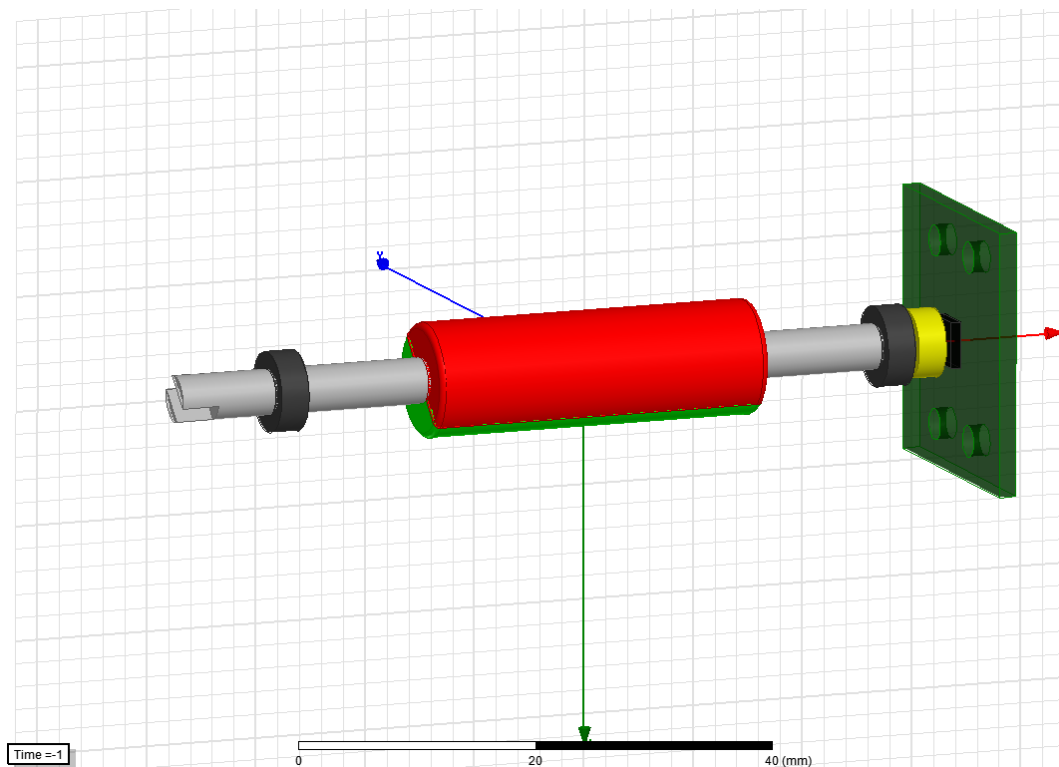
## **4 Reglerentwurf**

### **4.1 ...**

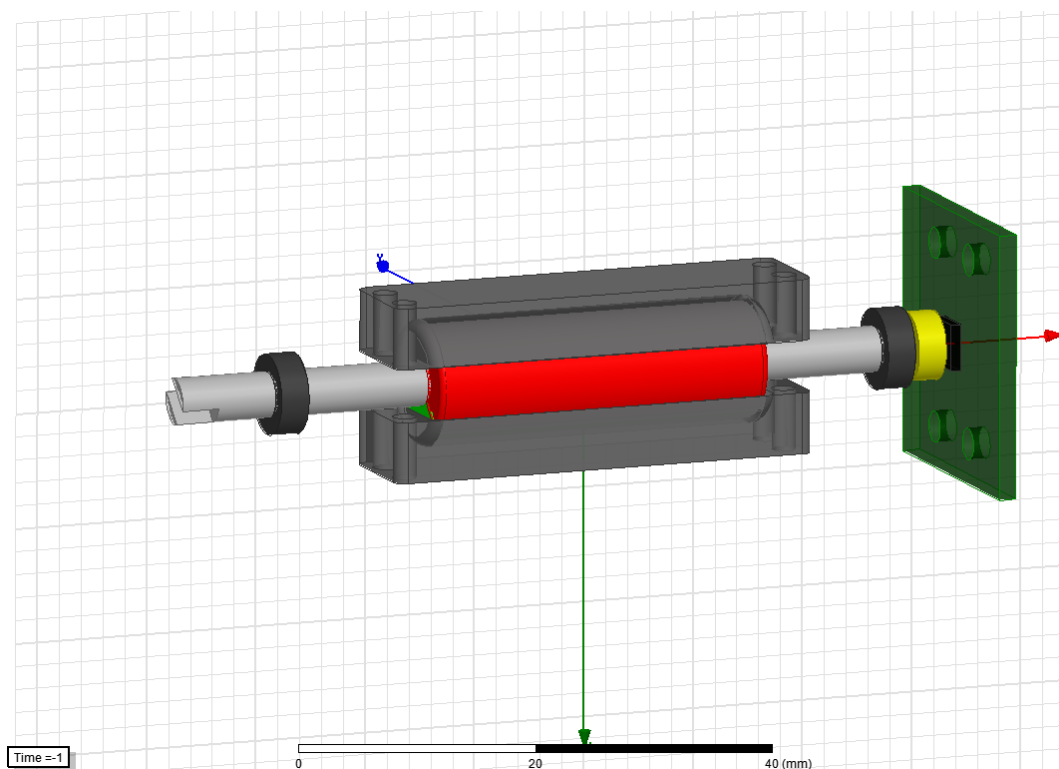
## **5 Proportionaler Stromregler**

### **5.1 Endstufe**

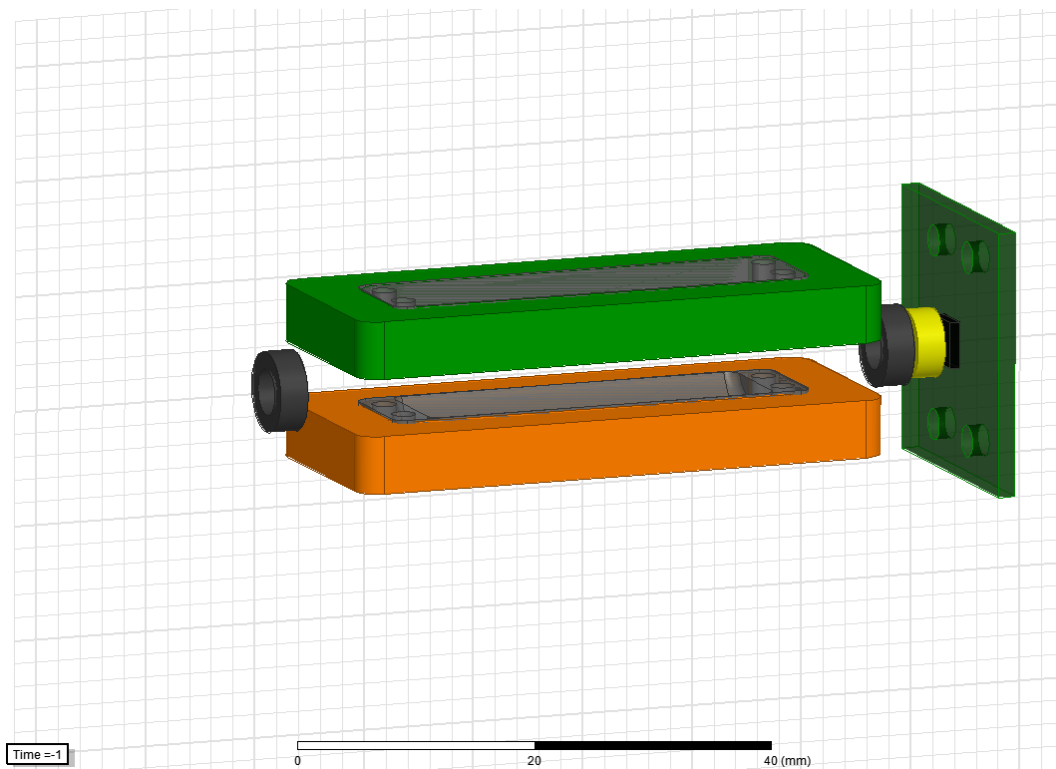
### **5.2 ...**



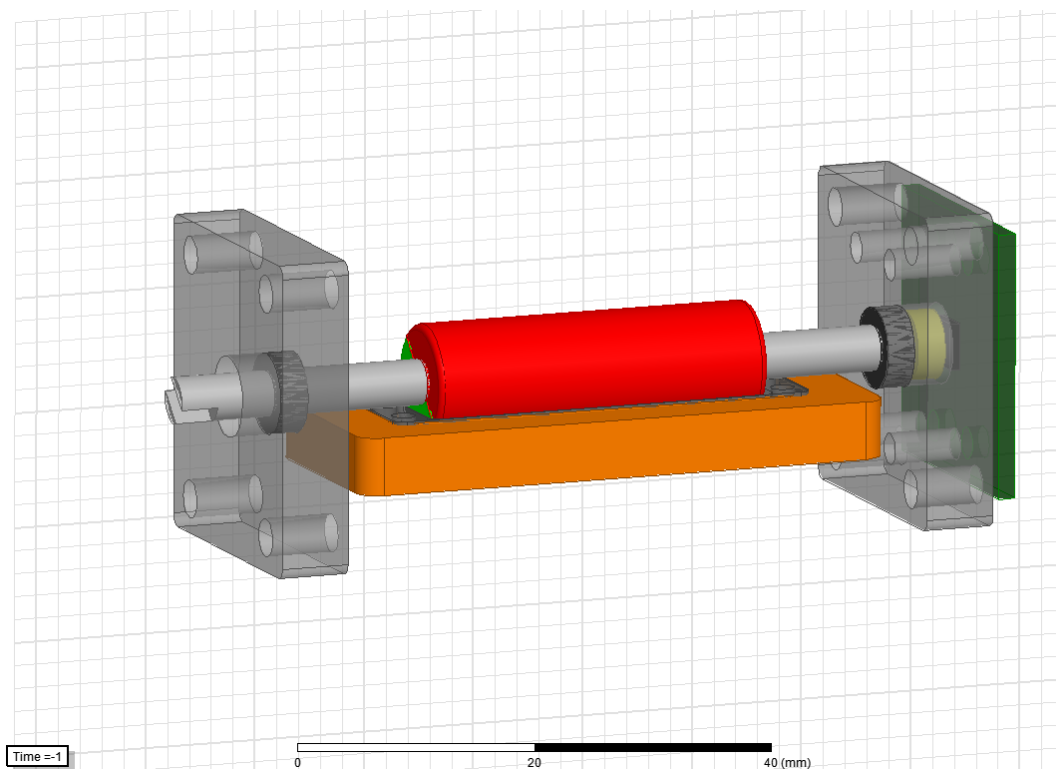
**Abb. 5.1:** Rotorwelle Karbon, diametral magnetisierter Rohrmagnet NdFeB/N45  
Kugellager, Positionssensor PCB, Gebermagnet (gelb) für Positionssensor



**Abb. 5.2:** Kerne für Statorwicklungen, Stahl St 37-2 zur Erhöhung der Flußdichte

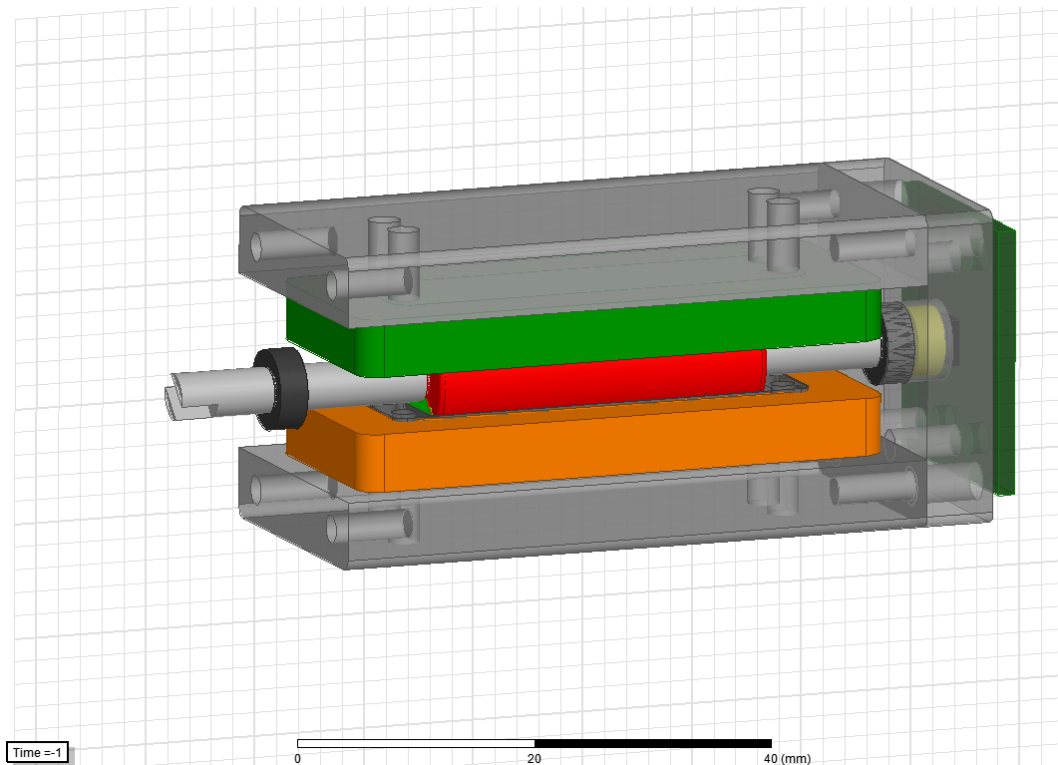


**Abb. 5.3:** Statorkerne mit Wicklungen

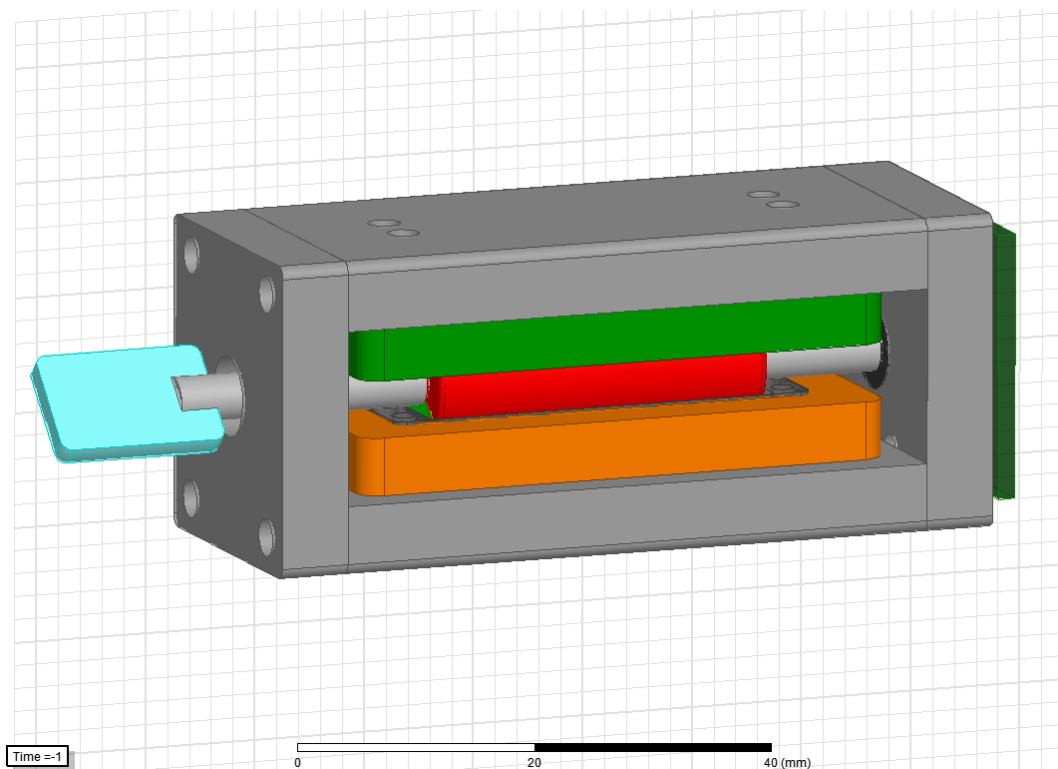


**Abb. 5.4:** Aluminium A- Lagerschild links und B- Lagerschild rechts, mit montiertem Positionssensor

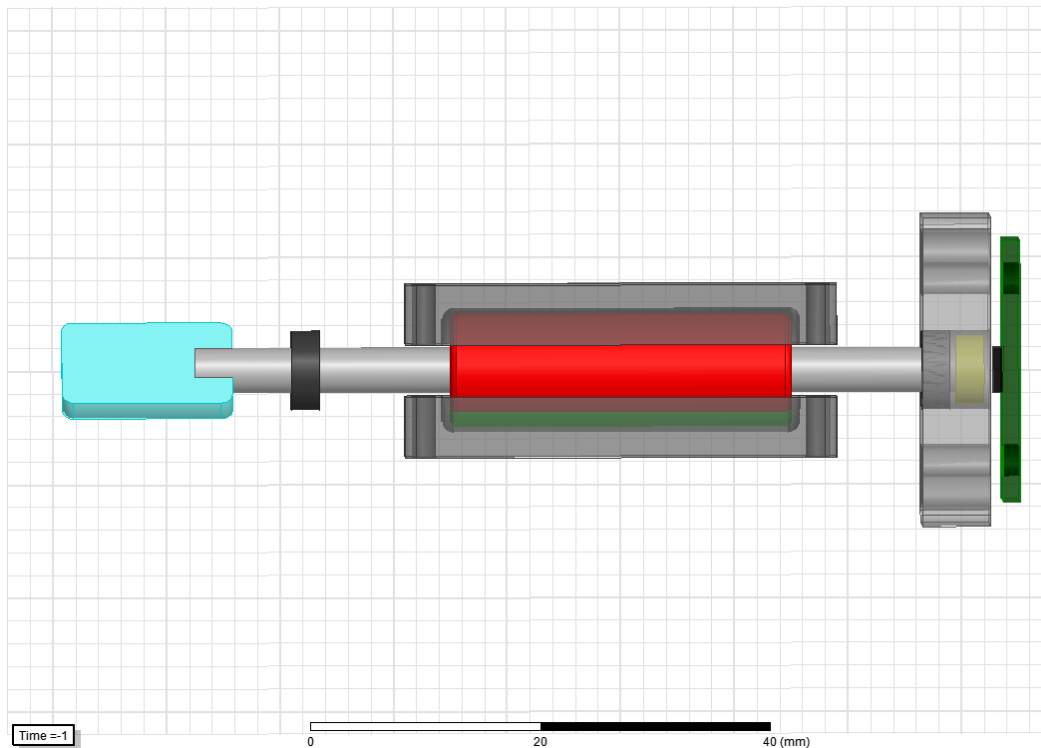




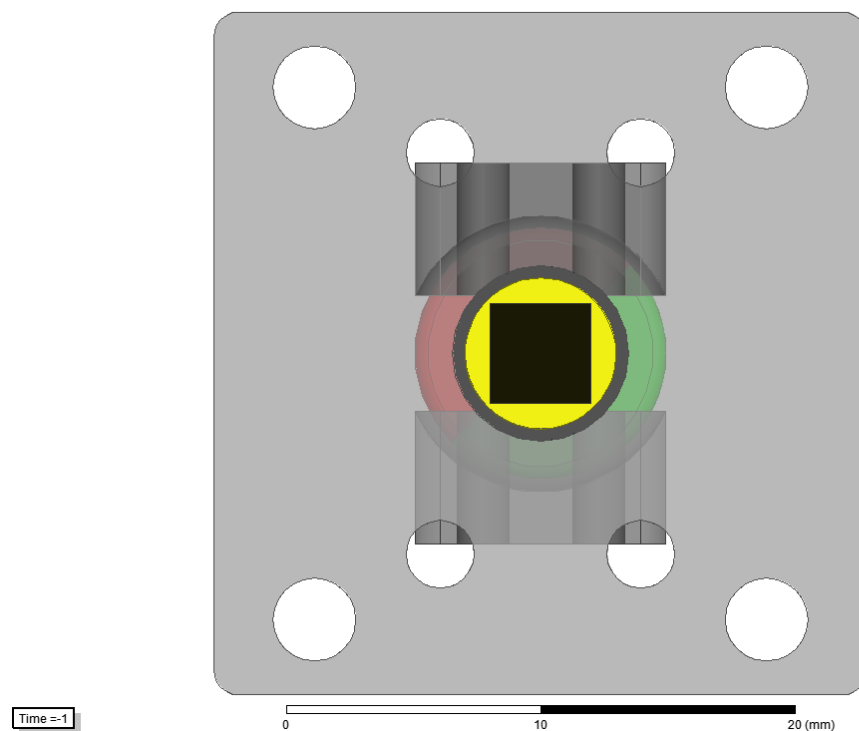
**Abb. 5.5:** Aluminium Gehäuseplatten oben und unten mit montierten Statorspulen



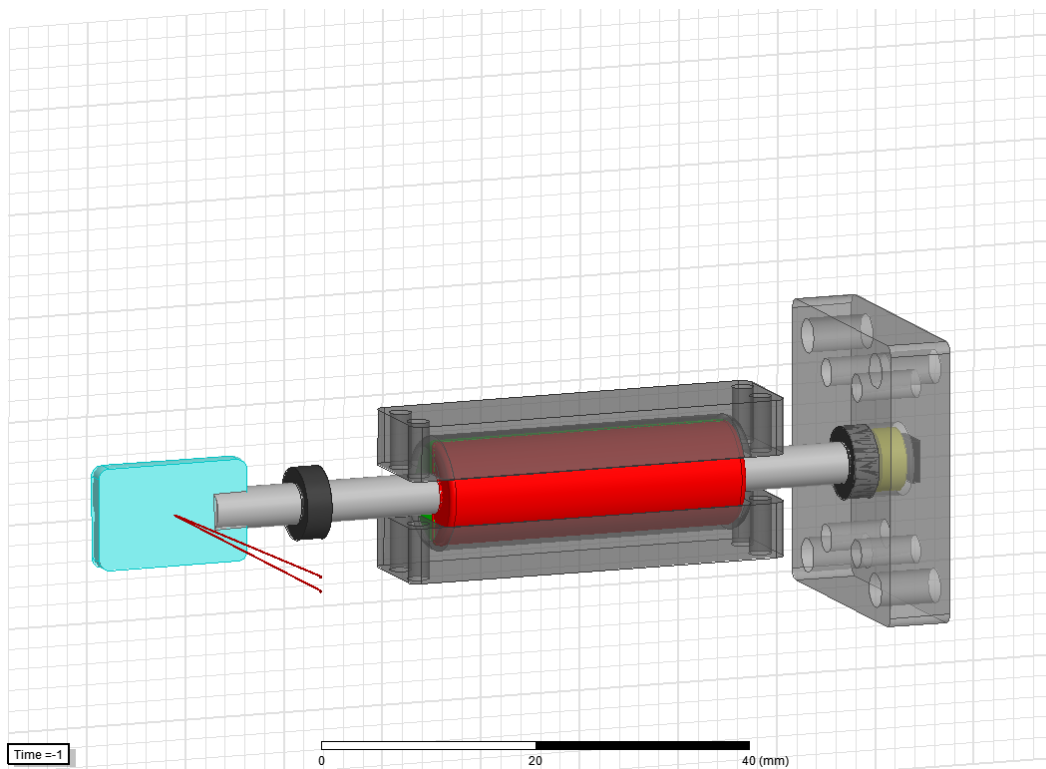
**Abb. 5.6:** Kompletter Aufbau eines Galvos mit montiertem Umlenkspiegel



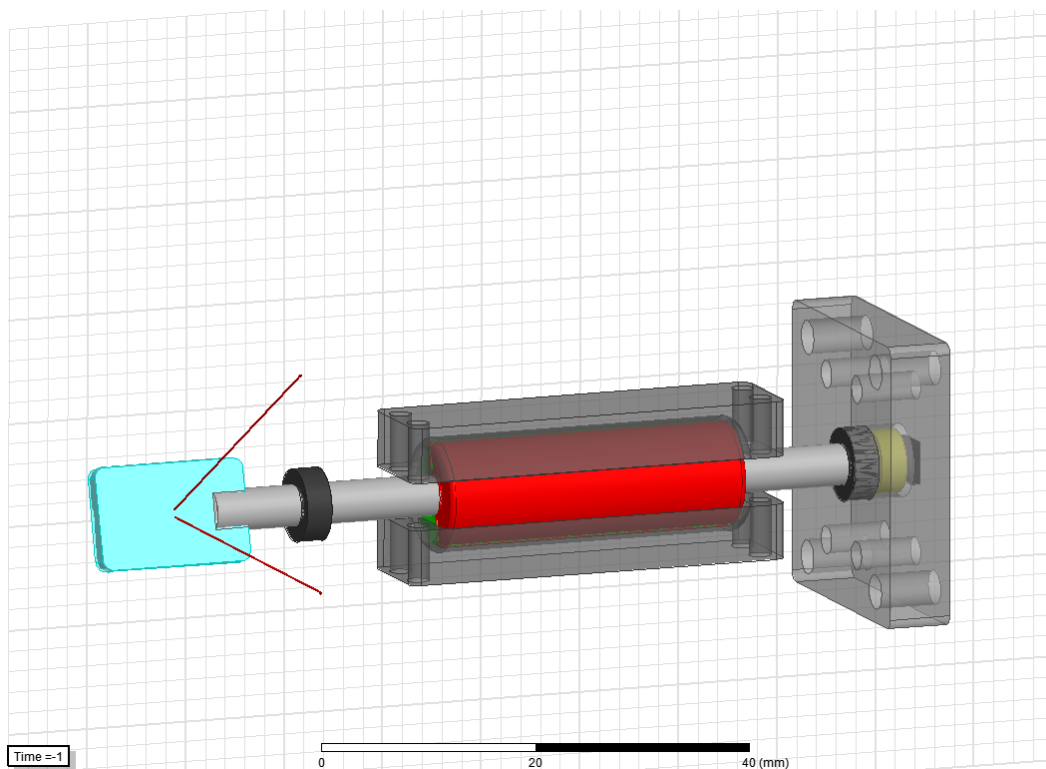
**Abb. 5.7:** Seitenansicht Rotor und Statorkerne, der an der Rotorwelle befestigte, diametral magnetisierte Gebermagnet rotiert innerhalb der Durchgangsbohrung in der das Kugellager eingelassen ist



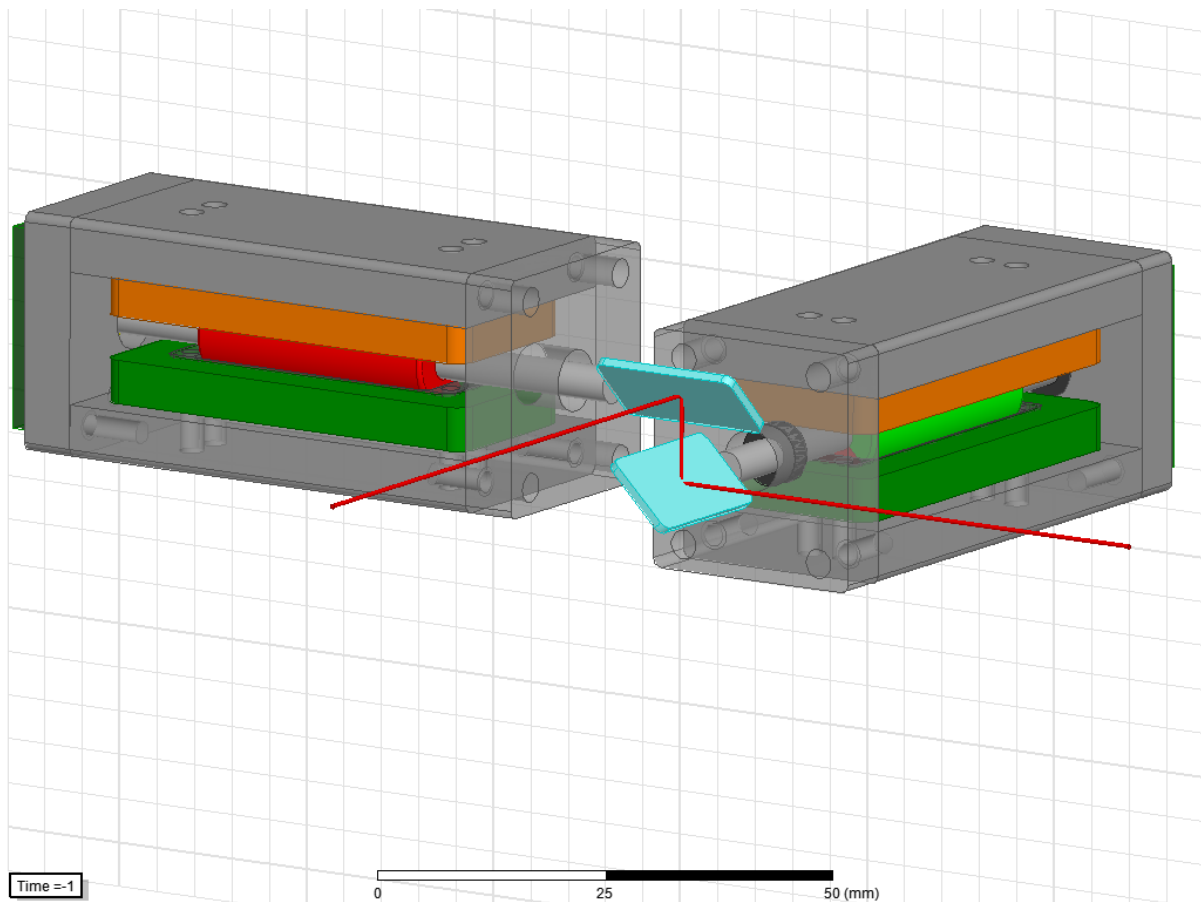
**Abb. 5.8:** Draufsicht rechtes Lagerschild, Gebermagnet und Sensor- IC, Leiterplatte ausgeblendet



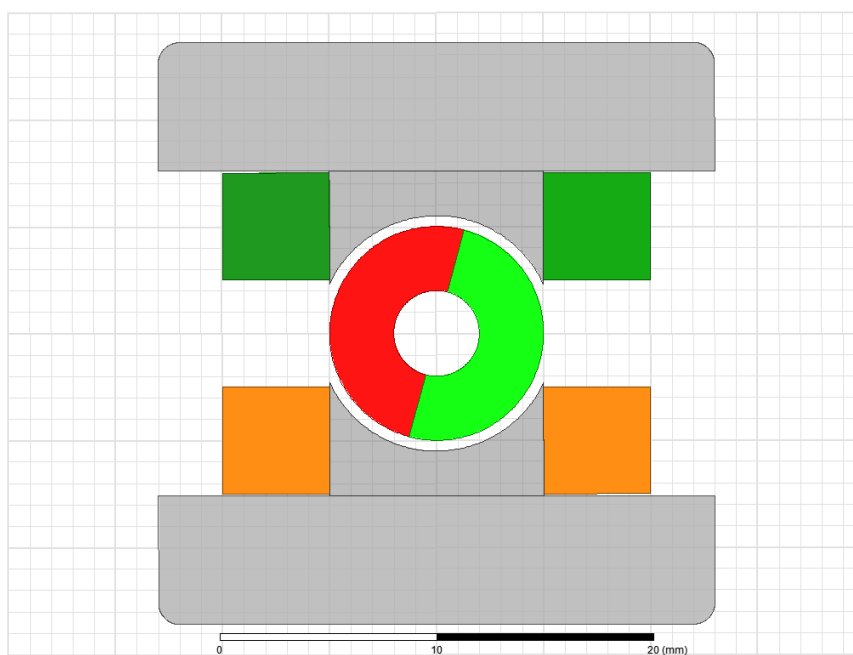
**Abb. 5.9:** Verlauf des einfallenden und reflektierten Lichtpunktes, Ablenkung bei  $1^\circ$



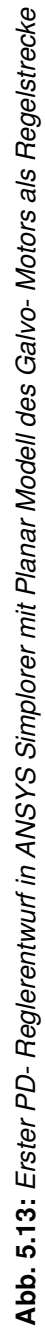
**Abb. 5.10:** Verlauf des einfallenden und reflektierten Lichtpunktes, Ablenkung bei  $15^\circ$



**Abb. 5.11:** Anordnung der Galvanometer- Motoren in XY- Scanner- Konfiguration



**Abb. 5.12:** Planar- Modell des Galvo- Motors zur Reduzierung der Simulationszeit für die ersten Versuche



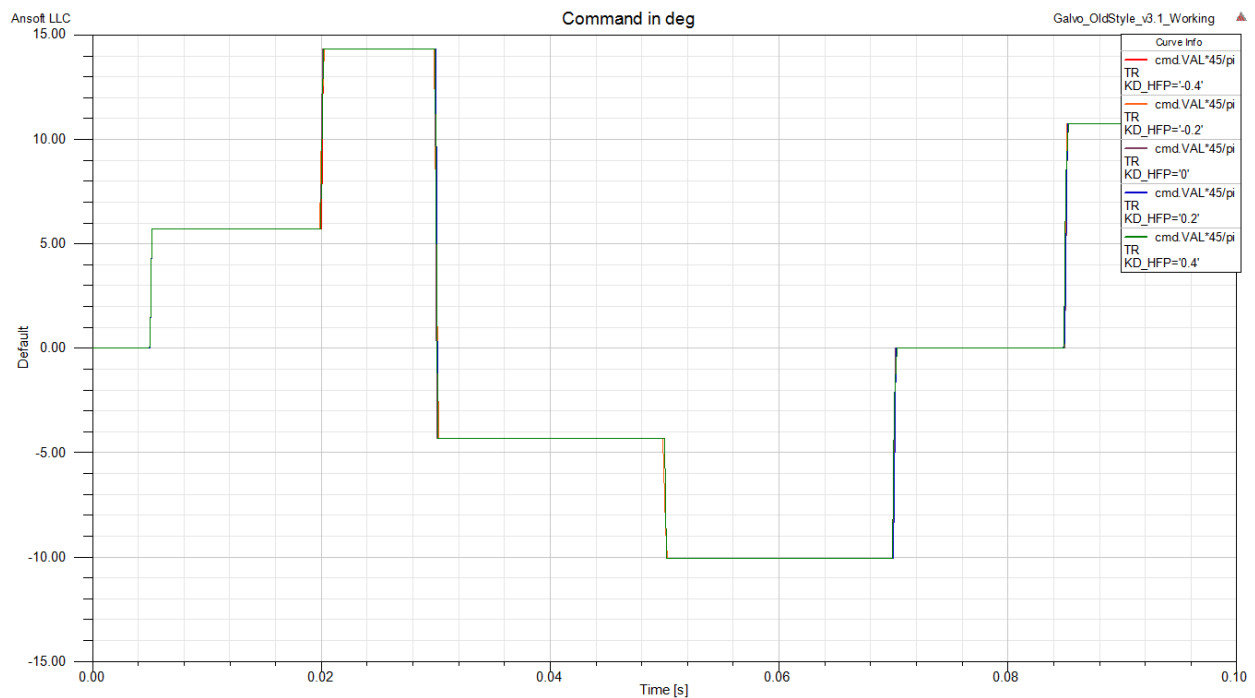


Abb. 5.14: Verlauf Sollwerte am Eingang des ERR\_SUM Blocks

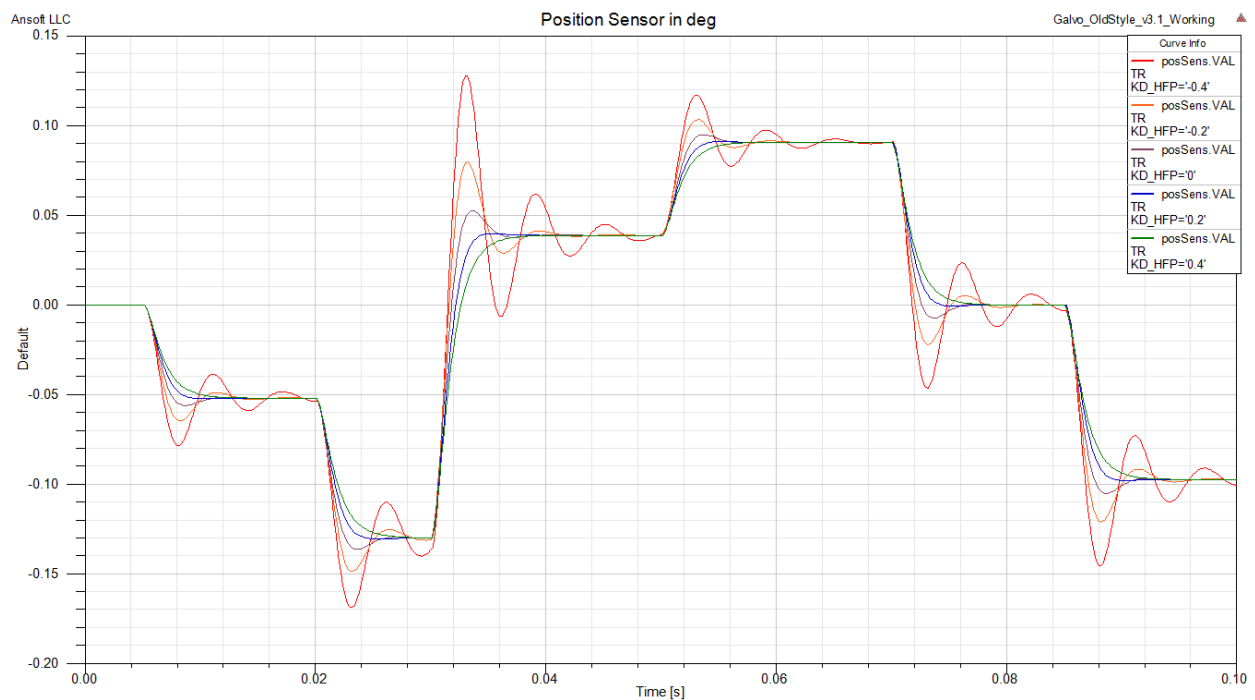
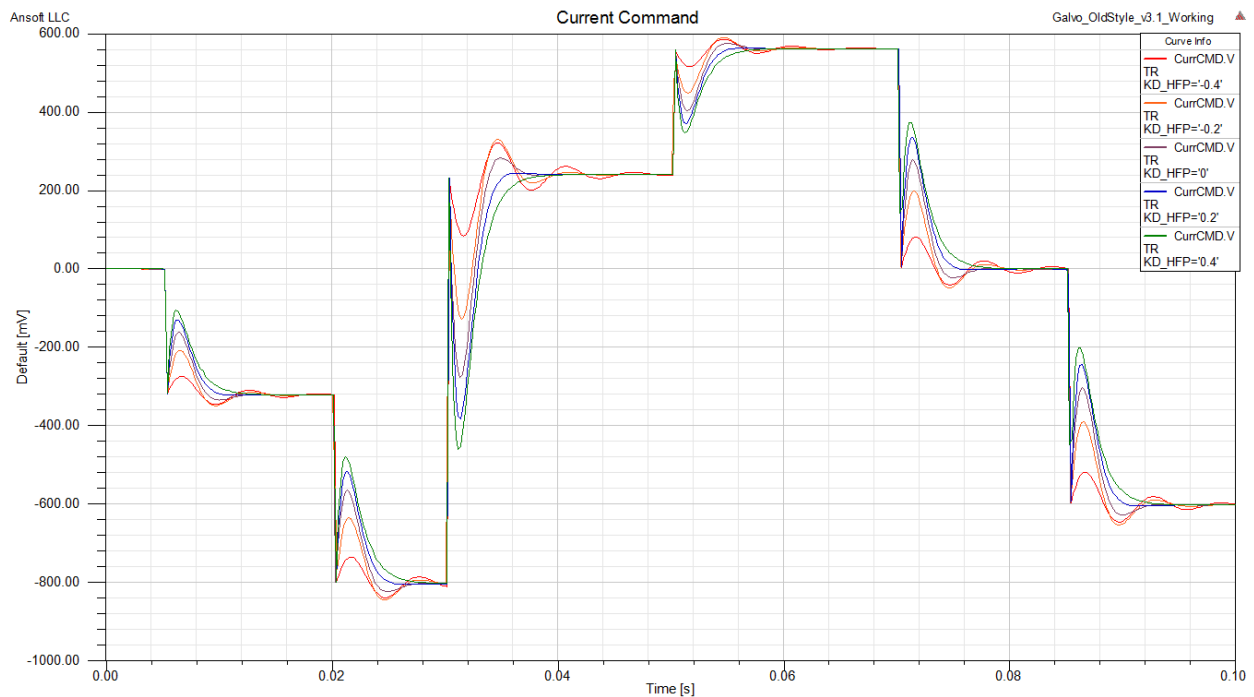
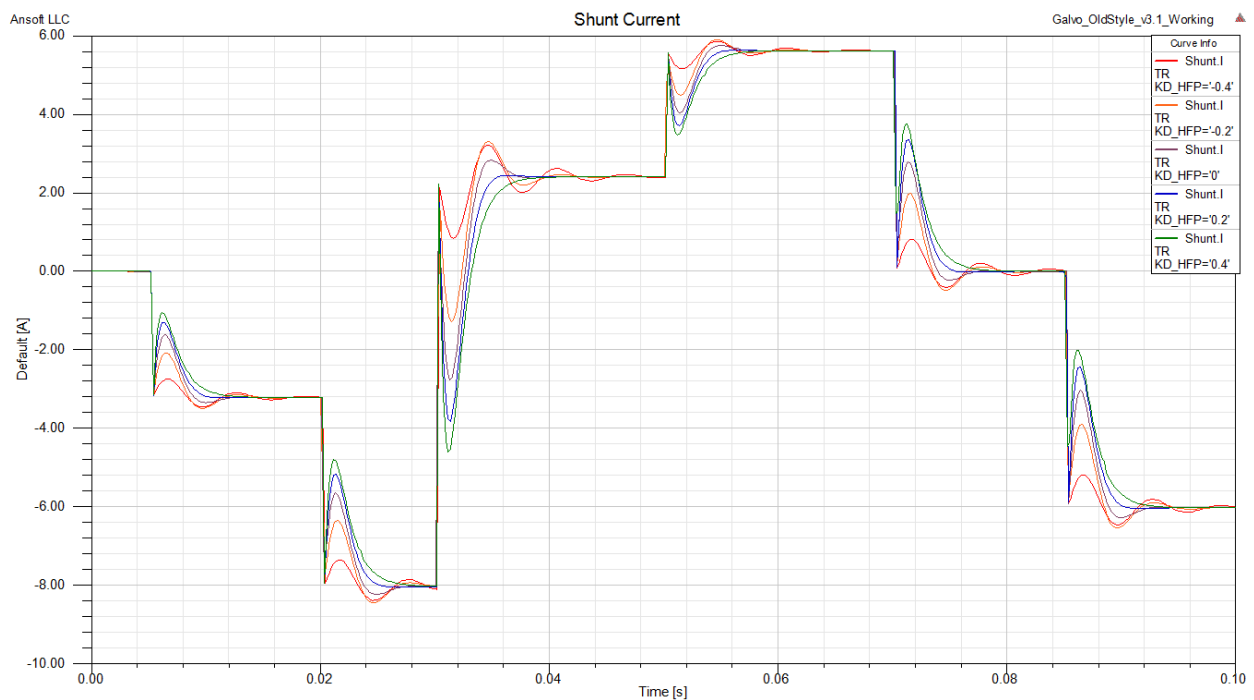


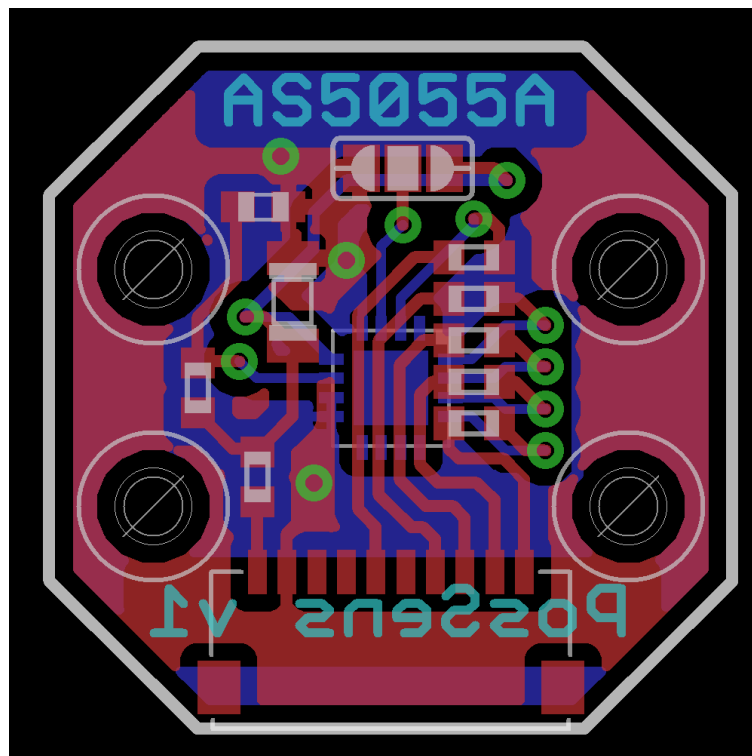
Abb. 5.15: Verlauf der Winkelposition am Ausgang des "posSens" Blocks



**Abb. 5.16:** *CurrentCommand, Ausgangsgröße des “Software-“ Reglers*



**Abb. 5.17:** *Wicklungsstrom im Mess- Shunt, Spannungsfall als Rückführgröße für den analogen, proportionalen Strom- Regler mit nachgeschalteter Leistungsendstufe*



**Abb. 5.18:** Platine mit magnetischem Drehencoder AS5055A als Winkelpositionssensor



