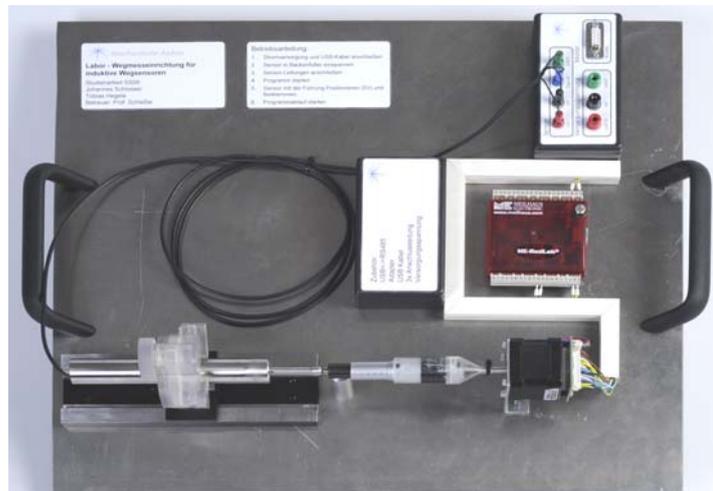




Dokumentation – Studienarbeit

Konstruktion, Aufbau und Test einer Labor-Wegmessvorrichtung für induktive Wegsensoren



Von: Tobias Hegele 25734, F6
Johannes Schlosser 26248, F6

Betreuer: Prof. Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. Edmund Schießle

Zeitraum: 24.03.2009 bis 03.07.2009

Inhalt

1	Aufgabenstellung	1
1.1	Konzept	1
1.2	Ziel	2
2	Einführung	3
2.1	Sensortechnik	3
2.1.1	Differenzialtransformator (LVDT)	3
2.1.2	Induktive Aufnehmer	4
2.2	Schrittmotor.....	6
2.3	Signalverarbeitung, Steuerung.....	7
2.3.1	Analoges Sensorsignal	7
2.3.2	Digitale Steuersignale für den Schrittmotor	7
3	Projekttablauf	8
3.1	Phasen, Meilensteine.....	8
3.2	Phasenablauf.....	9
3.3	Netzwerkplan	9
3.4	Meilensteintrendanalyse	10
4	Entwicklung	11
5	Komponenten	13
5.1	LVDT Sensor.....	13
5.2	USB- Messlabor.....	14
5.3	Schrittmotor.....	15
5.4	Laborwagen	15
5.5	Stereolithographie Teile	16
5.5.1	Backenfutter	16
5.5.2	Antriebsadapter	19
5.5.3	Prototypenbau	20
5.6	Schwalbenschwanzführung.....	21
5.7	Aufnahme Einbaumessschraube	21

5.8	Motorhalter	21
5.9	Grundplatte.....	21
6	Aufbau	22
6.1	Mechanisch.....	22
6.2	Elektrisch	23
7	Programmierung	25
7.1	Einarbeitung in LabView	25
7.2	Parametrierung.....	25
7.2.1	USB-Messlabor	25
7.2.2	Schrittmotor	26
7.3	Automatischer Messablauf	26
7.4	Struktogramm.....	27
7.4.1	Hauptprogramm	27
7.4.2	Unterprogramm „Start, Referenzpunktfahrt“	28
7.4.3	Makro1	28
7.5	Benutzeroberfläche.....	29
7.6	Graphische Darstellung	31
8	Untersuchung	33
8.1	Sensorsignal.....	33
8.2	Systemverhalten (Einschwingzeit).....	34
8.3	Messen der Positioniervorrichtung mit dem KMG	36
8.3.1	Positionsmessung mit KMG	36
8.3.2	Messen der Verbiegung bei einem Messablauf.....	38
9	Quellenangaben	41
10	Anhang	42
10.1	Programm Lab View.....	42
10.2	Excel Makro	50
10.3	Zeichnungen..... Fehler! Textmarke nicht definiert.	

1 Aufgabenstellung

Unsere Studienarbeit umfasst Konstruktion, Aufbau und Test einer Labor-Wegmesseinrichtung für induktive Wegsensoren. Es sollen Sensoren mit einem Messbereich von 25mm untersucht werden können. Das Positionieren soll mit Hilfe einer Einbaumessschraube und einem Schrittmotor erfolgen. Der Aufbau soll sich auf einem bereits vorhandenen Laborwagen befinden, für den eine passende Grundplatte zu konstruieren ist.

1.1 Konzept

Um einen Überblick der zu erledigenden Aufgaben zu bekommen, haben wir als erstes ein Konzept erstellt, in dem sämtliche Arbeitspakete übersichtlich dargestellt sind. Dies ist vor Beginn der Arbeiten wichtig damit die Studienarbeit zielgerichtet ablaufen kann und zum Schluss das gewünschte Ergebnis erzielt wird.

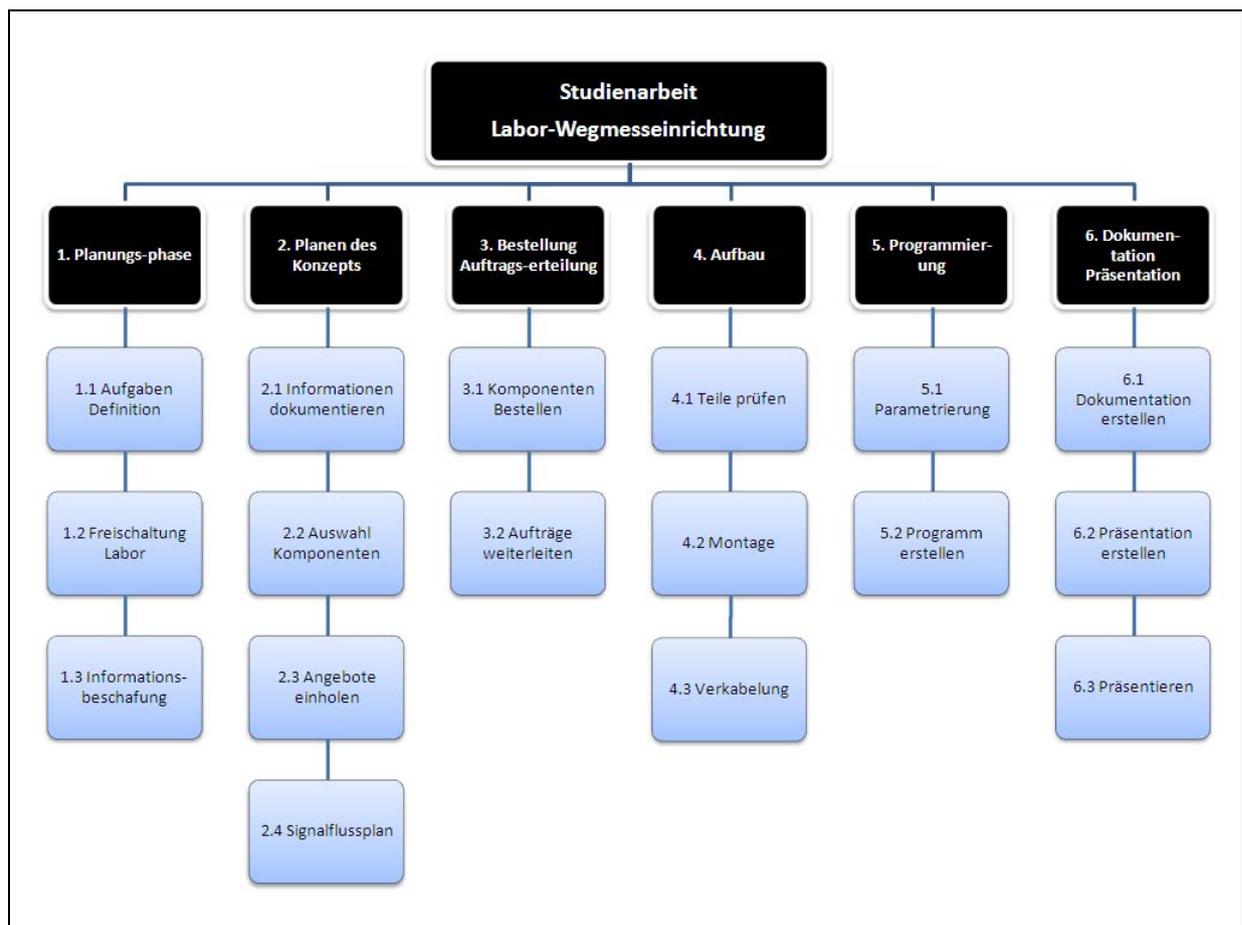


Abbildung 1.1 Konzept der Studienarbeit mit aufgegliederten Arbeitspaketen

1.2 Ziel

Mit der fertigen Messeinrichtung soll man möglichst einfach einen Sensor einspannen und anschließen können. Die Positionierung des Sensors, auf seine Nulllage, sollte möglichst unkompliziert erfolgen. Der Messablauf soll dann automatisch erfolgen und das Ergebnis schließlich in Form von 2 Diagrammen ausgegeben werden. Hier soll man die Sensorkennlinie und die Linearitätsabweichung im Verhältnis zum Messweg ablesen können. Hierdurch soll es möglich sein, eine Aussage über die Qualität des Sensors zu machen. Diese Resultate werden dann in einer Datei abgespeichert und archiviert, damit jede Messung sauber protokolliert werden kann. Die Arbeit ist schließlich zu dokumentieren und in einer kurzen Präsentation zusammen mit dem fertigen Aufbau vorzustellen.

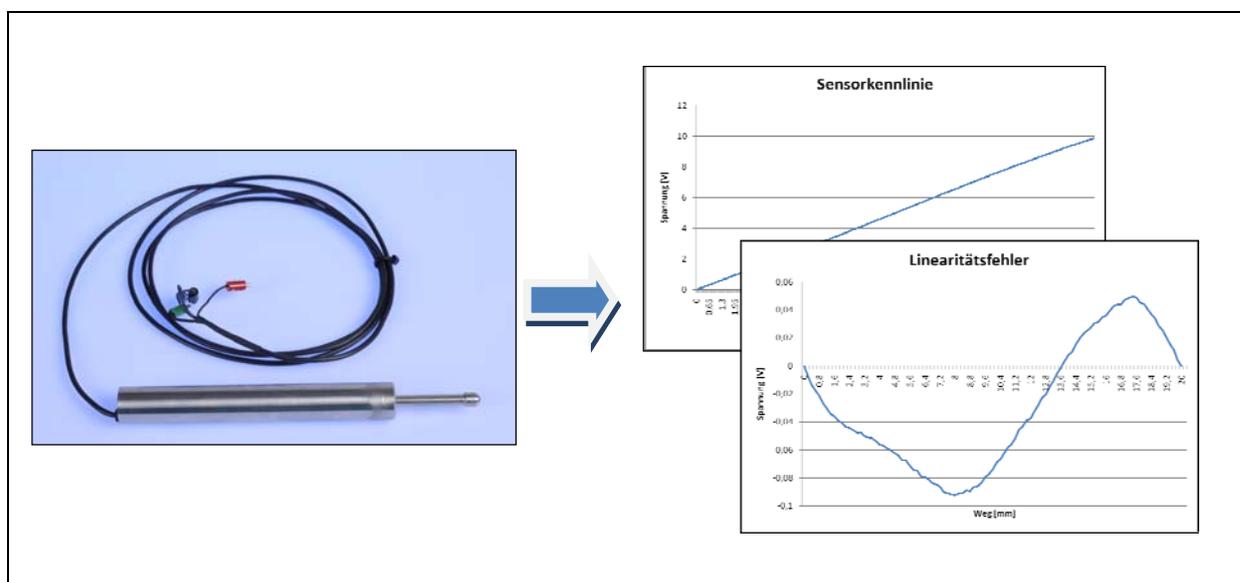


Abbildung 1.2 Aufgabe der Messvorrichtung

In Abbildung 1.2 ist die Aufgabe, die unsere Wegmessvorrichtung bewältigen soll, dargestellt. Dieser Vorgang sollte nicht mehr als 15 Minuten in Anspruch nehmen und dennoch eine zuverlässige Aussage liefern.

2 Einführung

2.1 Sensortechnik

2.1.1 Differenzialtransformator (LVDT)

Der Differenzial-Transformator stellt das zu messende Objekt in unserer Arbeit dar. Dies bedeutet, es

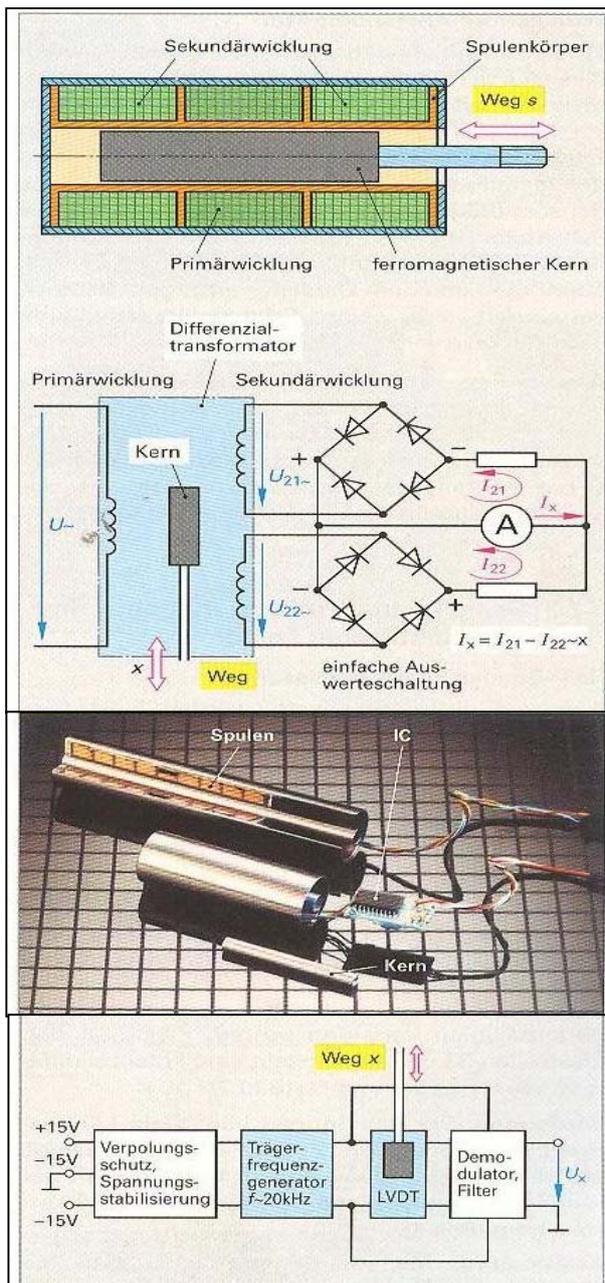


Abbildung 2.1 LVDT: Aufbau, Bild, Elektronik¹

wird ein weichmagnetischer Kern auf einem nichtmagnetischen Stab in dem Spulenkörper hin und her bewegt. Befindet sich der Kern nun in mechanischer Mittelstellung, ist die induzierte Spannung an den Sekundärspulen gleich groß. Wird der Kern nun ausgelenkt ändern sich die Beiden Spannungen.

Durch dieses Prinzip lassen sich thermische Effekte, welche gleichsinnig auf beide Spulen wirken, weitgehend kompensieren. Ebenso weist ein Differenzialaufbau, im Vergleich zum Einspulenaufbau, eine doppelt so große Messempfindlichkeit, bei doppeltem Messbereich und besserer Nichtlinearität auf. Die Auswertung der Induktivitätsänderung erfolgt meist bei einer Frequenz von 20kHz. Ebenfalls Bestandteil ist ein Betrag und Phasenabgleich zur Nullpunkteinstellung, ein Messverstärker und ein Demodulator für eine phasenrichtige Gleichrichtung, sowie einem Filter.

Die Gleichung des Sensors sieht wie folgt aus:

$$\tilde{u}_a(s, t) = -\omega \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot i_{Prim}^*(t) \cdot f(s)$$

Dieses Signal muss dann noch phasenrichtig gleichgerichtet werden.

Eine Messung von anderen Sensortypen mit dem gleichen Messbereich wäre ebenfalls möglich.

¹ Automatisierungstechnik, Prof. Schmid, Seite 227, 7. Auflage, 2006, Europa Lehrmittel

2.1.2 Induktive Aufnehmer

Mit der Anlage kann man auch Induktive Wegaufnehmer, mit Ein- und Differenzspule, nachmessen. Bei Verschiebung des Kerns ändert sich die Induktivität, welche man über einen Trägerfrequenzverstärker messen kann. Damit man solche Sensoren besser verstehen kann, sind nachfolgend die Herleitungen, der physikalischen Formeln. Dabei wurde untergliedert in Sensoreffekt, Einspulensystem und Differenzspulensystem.

Sensoreffekt²

Für die Induktivität gilt:

$$L = L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k) \quad (1)$$

Für die Induktivitätsänderung gilt:

$$dL = \frac{\delta L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k)}{\delta \mu_r} d\mu_r + \frac{\delta L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k)}{\delta A_k} dA_k + \frac{\delta L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k)}{\delta l_k} dl_k \quad (2)$$

Für die magnetische Permeabilität gilt:

$$\mu_r = \mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}) \quad (3)$$

Für die Permeabilität gilt:

$$d\mu_r = \frac{\delta \mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H})}{\delta \vec{\sigma}} d\vec{\sigma} + \frac{\delta \mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H})}{\delta \vec{H}} d\vec{H} \quad (4)$$

(4)->(2):

$$dL = \frac{\delta L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k)}{\delta \mu_r} \left(\frac{\delta \mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H})}{\delta \vec{\sigma}} d\vec{\sigma} + \frac{\delta \mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H})}{\delta \vec{H}} d\vec{H} \right) + \frac{\delta L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k)}{\delta A_k} dA_k + \frac{\delta L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k)}{\delta l_k} dl_k \rightarrow$$

$$dL = \underbrace{\frac{\delta L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k)}{\delta \vec{\sigma}} d\vec{\sigma}}_{\text{Magnetoelastischer Effekt}} + \underbrace{\frac{\delta L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k)}{\delta \vec{H}} d\vec{H}}_{\text{Magnetfeld Effekt}} + \underbrace{\frac{\delta L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k)}{\delta A_k} dA_k}_{\text{Kernquerschnitts-änderung}} + \underbrace{\frac{\delta L(\mu_r(\vec{\sigma}, \vec{H}), A_k \cdot l_k)}{\delta l_k} dl_k}_{\text{Kernlängen-änderung}} \quad (5)$$

Magnetoelastischer Effekt

Magnetfeld Effekt

Kernquerschnitts-änderung

Kernlängen-änderung

festkörperphysikalischer Effekt

geometrischer Effekt

² Vorlesung Sensorik Grundlagen, Prof. Schießle, SS09, HTW Aalen

Einspulen- Längsankersystem³

Es gilt:

$$L = n^2 \frac{1}{R_{\text{mges}}} = \text{const.} \frac{1}{l_{L0}}$$

Für kleine Wegänderungen gilt:

$$\Delta L \approx \frac{dL}{dl_{L0}} \cdot \Delta l_{L0}$$

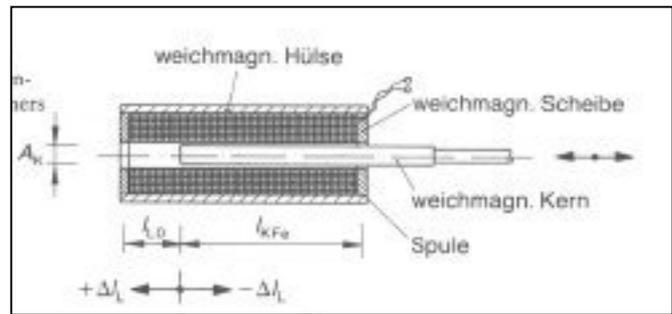


Abbildung 2.2 Einspulensystem⁴

(Linearisierung), weiter gilt

$$\Delta L \approx \frac{d}{dl_{L0}} \cdot \left(\frac{n^2 \cdot \mu_0 \cdot A_L}{l_{L0}} \right) \Delta l_{L0} = n^2 \cdot \mu_0 \cdot A_L \cdot \frac{d}{dl_{L0}} l_{L0}^{-1} \cdot \Delta l_{L0} = n^2 \mu_0 A_L \frac{1}{l_{L0}} \frac{1}{l_{L0}} \cdot \Delta l_{L0}$$

$$\Delta L \approx -\frac{\Delta l_{L0}}{l_{L0}} L_0$$

Relative Induktivitätsänderung

$$\frac{\Delta L}{L_0} \approx -\frac{\Delta l_{L0}}{l_{L0}} \quad \text{für kleine } \Delta l_{L0} !$$

(Mess-)Empfindlichkeit

$$\frac{\Delta L}{\Delta l_{L0}} \approx -\frac{L_0}{l_{L0}} \quad \text{für kleine } \Delta l_{L0} !$$

Zweispulensystem (Differenzsystem)³

$$\Delta L = L_2 - L_1$$

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta L_2}{L_{02}} - \frac{\Delta L_1}{L_{01}} \approx \left(-\frac{\Delta l_{L02}}{-l_{L02}} \right) - \left(-\frac{\Delta l_{L01}}{+l_{L01}} \right) = \frac{\Delta l_{L02}}{l_{L02}} + \frac{\Delta l_{L01}}{l_{L01}}$$

Mit $l_{L02} = l_{L01} = l_{L0}$ und $\Delta l_{L02} \approx \Delta l_{L01} = \Delta l_{L0}$ (für kleine Δ) gilt:

$$\frac{\Delta L}{l_0} \approx 2 \cdot \frac{\Delta l_{L0}}{l_{L0}} \quad \text{Empf. Differenzsystem}$$

Weiter gilt:

$$\Delta l_{L0\text{ges}} = (\Delta l_{L02}) - (-\Delta l_{L01})$$

Mit $\Delta l_{L02} \approx \Delta l_{L01} = \Delta l_{L0}$ (für kleine Δ) wird

$$\Delta l_{L0\text{ges}} = 2 \cdot \Delta l_{L0} \quad \text{Messbereich Differenzsystem}$$

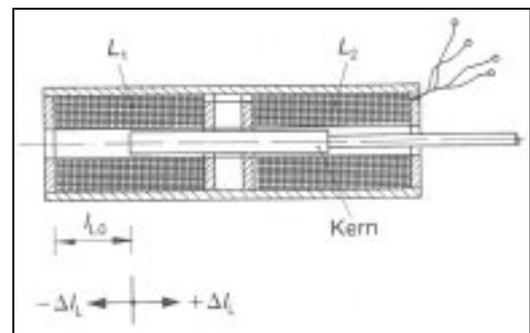


Abbildung 2.3 Differenzsystem⁴

³ Vorlesung Sensorik Grundlagen, Prof. Schießle, SS09, HTW Aalen

⁴ Induktive Aufnehmer; Sensortechnik und Messwertaufnahme; Prof. Schießle, 1. Auflage, 1992

2.2 Schrittmotor

Mit Hilfe eines Schrittmotors soll unsere Positioniervorrichtung angetrieben werden. „Schrittmotoren sind eine Sonderbauform der Synchronmaschine mit ausgeprägten Statorpolen. Die charakteristische Eigenschaft von Schrittmotoren ist das schrittweise Drehen des Rotors und damit der Motorwelle um den Schrittwinkel α , verursacht durch ein sprungförmig weitergeschaltetes Stator magnetfeld.“⁵

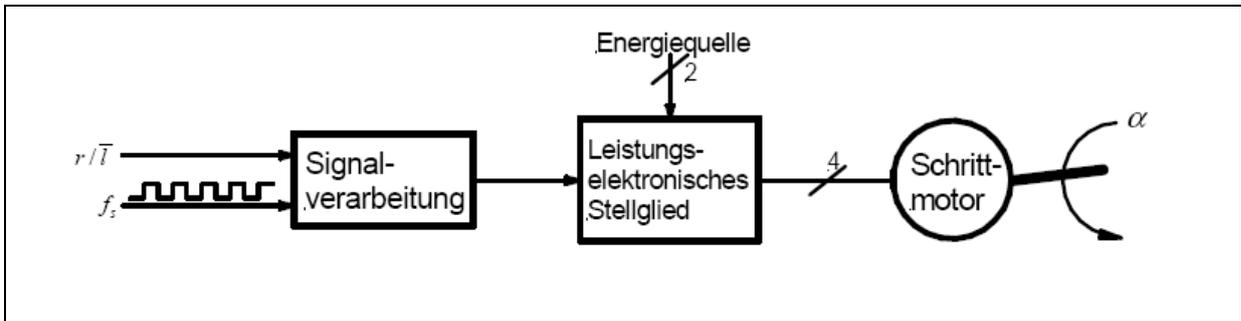


Abbildung 2.4 Aufbau eines Schrittmotors⁶

Wie man im oberen Blockschaubild erkennen kann besteht das Antriebssystem nicht nur aus dem Motor, sondern auch aus der Signalverarbeitung und der Leistungselektronik. Im einfachsten Fall gibt man ein Richtungssignal und einen Takt vor, und die Signalverarbeitung schaltet dann die Transistoren des Stellgliedes in der richtigen Abfolge. Wie schon der Name sagt wird der Motor bei dem Takt jeweils um einen Schritt weitergeschaltet. Die Schrittweite hängt von der Bauform des Motors ab. Zudem können, Betriebsarten Voll-, Halb-, und Microschrittbetrieb, die Schrittweite beeinflussen.



Abbildung 2.5 Schrittmotor⁷

⁵ Dierk Schröder; Elektrische Antriebe – Grundlagen; Kleinantriebe; 3.Auflage; Springer Verlag; 2007 Seite 481

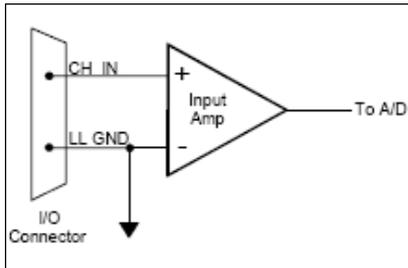
⁶ Heinrich Steinhart; Elektrische Antriebe 1; Schrittmotor; SS2009; Hochschule Aalen; Seite 162

⁷ Schrittmotor; Wikipedia; <http://de.wikipedia.org/wiki/Schrittmotor> 2008

2.3 Signalverarbeitung, Steuerung

2.3.1 Analoges Sensorsignal

Der Sensor gibt eine Spannung 0-10V, nahezu proportional zum Weg, aus. Um das Sensorsignal mit der notwendigen Auflösung erfassen zu können benötigen wir einen analogen Eingang dessen AD-Wandler mit mindestens 12Bit arbeitet. Des weiteren wird auf die Genauigkeit geachtet, damit unser



Messergebnis nicht all zu fehlerhaft ist.

Hier wird die Spannungsdifferenz zwischen dem zu messenden Signal und der Masse gemessen. Anschließend wandelt der A/D Wandler die Spannung in eine digitale Information um, die unsere Software weiterverarbeiten kann.

Abbildung 2.6 Analoger Eingang

2.3.2 Digitale Steuersignale für den Schrittmotor

Um den Schrittmotor ansteuern zu können muss man ihm die Informationen: Freigabe, Drehrichtung und den Takt, für das Ausführen des nächsten Schritts, in binärer Form zur Verfügung stellen. Dies bedeutet, dass wir 3 digitale Ausgänge benötigen, welche die Spannung 5V (high Pegel) ausgeben können.

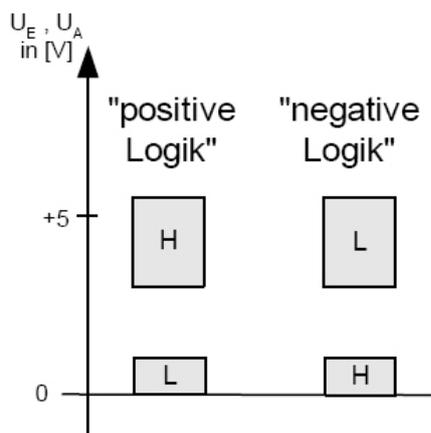


Abbildung 2.7 Logikpegel⁸

⁸ Logikpegel, Skript Technische Informatik Grundlagen, Prof. Baur, HTW Aalen, WS 07/08

3 Projekttablauf

3.1 Phasen, Meilensteine

Damit unsere Studienarbeit termingerecht abgegeben werden kann, ist es wichtig einen Meilensteinplan anzufertigen, da so der aktuelle Stand besser ersichtlich ist. Man kann so sehen ob man die Termine einhalten kann, oder ob man das Arbeitstempo erhöhen muss.

	Bezeichnung	Erwartetes Ergebnis	Plan-Termin	Ist-Termin	Gründe für die Abweichung
1	Planungsphase	Aufgabenstellung definiert, Freischaltung Labor, Informationen Dokumentiert, Internetrecherche abgeschlossen	16.03.09	23.03.09	Termin Absprache
2	Erstellung des Konzepts	Informationen zusammentragen, Komponenten ausgewählt, Angebote eingeholt, Aufbau entwickelt, Funktionsprinzip dokumentieren, Signalflussplan erstellen, Platinen entworfen	30.03.09	28.03.09	
3	Bestellung, Auftragserteilung (Komponenten)	Benötigte Komponenten bestellt und zu fertigende Teile in Auftrag gegeben	17.04.09	20.04.09	Unterschrift von Betreuer nachtragen
4	Mechanischer Aufbau	Teile sichtgeprüft, Toleranzen kontrolliert, Messvorrichtung Aufgebaut	21.04.09	25.04.09	Teile zu spät geliefert
5	Verkabelung	Platinen fertiggestellt; Sensor, USB-Karte, Schrittmotor angeschlossen	22.04.09	27.04.09	s.o.
6	Programmierung	Schrittmotorsteuerung und USB-Karte parametriet, Programm für automatischen Ablauf geschrieben	13.05.09		
7	Dokumentation, Präsentation	Dokumentation erstellt und korrigiert, Präsentation vorgetragen	03.06.09		

Abbildung 3.1 Meilensteinplan

3.4 Meilensteintrendanalyse

Hier kann man gut Verzögerungen erkennen und deren Einfluss auf andere Aufgaben sehen. Man erkennt deutlich eine Verzögerung in der ersten Kalenderwoche die sich fast bis zum Ende hin auswirkt. Durch intensives Arbeiten konnte sie jedoch ausgeglichen werden.

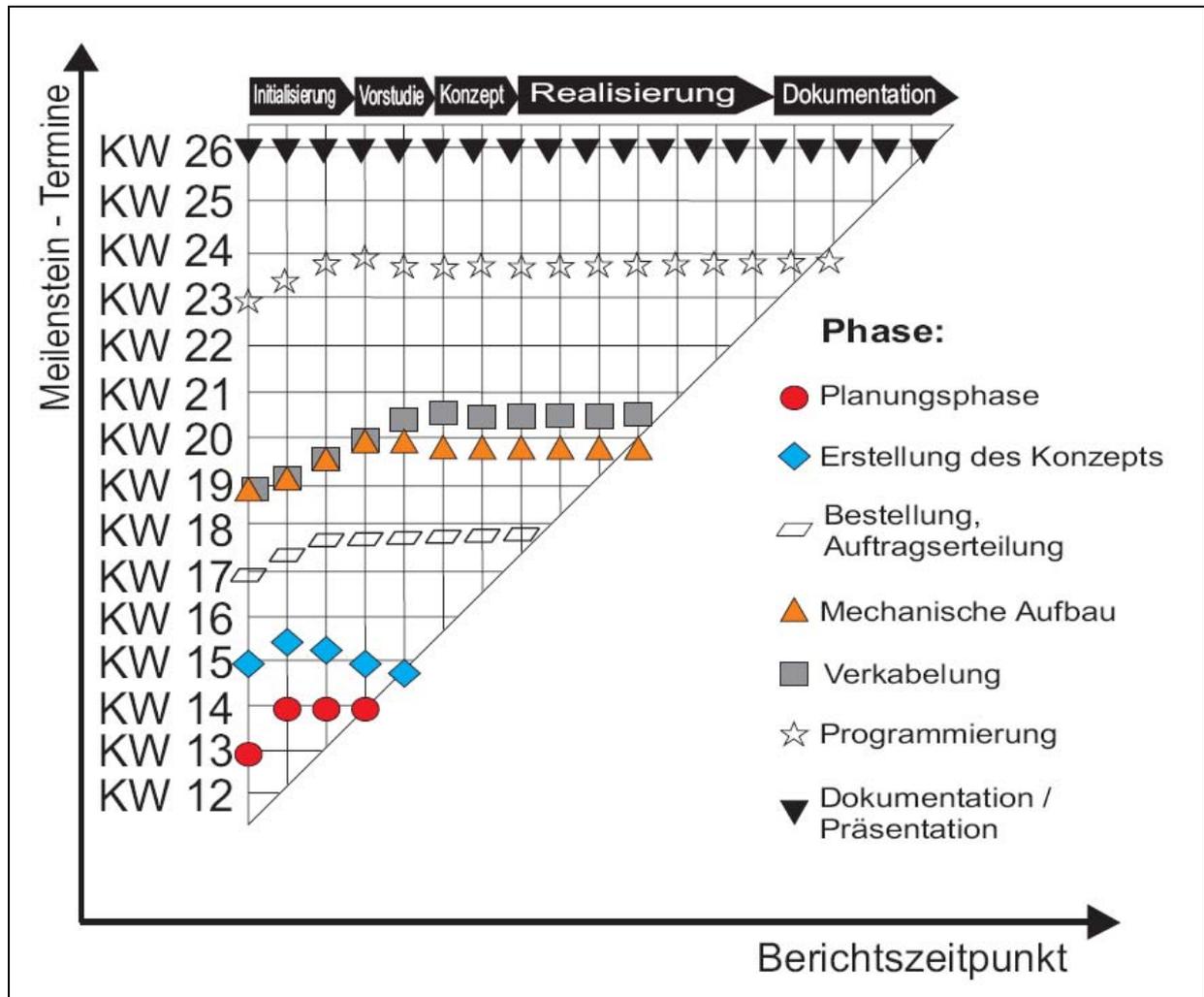


Abbildung 3.4 Meilensteintrendanalyse

Durch die gründliche Projektplanung sollte es im Großen und Ganzen keine größeren Probleme geben. Kleiner Komplikation gibt es immer, aber die Wahrscheinlichkeit, dass das Gesamtprojekt gefährdet ist, wurde hiermit minimiert.

4 Entwicklung

Zu Beginn unserer Studienarbeit mussten wir als aller erstes ein Konzept erstellen, um eine grobe Vorstellung davon zu bekommen, wie unsere Labor – Wegmessvorrichtung für induktive Wegsensoren aufgebaut, funktionieren und aussehen soll. Hierzu überlegten wir uns wie so eine Messung vonstatten gehen könnte. Klar war, dass wir den Sensor auf seinem ganzen Messbereich abfahren und dabei möglichst viele Messpunkte einlesen müssen, um eine exakte Aussage über das Verhalten des Sensors machen zu können. Wir überlegten uns wie wir diesen ersten Ansatz verwirklichen können und wenden hierzu die Technik des Brainstormings an. Zuerst befassen wir uns mit dem Thema Fixieren/Spannen des Sensors.

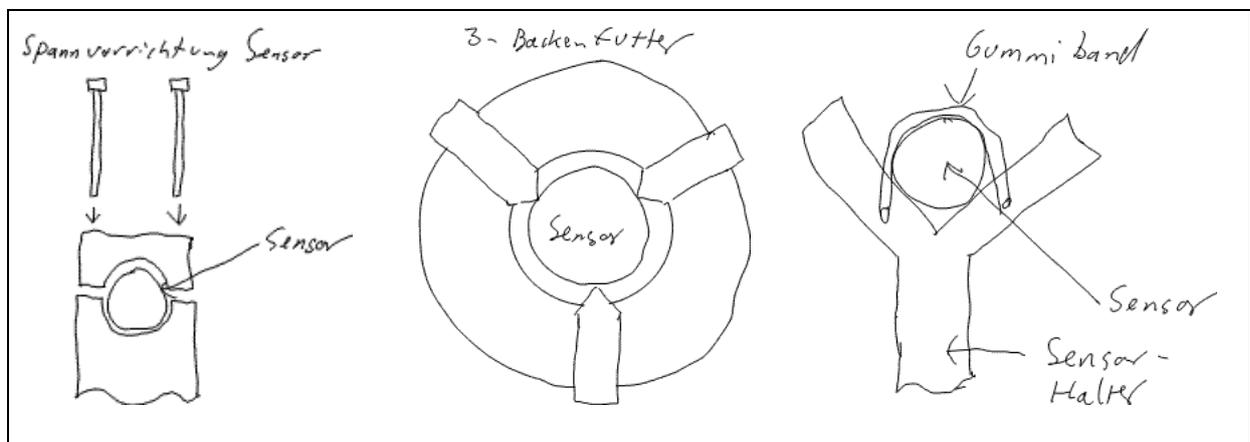


Abbildung 4.1 Brainstorming Skizzen Spannvorrichtung für Sensor

Wir entschließen uns für das 3-Backenfutter, da es mit diesem möglich ist verschiedene Durchmesser mittig zu spannen. Dies erfüllt auch das Ziel unsere Wegmessvorrichtung möglichst flexibel zu gestalten.

Weiteres Kopfzerbrechen bereitet uns die Frage: „wie und mit was fahren wir den Sensor ab, um eine möglichst hohe Genauigkeit und Linearität zu erreichen. Bei dieser Problematik machen wir uns auch wieder das Brainstorming zunutze:

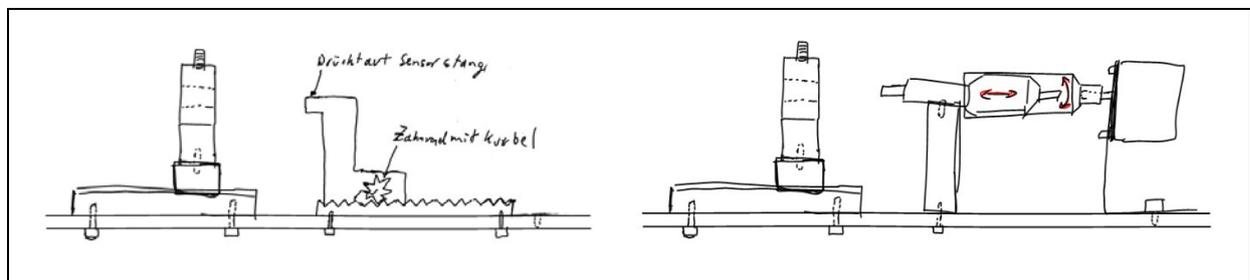


Abbildung 4.2 Brainstorming Skizzen Abfahreinrichtung

Bei der ersten Idee soll ein Schlitten über eine feine Zahnstange Zahn für Zahn vorgestellt werden, somit kann man die Position über die Zahnabstände bestimmen. Bei der Zweiten Idee wollten wir die Positionen über eine Gewindestange ermitteln, da die Steigung der Spindel bekannt ist und der Weg über den Drehwinkel berechenbar ist. Hier haben wir uns für Variante 2 entschieden, da bei dieser eine bessere Genauigkeit erreicht werden kann.

Im nächsten Schritt werden diese Ideen detaillierter weiterentwickelt und die dafür passenden Komponenten definiert und ausgesucht. Für das Spannen des Sensors haben wir uns wie oben schon genannt für das 3-Backenfutter entschieden, um flexibel zu sein. Da die Sensoren, nicht nur im Durchmesser sondern auch in der Länge variieren können, muss das Backenfutter längs der Achse verschiebbar sein. Dies wollen wir mit einer Schwalbenschwanzführung, die an jeder gewünschten Position klemmbar ist, realisieren. Zum Abfahren des Sensors brauchen wir eine Spindel deren Steigung klein, sehr genau und linear ist. Diese Kriterien erfüllt eine Einbaumessschraube voll und ganz. Für die genaue Drehwinkleinstellung wählen wir einen Schrittmotor, da bei diesem der Winkel exakt, über die Einzelschritte, bestimmt werden kann.

Die Komponenten sind somit gewählt, einziges Problem stellte noch die Verbindung zwischen Schrittmotor und Einbaumessschraube dar, da die Messschraube während sie gedreht wird gleichzeitig längs in Achsrichtung wandert. Hierzu muss ein Antriebsadapter konzipiert werden der dieses Problem eliminiert. Die einzige Möglichkeit ist eine formschlüssige Verbindung, in radialer Richtung, von der Motorwelle mit 5 mm Wellendurchmesser auf den Rändel der Messschraube. In axialer Richtung muss die Messschraube frei gleiten können.

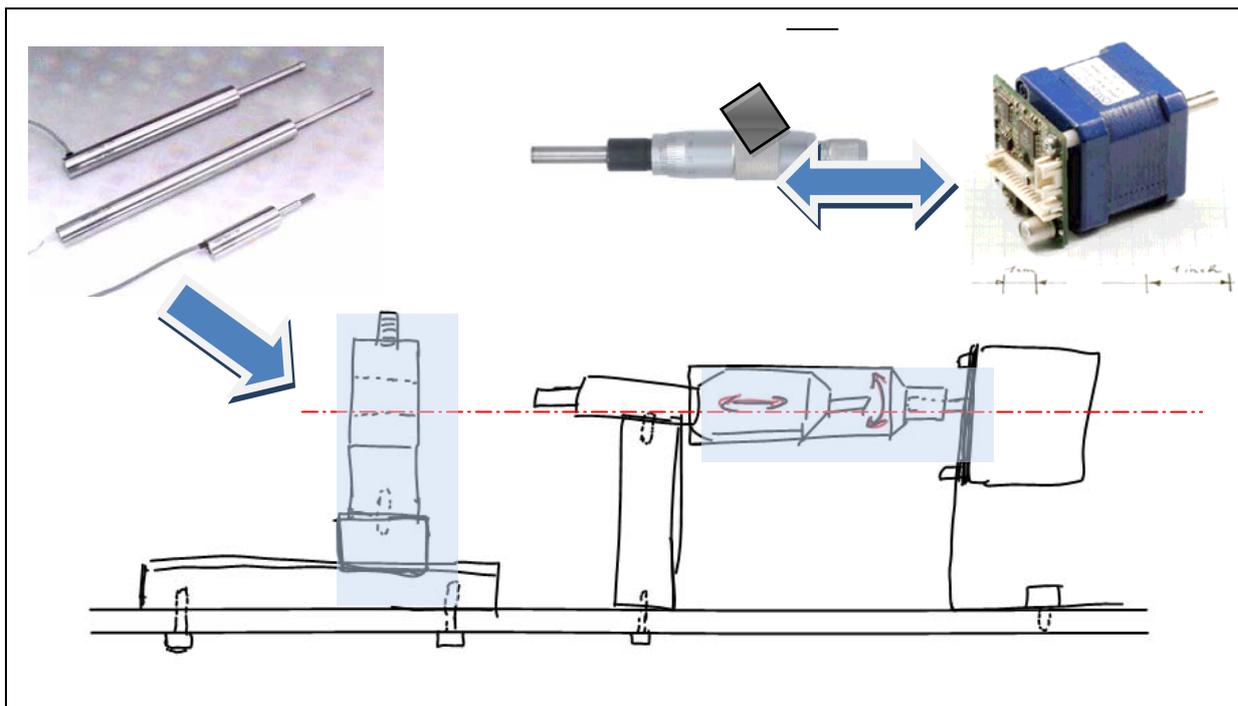


Abbildung 4.3 Skizze Fertiges Konzept Spann und Positioniervorrichtung

5 Komponenten

5.1 LVDT Sensor



Bei dem Sensor den wir als Testobjekt nehmen, um unsere Messeinrichtung zu testen, handelt es sich um einen Standard-LVDT-Wegaufnehmer der Firma disynet. Der MTN/EUS10-10, den wir verwenden, verfügt über eine integrierte Elektronik, die uns eine Ausgangsspannung von 0 – 10 V liefert. So können wir den Sensor direkt an unser USB-Messlabor anschließen.

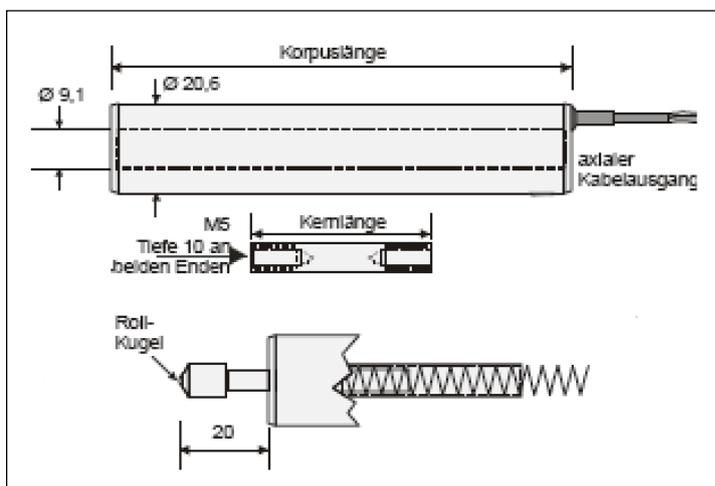
Abbildung 5.1 LVDT-Sensor mit integrierter Elektronik

Unser Sensor (MTN/EUS10-10) hat folgende Nenndaten:

- Messbereich: 0 – 20 mm
- Versorgungsspannung: 14 – 24 V DC
- Sensibilität: 488,3 mV/mm
- Linearität: max. Fehler $\pm 0,5\%$

Anschlüsse:

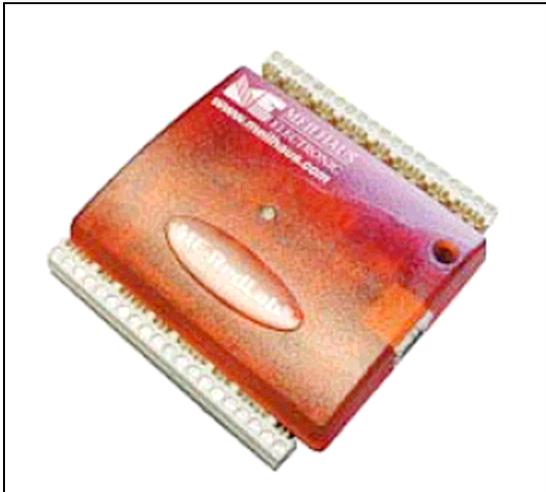
- Rot: Versorgungsspannung (14 – 24 V)
- Blau: Versorgungsspannung (0V)
- Grün: Ausgang (0 – 10 V)



Den Sensor den wir verwenden, verfügt über eine eingebaute Elektronik. Es ist des weiteren eine Feder mit Rollkugel integriert.

Abbildung 5.2 LVDT Varianten

5.2 USB- Messlabor



Wir haben uns bei unserem Projekt für das USB-Messlabor 1408FS von ME-RedLab entschieden. Es hat eine A/D-Auflösung von 14 Bit und zusätzliche Digital-I/Os. Der Eingangsbereich der analogen Eingänge beträgt ± 20 V.

Die mitgelieferte Baustein-Bibliothek für LabVIEW ermöglicht eine einfache Implementierung in das zu schreibende Programm.

Das Blockschaltbild unten zeigt uns den inneren Aufbau des Messlabors.

Abbildung 5.3 14 Bit Messlabor 1408FS

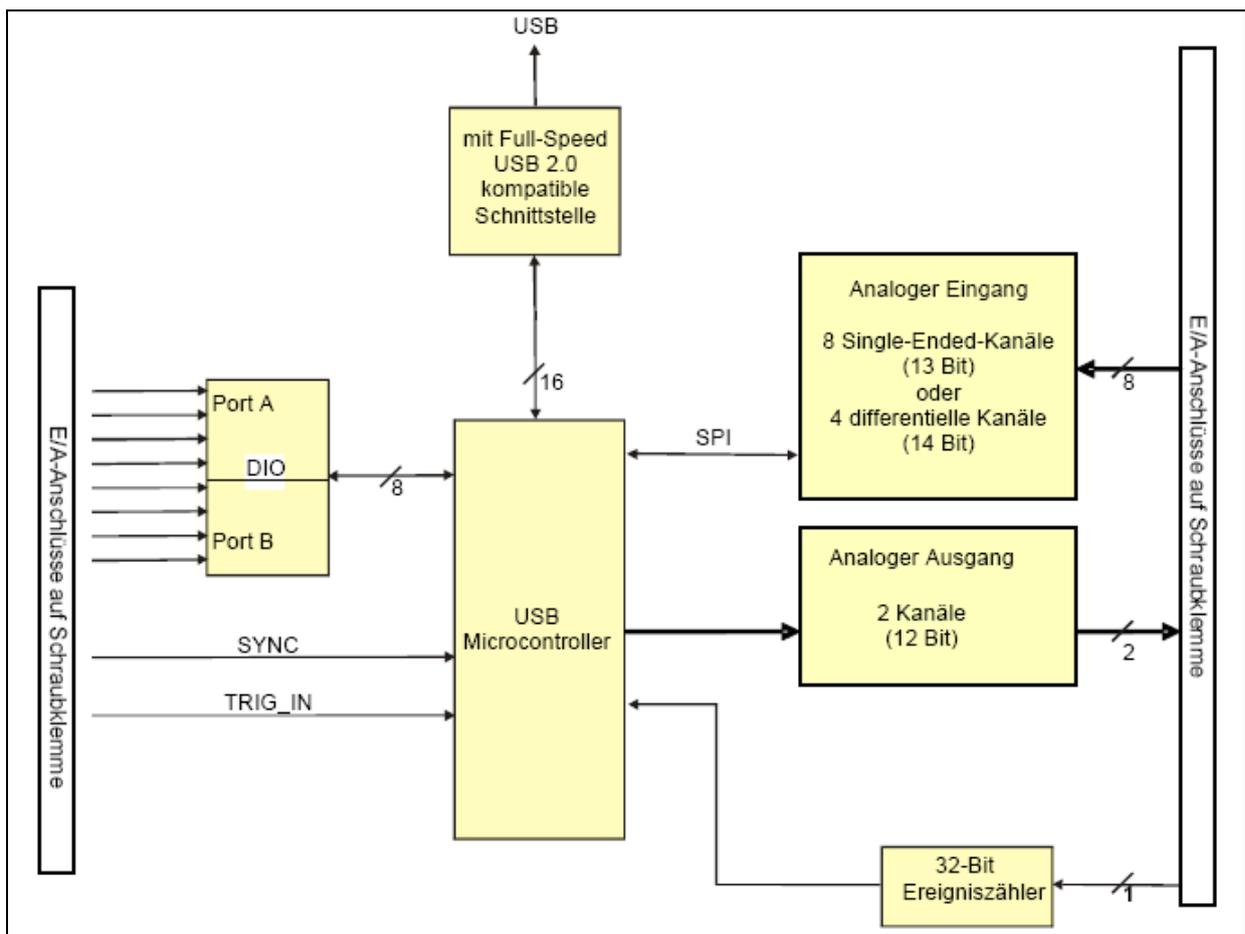


Abbildung 5.4 Funktionsdiagramm des RedLab 1408

5.3 Schrittmotor

In unserem Fall ist die Elektronik zum Ansteuern bereits in der Motorbaugruppe integriert, was uns die Entwicklung und den Aufbau erspart. Die Kombination einer Steuerung mit einem darauf abgestimmten

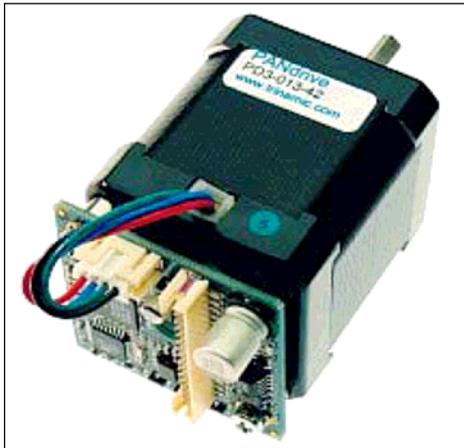


Abbildung 5.5 PANdrive, Schrittmotor

Motor vereinfacht die Auswahl der Antriebskomponenten und bietet die Möglichkeit sehr kompakte dezentralisierte Lösungen aufzubauen. Bei dem Schrittmotor mit intelligenter Steuerung mit seriellem Interface handelt es sich um einen 42 mm bipolaren 2-Phasen-Hybridschrittmotor mit einem Schrittwinkel von 1,8° (200 Schritte pro Umdrehung). Die erreichbare Drehzahl liegt typisch bei bis zu 500 U/min bei 24 V Betriebsspannung. Der Anschluss erfolgt über JST-Steckverbinder, ein Kabelsatz mit offenen Enden ist im Lieferumfang enthalten.“⁹

Nenndaten des Schrittmotors:

- Halte-Moment: 0,33 Nm
- Nenndrehzahl: 500 U/min
- Nennstrom: 0,5 A
- Schnittstelle: RS485
- Wellen-Ø: 5 mm
- Motorlänge: 41,1 mm
- Betriebsspannung: 7 – 28 V/DC

5.4 Laborwagen



Abbildung 5.6 Laborwagen

Der Laborwagen dient als Ständer der verschiedenen Aufbauten. Muss nun eine andere Gruppe an ihrer Studienarbeit oder dergleichen arbeiten, können die Grundplatten einfach ausgetauscht werden. So kann z.B. die Platte im Lagerfach (unten) herausgehoben und oben zur Bearbeitung eingelegt werden. Der Laborwagen besteht aus Aluminiumkonstruktionsprofil und kann somit leicht umgebaut und erweitert werden. Dies bringt enorme Vorteile bei der Flexibilität im Einsatz des Wagens.

⁹ Produktbeschreibung, PANdrive, Conrad Elektronik, 2009

5.5 Stereolithographie Teile

„Rapid Prototyping (deutsch schneller Prototypenbau) ist ein Verfahren zur schnellen Herstellung von Musterbauteilen ausgehend von Konstruktionsdaten.“¹⁰

5.5.1 Backenfutter

Um unseren und andere LVDT Sensoren spannen zu können gilt es ein Spannmittel herzustellen, welches verschiedene Spanndurchmesser erlaubt und trotz veränderlichen Durchmessern sicher, zentrisch spannen kann. Wir haben uns für ein Dreibackenfutter entschieden. In diesem sollen verschiedene Sensoren mit unterschiedlichen Durchmessern immer sicher, zentrisch gespannt werden können. Dieses Backenfutter besteht aus 8 Teilen, den Backen 1,2,3, einem Gehäuse das als Ständer des ganzen Backenfutters dient, einer Spiralscheibe, welche die Backen verschiebt, einer Ritzelwelle, welche die Spiralscheibe antreibt, einem Deckel der das Gehäuse, welches die Spiralscheibe und die Ritzelwelle beinhaltet, verschließt und einem Handrad, das mit der Ritzelwelle verbunden ist. Durch Drehung des Handrades wird die Konstruktion angetrieben.

- **Spiralscheibe**

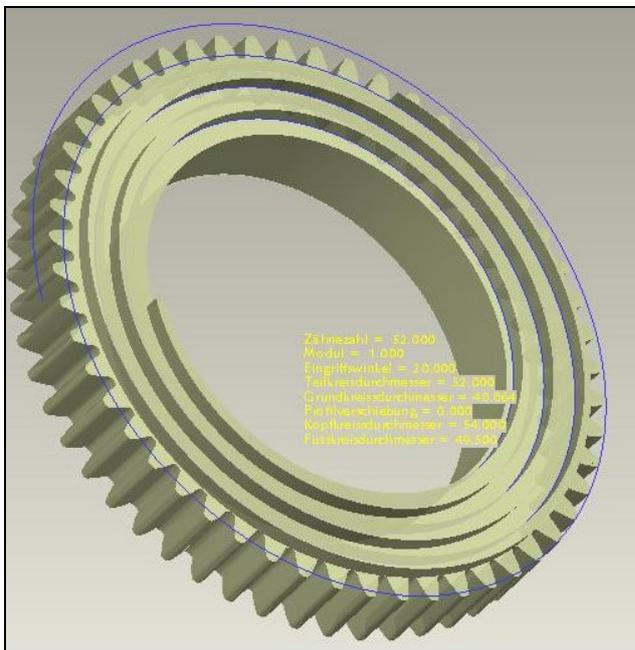


Abbildung 5.7 Spiralscheibe

Die Spiralscheibe ist das Herzstück des Backenfutters sie wandelt die rotatorische Bewegung welche vom Handrad kommt in eine translatorische Bewegung der Backen um. Die Spiralscheibe hat außen eine Evolventverzahnung um ein sauberes abrollen der Verzahnung ohne „hakeln“ oder „rupfen“ gewährleisten zu können. Die Verzahnung bestehend aus 52 Zähnen in Modul 1. Auf einer Planseite der Scheibe ist eine Spirale mit einer Steigung von 3mm pro Umdrehung. Bei gleich bleibendem Eingangsdrehmoment wird über diese Steigung die Übersetzung und somit die Spannkraft des Backenfutters bestimmt. Die Backen machen demnach in unserem Fall 3mm Weg pro Umdrehung der Spiralscheibe.

Je kleiner die Steigung gewählt wird, umso größer ist die Spannkraft des Futter. Die Spiralscheibe wird über den inneren Durchmesser zentriert.

¹⁰ Wikipedia, <http://de.wikipedia.org/wiki/Rapid-Prototyping>, 2009

- **Backen**

Die Backen dienen zum Spannen der Sensoren. Sie werden von der Spiralscheibe angetrieben. Bei der Konstruktion der Backen musste beim Spitzenwinkel darauf geachtet werden dass dieser kleiner 120° ist, da es sonst nicht möglich ist das Backenfutter ganz zusammenzufahren. Besondere Aufmerksamkeit musste bei der Antriebsverzahnung erbracht werden, da diese nicht wie erwartet aus einem Radius besteht, sondern aus zwei verschiedenen Radien bestehen muss, da sich die Zähne

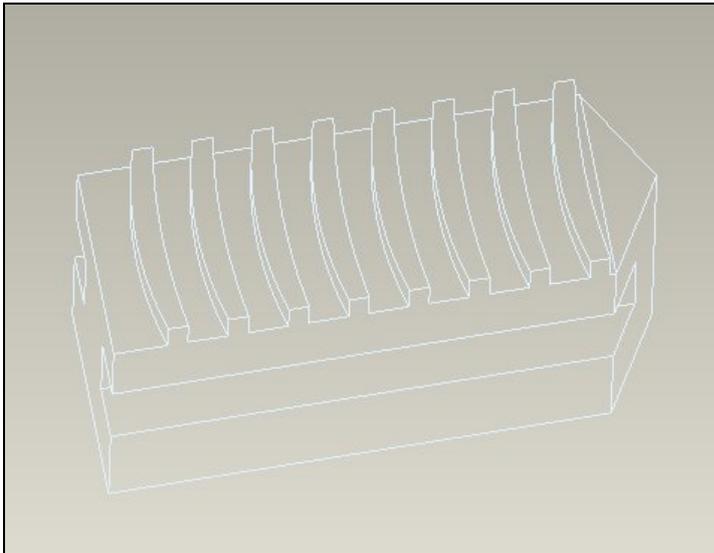


Abbildung 5.8 Backen

sonst in der Spiralscheibe verklemmen würden. Daher muss der innere Radius größer als der größte der Spirale auf der Spiralscheibe sein, und der äußere Radius muss kleiner als der kleinste der Spirale auf der Spiralscheibe. Für das Backenfutter werden 3 dieser Backen benötigt, jedoch muss die Verzahnung von Backen 2 um 1 mm verschoben werden und die Verzahnung von Backen 3 nochmals um 1 mm, da die Backen 120° versetzt sind und die Steigung der Spirale genau 3 mm ist.

- **Ritzelwelle**

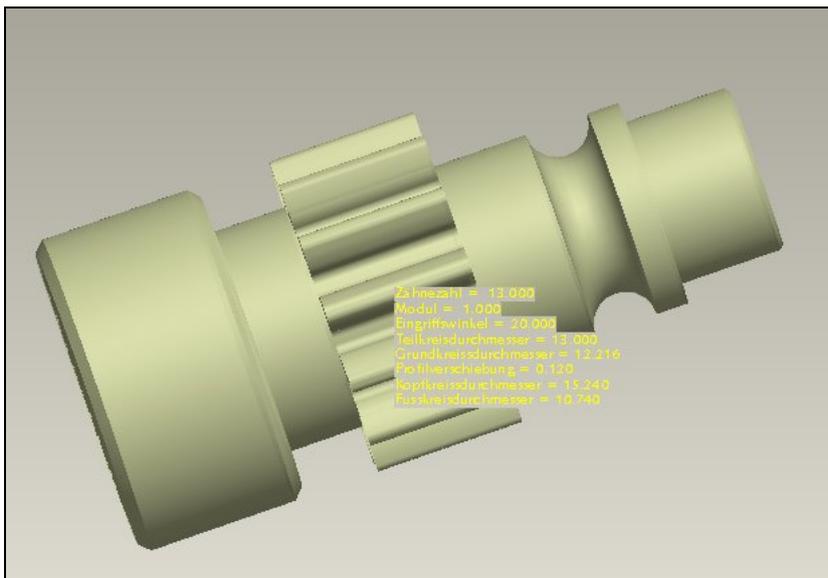


Abbildung 5.9 Ritzelwelle

Die Ritzelwelle dient zum Antrieb der Spiralscheibe. Die Welle ist mit dem Handrad fest verbunden und besitzt wie die Spiralscheibe eine Evolventenverzahnung bestehend aus 13 Zähnen in Modul 1. Diese Verzahnung greift nun in die der Spiralscheibe ein und treibt somit die Spiralscheibe mit einem Untersetzungsverhältnis von 4:1 an. Durch eine Halbrundnut am

Wellenhals wird die Position der Ritzelwelle mittels Zylinderstift fixiert, dieser wird am Deckel durch ein Positionierungsbohrung geschoben und verhindert somit eine translatorische Bewegung der Ritzelwelle.

- **Handrad**

Das Handrad ist für den Antrieb der Ritzelwelle zuständig für besseren Grip ist am Außendurchmesser eine Rändelung damit das „auf und zumachen“ des Backenfutters leichter fällt und man mit den Fingern nicht abrutscht. Zum Verschließen des ganzen Backenfutters ist der Gehäusedeckel zuständig er sorgt ebenfalls für die Richtige Position der Komponenten. Somit sind diese fixiert und haben einen festen Abstand zu den Backen

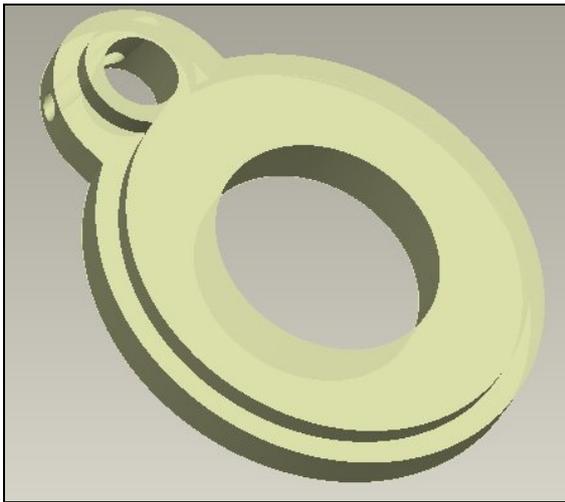


Abbildung 5.10 Gehäusedeckel

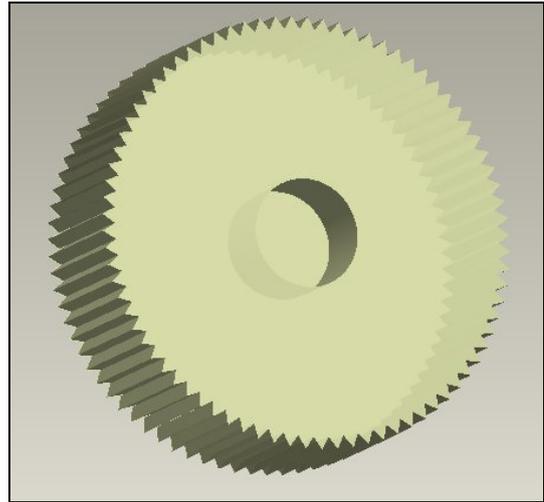


Abbildung 5.11 Handrad

- **Gehäuse**

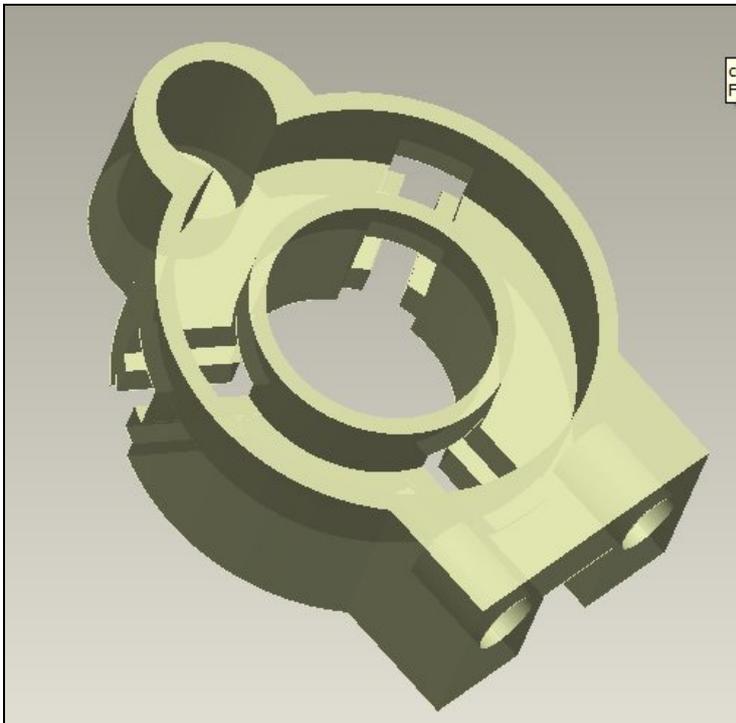


Abbildung 5.12 Gehäuse

Das Gehäuse dient als Ständer des Ganzen. Es beinhaltet sämtliche Führungen der Teile. Über einen Zentrierring in der Mitte ist die Spiralscheibe zentriert. Die Backen gleiten in den Backenführungen die jeweils um 120° im Gehäuse versetzt sind. Diese geben die genaue Position ohne Freiheiten zuzulassen. Möglich ist nur eine Bewegung in Normalrichtung zum Mittelpunkt. Der Fuß des Backenfutters wurde mit Bohrungen, zur Befestigung, versehen. In diese Bohrungen werden später dann Gewindeeinsätze aus Metall geschraubt, damit später nach oftmaligem montieren und

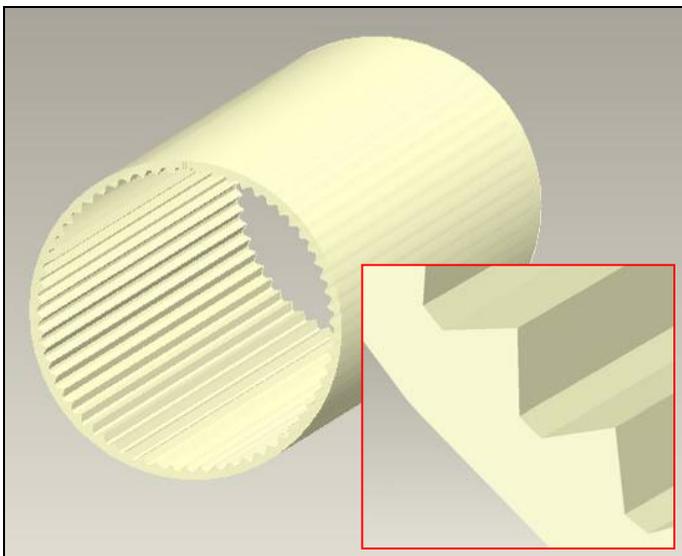
demontieren das Gewinde immer funktionstüchtig ist. Die Ritzelwelle wird ebenfalls in einer Passbohrung geführt und positioniert.

5.5.2 Antriebsadapter

Ebenso soll eine Adapterhülse zum Antreiben der Messschraube durch einen Schrittmotor hergestellt werden.

Hierzu muss eine Formschlüssige Verbindung von der Motorwelle mit 5 mm Wellendurchmesser auf den Rändel der Messschraube sicher gestellt werden. Der Formschluss darf nur rotatorisch erfolgen. In axialer Richtung muss die Messschraube frei beweglich sein, das heißt gleiten können. Durch die Harzbecken, welches uns zur Verfügung steht, ist eine maximale Bauhöhe von 43mm möglich. Aus diesem Grund war es notwendig den Adapter in 2 Komponenten zu aufzuteilen. Diese Teile sind die Hülse und die Aufnahme.

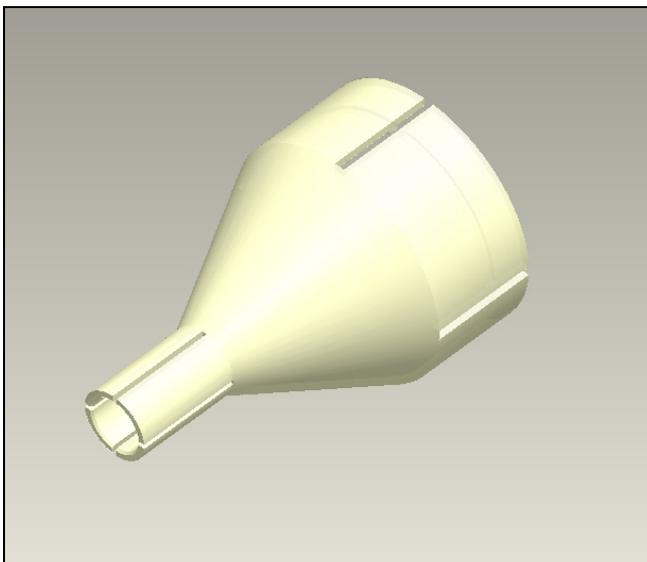
- **Hülse**



Die Hülse besitzt 62 Zähne, wie der Rändel der Messschraube. Da sie sich ohne Problem auf der Messschraube in axialer Richtung bewegen lassen soll, werden 3 Prototypen mit unterschiedlichem Innendurchmesser angefertigt. Die Innendurchmesser sind je 0,1mm, 0,2mm und 0,3mm größer als die Messschraube. Die Zahnform ist im gegensatz zur Messschraube nicht abgerundet, sie soll nach dem Fertigungsprozess näher betrachtet werden.

Abbildung 5.13 Antriebsadapter, Hülse

- **Aufnahme**



Die Aufnahme hat auf der einen Seite einen Innendurchmesser von 5mm, für die Motorwelle und 20,7mm, für die Hülse, auf der anderen. Die Trichterförmige Konstruktion soll vermeiden, dass eine zusätzliche Stützkonstruktion benötigt wird, des weitern passt das Ende der Messschraube besser hinein was uns Platz auf dem Messaufbau erspart. Die 4 Schlitzte auf jeder Seite sollen es ermöglichen, dass sich die Aufnahme flexibel dem Durchmesser der Motorwelle und dem der Hülse anpassen kann.

Abbildung 5.14 Antriebsadapter, Aufnahme

5.5.3 Prototypenbau

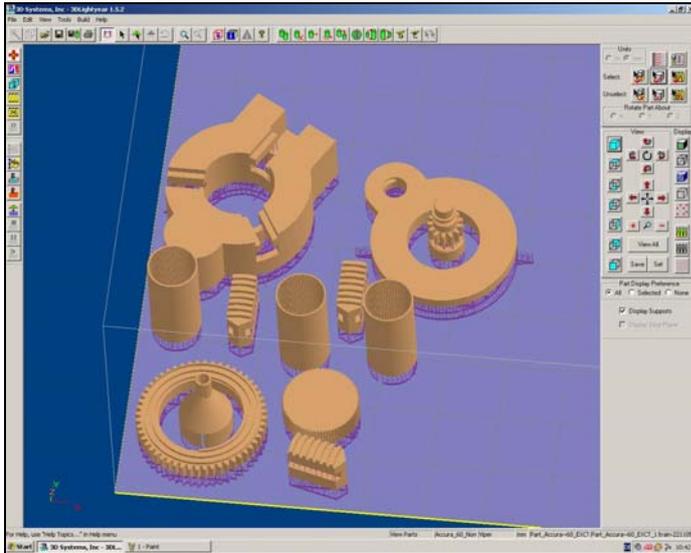


Abbildung 5.15 Screenshot: 3D Lightyear Gruppe F

Die .bff – Datei, welche im Lightyear erzeugt wurde, wird nun auf die Anlage geladen. Danach kann der Fertigungsprozess gestartet werden. Die Stereolithographieanlage Viper Si40 der Firma Protocam, welche uns hier zur Verfügung steht, arbeitet nach dem UV Photopolymerisationsverfahren. Bei diesem Verfahren wird ein Epoxidharz durch einen Laserstrahl ausgehärtet. Durch die sehr geringe Laserstrahlbreite von nur 0,075mm ist es möglich, auch sehr filigrane Bauteile zu fertigen. Die kleinste Wandstärke bei normal auflösendem Harz

(SI-40) beträgt ca. 0,1mm. Die Auflösung der Einzelschicht kann bis auf ein Minimum von 25µm Dicke reduziert werden. Dieses Verfahren wird heutzutage hauptsächlich für den Prototypenbau, für Kleinserien und Urmodelle für Silikonformen und Rapid Tools eingesetzt.

Nach Beendigung des Fertigungsprozesses muss das Bauteil mit Aceton und Isopropanol gründlich gereinigt und die Stützkonstruktion entfernt werden. Zum Schluss wird das/die Bauteil/e im Nachvernetzungsstrahl mit UV – Licht bestrahlt. Hiermit wird dafür gesorgt, dass das Harz komplett aushärtet.

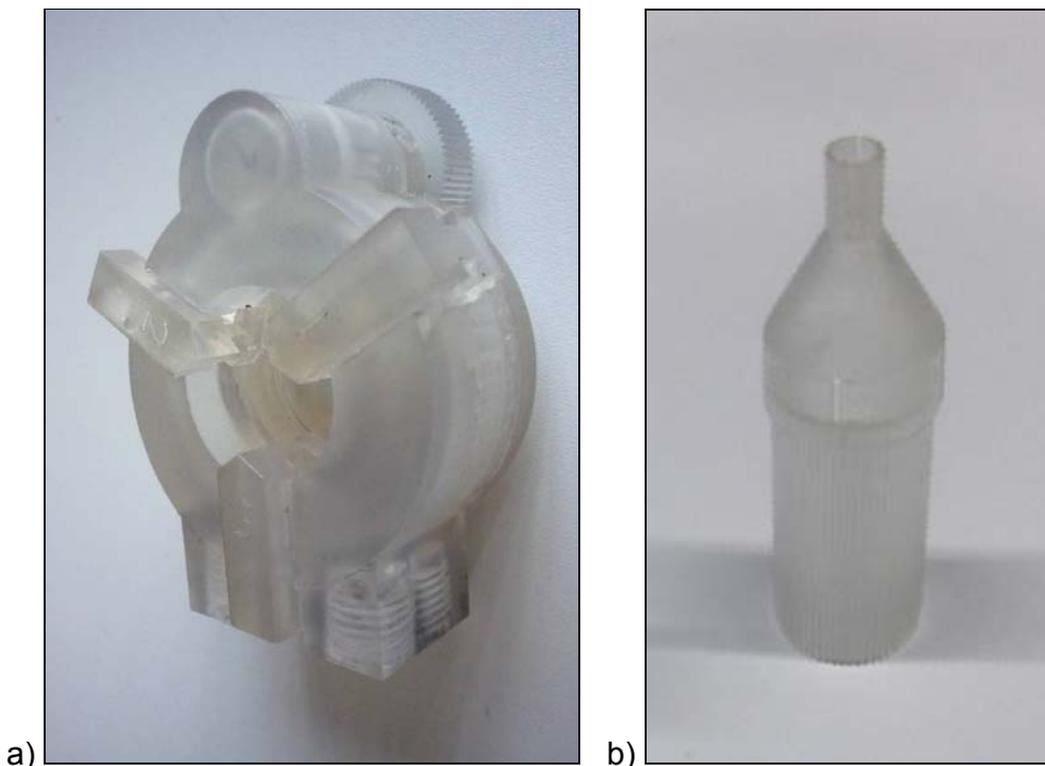


Abbildung 5.16 a) Fertiges Backenfutter; b) Antriebsadapter

5.6 Schwalbenschwanzführung

Die Schwalbenschwanzführung wird zur Positionierung des Sensors, welcher im Backenfutter eingespannt ist, benötigt. Das Backenfutter ist hierbei mit dem Schlitten der Führung, der sich in jeder Position festklemmen lässt, verbunden. Diese Art der Führung ist äußerst spielarm, was bei dieser Anwendung Voraussetzung ist. Durch die 60° Flanken und die optimale Einpassung, ist die Führung in alle Richtungen orthogonal zur Verschiebungsachse nahezu spielfrei. Durch festklemmen des Schlittens, mittels Klemmschraube, ist die Position fest und konstant. Um ein Verklemmen bzw. Fressen der Führung vorzubeugen, wurde als Werkstoff S235JR gewählt, da sich z.B. Aluminium bei geringen

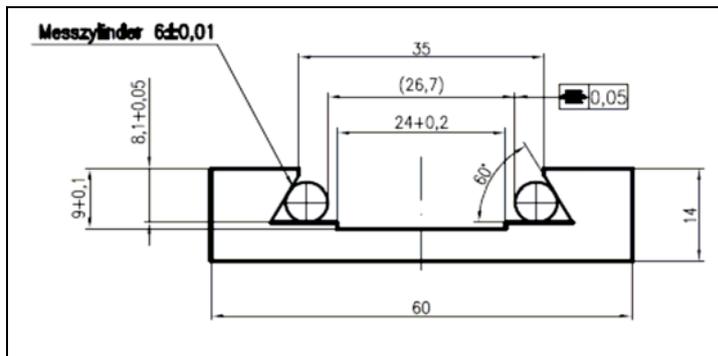


Abbildung 5.17 Schwalbenschwanzführung

Spaltmaßen gerne festsetzt und verkeilt.

Um den optimalen Lauf der Führung gewährleisten und der Korrosion vorbeugen zu können wurden die Führungsflächen mit Maschinenbettbahnöl eingeölt. Alle anderen Flächen wurden durch Lackieren vor Korrosion geschützt.

5.7 Aufnahme Einbaumessschraube

Die Aufnahme der Einbaumessschraube trägt zur Genauigkeit des späteren Messergebnisses bei. Aus diesem Grund wurde diese sehr stabil und verwindungssteif konstruiert. Sie besteht aus Aluminium um eventuelle Wärmeeinflüsse schnell weggleiten zu können. Die Einbaumessschraube ist durch einen Gewindestift mit der Aufnahme fest verbunden. Durch dieses Konstruktionskonzept sollen Verbiegungen weitest möglich reduziert werden. Die Zeichnung der Aufnahme und der folgenden Komponenten befinden sich im Anhang.

5.8 Motorhalter

Der Motorhalter besteht aus einem 2 mm Blech welches um 90° gebogen ist. Die kurze Seite ist auf der Grundplatte verschraubt, die lange mit der vorderen Stirnseite (Wellenausgangsseite) des Schrittmotors. Der Schrittmotor ist durch diese Konstruktion nicht sehr verbiegungssteif aufgehängt und kann somit bei eventuellen stick-slip-Effekten des Antriebsadapters nachgeben. Somit wird einem Druck auf die Einbaumessschraube vorgebeugt, was der Messgenauigkeit zugute kommt.

5.9 Grundplatte

Die Grundplatte ist der Rahmen der ganzen Wegmessenrichtung. Auf ihr werden alle Komponenten befestigt. Deshalb sind einige Anforderungen an die Grundplatte gestellt. Sie hat 5 mm Stärke, um genügend Stabilität zu bieten, da sonst das Messergebnis durch eventuelle Verbiegungen verfälscht werden würde. Die Grundplatte ist aus Aluminium um Wärmeeinflüsse schnell weggleiten zu können. Somit werden Verbiegungen durch punktuelle Erwärmungen reduziert.

6 Aufbau

6.1 Mechanisch

Beim Aufbau der Positioniervorrichtung ist besonders darauf zu achten, dass die Messschraube und der Schrittmotor möglichst genau zueinander ausgerichtet sind, da sonst das Drehen der Messschraube erschwert wird.

Der Antriebsadapter und die Rändel der Messschraube werden mit Vaseline eingestrichen. Dies verbessert die Laufruhe der Vorrichtung und ermöglicht ein ruhiges Gleiten in axialer Richtung. Des Weiteren wird der Antriebsadapter mit Sekundenkleber auf die Motorwelle geklebt, damit kein Schlupf durch die Ratsche der Messschraube entstehen kann. Zusätzlich sichert eine Schelle den Antriebsadapter auf der Motorwelle.

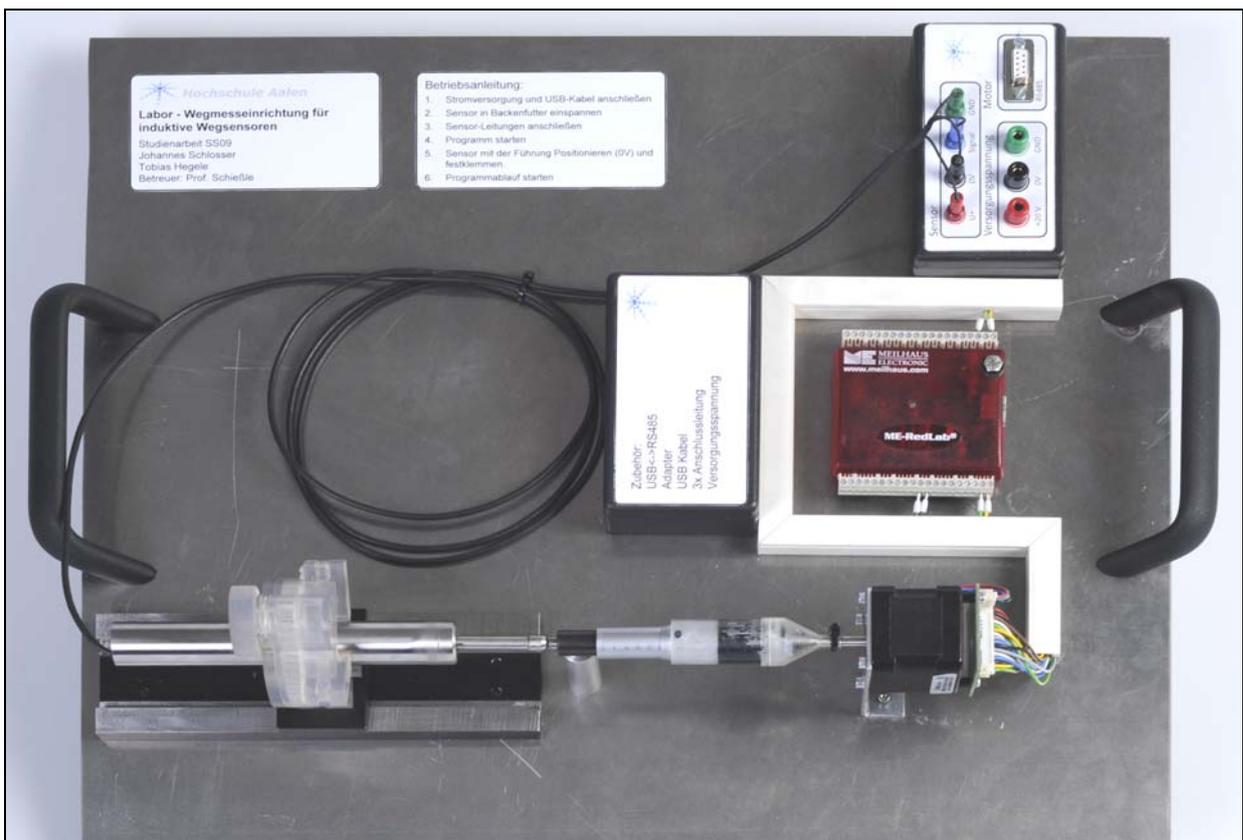


Abbildung 6.1 Aufgebaute Messvorrichtung

Ebenfalls ist darauf zu achten, dass die Schwalbenschwanzführung in einer Linie fluchtend zur Positioniervorrichtung aufgebaut ist, um eine Messabweichung durch Winkelfehler zu eliminieren. Da sich dieser Fehler mit Hilfe des Cosinus beschreiben lässt, ist er ein Fehler 2. Ordnung und kann bei einer sauber durchgeführten Ausrichtung vernachlässigt werden. Befestigt wird die Schwalbenschwanzführung durch vier M5 - Schrauben auf der Grundplatte.

Das Backenfutter wird über zwei Schrauben mit dem Schlitten, der Schwalbenschwanzführung, verbunden. Das Backenfutter muss dabei genau ausgerichtet sein. Aufgrund der Verschraubung mit dem Schlitten ist das Backenfutter entlang der Achse der Führung frei positionierbar. Nun ist die Möglichkeit gegeben, den Induktiven Wegmesssensor auf Nullstellung zu positionieren, was für die Messung unumgänglich ist.

Die beiden Handgriffe an der Seite dienen dazu, die Messvorrichtung herauszunehmen, um sie mit anderen Messaufbauten, die sich ebenfalls auf dem Laborwagen befinden, auszutauschen.

6.2 Elektrisch

Die Messvorrichtung wurde mit AW22 Leitungen verkabelt. Für die Leitungsführung wurden Kabelkanäle mit 25mm x 25mm verwendet. Für den Anschluss des PC wird das mitgelieferte USB-Kabel verwendet. Beim Anschluss eines Sensors ist auf die Farben der Anschlussbuchsen zu achten, dies dürfte ein Vertauschen der Leitungen nahezu unmöglich machen und stellt somit eine benutzerfreundliche Lösung dar. Man kann umgangssprachlich sagen, dass der Anschluss des Sensors „idiotensicher“ ist.

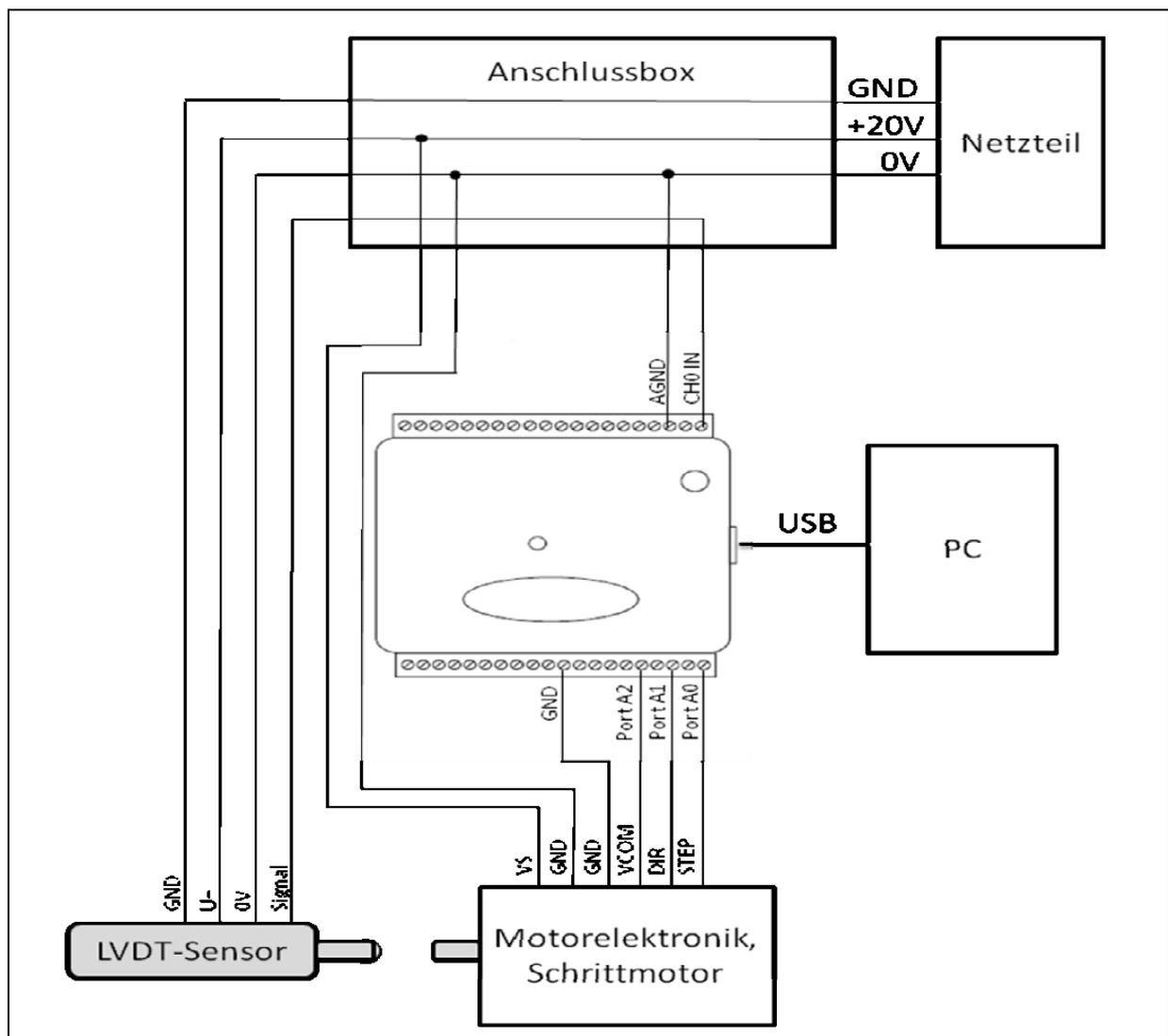


Abbildung 6.2 Anschlussplan Messvorrichtung

Für einen eventuellen Umbau der Messvorrichtung findet man die restlichen Anschlussbezeichnungen in der jeweiligen Dokumentation der Komponenten.



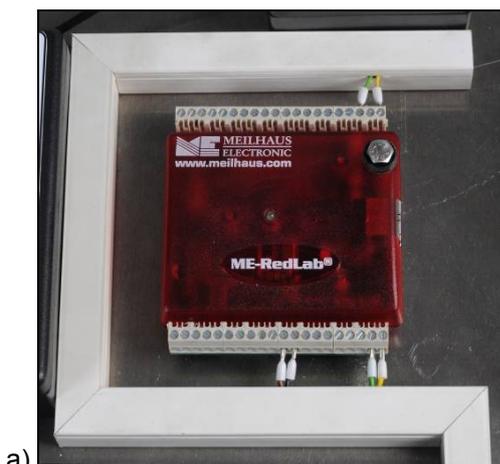
Abbildung 6.3 Angeschlossenes Labor-Netzteil

Als Netzteil verwenden wir ein handelsübliches Labor-Netzteil. Hier ist zu beachten, dass der rechte obere Schalter auf CH1 geschaltet ist und der Ausgang freigegeben wurde. Die Spannung ist zuvor auf 20V einzustellen. Die anzulegende Spannung kann man auch auf der Blackbox ablesen, an der es angeschlossen wird.

Die Messvorrichtung wird

bei einem Strom vom 50mA betrieben. Beim Betrieb mit einem anderen Netzteil ist auf eventuell, auftauchende Störungen zu achten, die die Messung verfälschen können.

Den Anschluss des USB-RS485 Adapters, für die Parametrierung der Schrittmotorbaugruppe, ist im Kapitel 7.2.2 (Parametrierung des Schrittmotors) zu entnehmen. Die Umparametrierung des Schrittmotors ist nur bei einem Umbau der Messvorrichtung notwendig und wird bei konventionellen Messungen nicht erforderlich sein.



a)



b)

Abbildung 6.4 a) Mess-Labor, b) Anschlussbox

Auf dem Messlabor befindet sich eine grüne LED, welche im eingeschalteten Zustand leuchtet und bei der Messung blinkt. Dies sollte bei einer auftretenden Störung bei der Fehleranalyse behilflich sein.

Die Verkabelung befindet sich in der Anschlussbox, welche man zuerst von der Grundplatte abschrauben muss und dann die Schrauben an der Unterseite zu lösen hat, bevor man sie öffnen kann.

7 Programmierung

7.1 Einarbeitung in LabView

„LabVIEW ist ein graphisches Programmiersystem von National Instruments. Das Akronym steht für „Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench.“¹¹ Mit ihm sollte sich relativ einfach ein Programm für unsere Messvorrichtung programmieren lassen. Die graphische Programmierung unter LabView ist relative komfortabel und erlaubt eine übersichtliche Darstellung. Die Einarbeitung erfolgt mit Hilfe des Buches „Einführung in LabView“ (3. Auflage, Hanser, 2007).

7.2 Parametrierung

7.2.1 USB-Messlabor

Die Parametrierung der USB-Messlabors erfolgt über die mitgelieferte Software InstaCal. Hier muss man die Modulnummer eintragen, die wir später auch in unserem LabView-Programm benötigen. Des Weiteren müssen wir die Kanäle auf „Single Ended“ eingestellt werden. Mit diesem Programm lassen sich auch sämtliche Ein- und Ausgänge auf ihre Funktion testen.

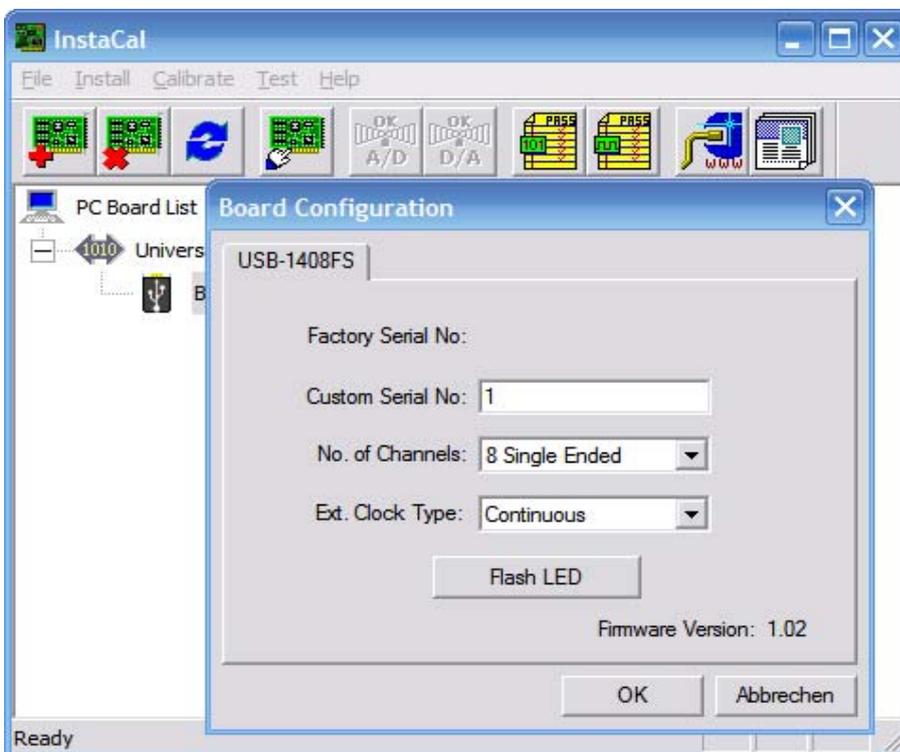


Abbildung 7.1 Screenshot InstaCal

¹¹ Wikipedia, LabView, <http://de.wikipedia.org/wiki/Labview>, 2009

7.2.2 Schrittmotor

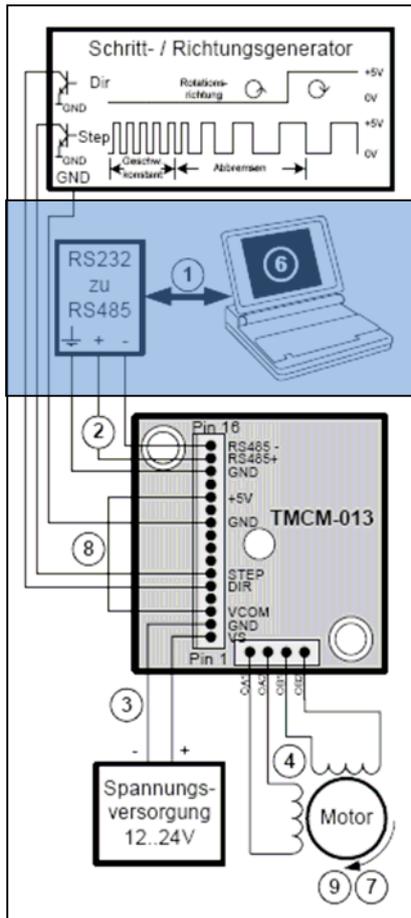


Abbildung 7.2 Anschluss Schrittmotor

Der Schrittmotor kann über eine RS485 Schnittstelle parametrierbar werden. Hierfür wird der Motor über einen USB-RS485-Adapter an den PC angeschlossen. Mit dem Programm HyperTerminal lassen sich die RS485-Befehle übertragen.

- Für unseren Aufbau wollen wir den Schrittmotor im Vollschrittbetrieb laufen lassen. Der Befehl hierfür lautet AZ6 (A = Buchstabe des Motors der zuvor konfiguriert wurde, Z = Schrittauflösung, 6 = Vollschrittbetrieb).
- Als Zweites wollen wir den Motorstrom reduzieren, da wir keine große Last haben und ein möglichst ruhiges Laufverhalten erreichen wollen. Dazu geben wir den Befehl AC10 ein (C = Motorstrom, 10 = 10%)
- Abschließend wird noch der Befehl AW übermittelt damit die aktuellen Einstellungen gespeichert werden.

Wenn man nach dem Buchstaben für unseren Motor (A) einen kleinen Buchstaben eingibt wird uns der eingestellte Parameter ausgegeben. Bsp.: Ac -> 10, das heißt der Motorstrom ist auf 10% eingestellt.

Die Einstellung des HyperTerminal und die Befehle kann man Datenblatt des PD-013/TMCM-013 nachlesen.

7.3 Automatischer Messablauf

Das Programm das wir schreiben wollen soll voll automatisch ablaufen, nach dem der Sensor angeschlossen und dessen Parameter eingegeben wurden.

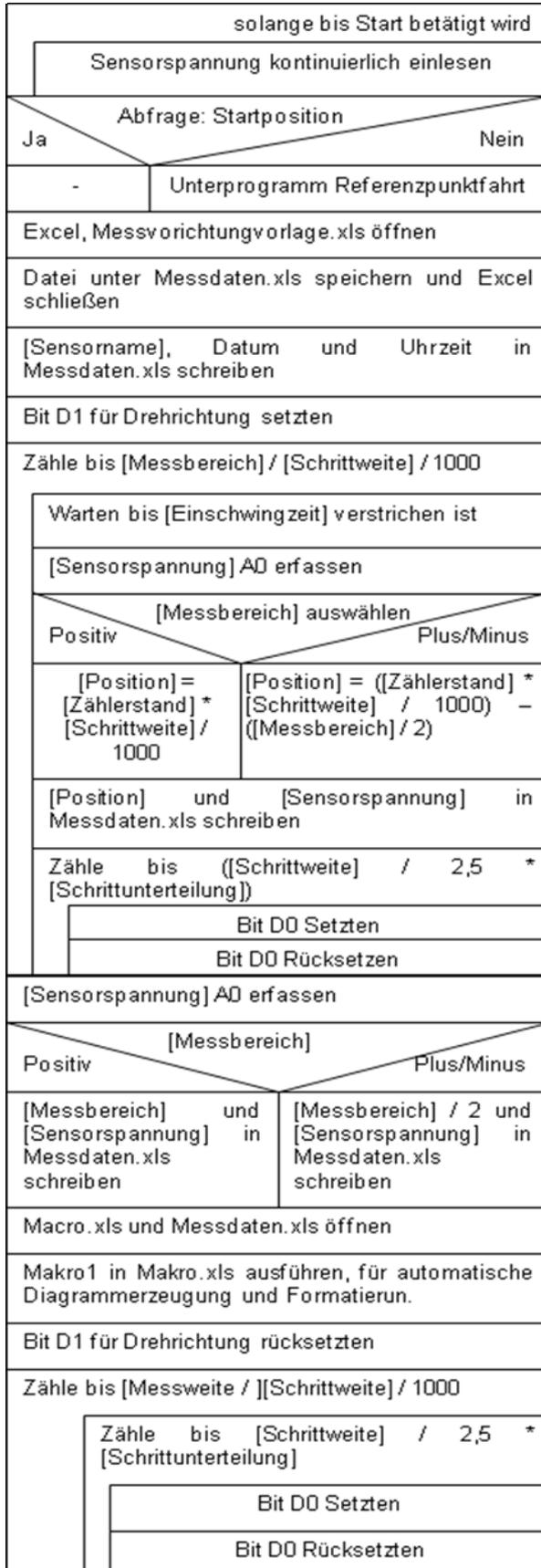
Diese Parameter sind:

- Messbereich (z.B. 25mm)
- Nulllage (+25mm, ±12mm)
- Sensorname (z.B. MTN-E_Monitran)
- Schrittweite (Auflösung z.B. 2,5µm)

Der Schrittmotor schwingt sich dem Erreichen seiner Sollposition ein. Damit die Sensorspannung erst dann übernommen wird nachdem sich das System ausgeschwungen hat, müssen wir eine Wartezeit einprogrammieren.

Die Ausgabe soll dann mit Microsoft Excel erfolgen.

7.4 Struktogramm



7.4.1 Hauptprogramm

Im nebenstehenden Struktogramm ist das Hauptprogramm und dessen Funktion beschrieben. Es soll später mit Hilfe von LabView programmiert werden. Ziel ist es ein selbständig, lauffähiges Programm zu bekommen, dass auf jedem Rechner, der die Voraussetzungen erfüllt, betrieben werden kann.

Bevor das eigentliche Programm gestartet wird soll eine Referenzpunktfahrt erfolgen. Des Weiteren müssen noch die digitalen Ports initialisiert werden. Dies soll beides im Unterprogramm „Start“ erfolgen.

Das Hauptprogramm arbeitet folgende Aufgaben ab:

1. Bis Start betätigt warten und aktuelle Sensorspannung ausgeben.
2. Abfragen ob Messvorrichtung auf Startposition ist, wenn nicht dann Referenzpunktfahrt
3. Neue Excel-Datei aus Vorlage erstellen
4. Sensormame, Datum und Uhrzeit in Tabelle eintragen
5. Sensor messen -> jede Position (abhängig von Messbereich und Messweg) und Spannung in Tabelle eintragen
6. Diagramme „Sensorspannung“ und „Spannungsdifferenz“ mit Hilfe von Makro1 erstellen und formatieren, Tabelle speichern und Excel schließen.
7. Auf Startposition zurückfahren

7.4.2 Unterprogramm „Start, Referenzpunktfahrt“

Abfrage der aktuellen Position (Messschraube)	
Position; OK	Abbrechen
Istposition	
≥025	<25
Richtungs-Bit rücksetzen	Richtungs-Bit setzen
Zählen bis $\lfloor \frac{Istposition - 25}{2.5} * 1000 \rfloor$ [Schrittunterteilung]	
Bit D0 Setzen	
Bit D0 Rücksetzen	
Digitale Ports initialisieren	

Bevor das Hauptprogramm gestartet wird soll eine „manuelle“ Referenzpunktfahrt erfolgen, indem der Benutzer nach Eingabeaufforderung die aktuelle Position eingibt. Des Weiteren müssen die Digitalen Ports initialisiert werden.

Im Hautprogramm, bevor die Messung erfolgt soll, dann nochmals nachgefragt werde ob die Startposition stimmt. Ist dies nicht der Fall, wird das Unterprogramm erneut durchlaufen. Da die Initialisierung der Digitalen Ports kaum Zeit benötigt ist es nicht relevant, wenn sie erneut initialisiert werden.

7.4.3 Makro1

Das Makro1 wird mit Visual Basic geschrieben. Mit der Funktion „Makros aufzeichnen“ können Arbeitsschritte direkt in Basic befehle umgewandelt werden und erleichtern so das Programmieren.

Messdaten.xls aktivieren
Erste Zeile löschen
$i = i + 1$
Solange bis Zelle (i,1) leer ist
Zähle von a = 1 bis i
$Zelle(a + 1, 3) = (a - 1) * 10 / (i - 3)$
Diagramm "Sensorspannung" aus Spalte A und B erstellen
Zähle von b = 1 bis i - 2
$Cells(b + 1, 4) = Cells(b + 1, 2) - Cells(b + 1, 3)$
Diagramm "Spannungsdifferenz" aus Spalte A und D erstellen
Tabelle unter Sensorname, Datum und Zeit Speichern
Excel schließen

Makro1 beinhaltet folgende Funktionen:

1. Da die Datei Messdaten.xls keine richtige Excel Tabelle ist, sondern wie eine *.txt Datei aufgebaut ist, kann man sie kein Makro beinhalten. Dieses Format ist aber wichtig, da das Hautprogramm sonst keine Daten in die Tabelle schreiben kann. Aus diesem Grund wird nun eine weitere Tabelle geöffnet die das Makro enthält. Mit dem Befehl „Windows("Messdaten.xls").Activate“ kann nun das Makro aus der zweiten Tabelle aus die erste zugreifen und so die Aufgaben automatisiert erfüllen.
2. Im nächsten Schritt wird die erste Zeile gelöscht, welche keine Informationen beinhaltet.
3. Im Hauptprogramm können unterschiedliche Messwege und Schrittweiten eingestellt werden,

was die Anzahl der Messwerte variieren lässt. Deshalb wird nun die Anzahl der Messwerte ermittelt und in das Feld C1 geschrieben. Dies erleichtert uns das Programmieren der nächsten Schritte.

4. Erstellen und formatieren des ersten Diagramms mit der Sensorkennlinie
5. In die Spalte C wird eine Gerade eingetragen, welche der idealen Kennlinie, des Sensors, entspricht. So kann jetzt aus der Differenz zwischen der Gerade und der Sensorspannung der Fehler den der Sensor macht ermittelt werden. Dieser wir d in Spalte D geschrieben.
6. Daraus wird ein weiteres Diagramm erzeugt, in dem man den Linearitätsfehler des Sensors sieht.

7.5 Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche wurde komplett mit Hilfe von LabView erstellt. Dabei wurde auf die Übersichtlichkeit und eine möglichst benutzerfreundliche Anwendungsoberfläche geachtet.



Abbildung 7.3 Screenshot Fenster Referenzfahrt

Nachdem man das Programm gestartet hat, öffnet sich das Fenster für die Referenzfahrt. Hier wird man nun aufgefordert die aktuelle Position der Messvorrichtung anzugeben. Dazu liest man den Wert der Messschraube ab, gibt ihn in das Feld IstPosStart ein und bestätigt mit OK. Jetzt fährt die Positioniervorrichtung auf Startposition 25 mm.

Nach der Referenzfahrt ist man im Hauptfenster das in 3 Teile untergliedert ist. Durch Anklicken der Reiter am oberen Fensterrand kann man die Bereiche Start, Setup und Fehlermeldung anwählen. Im ersten Teil lassen sich alle Parameter die für eine Messung notwendig sind eingeben und dann die Messung starten. Im zweiten Fenster sind dann die Einstellungen der Messvorrichtung konfigurierbar. Und im letzten Teil sind dann die Fehlermeldungen untergebracht, welche Aufschluss auf die Fehleruhrsache bei einem Störfall geben.

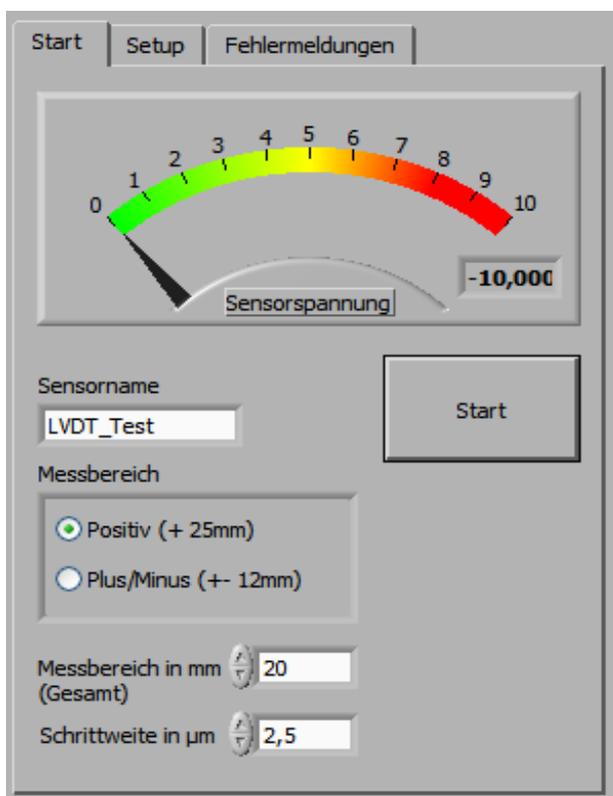


Abbildung 7.4 Screenshot Start Fenster

Start

Im oberen Teil lässt sich die aktuelle Spannung des Sensors ablesen. Dies benötigt man zu Beginn um den Sensor richtig zu positionieren.

Bevor man die Messung startet muss man den Namen des Sensors eingeben. Im Eingabebereich darunter stellt man ein ob der Sensor seine Nulllage bei 0V oder in der Mitte des Messbereichs hat. Dies ist für die Anzeige der Diagramme in Excel wichtig. Zum Schluss muss noch der Messbereich des Sensors und die Schrittweite, also die Auflösung der Messung, eingestellt werden. Wenn dies erledigt ist kann man die Messung mit Starten, indem man auf die Schaltfläche Start betätigt.

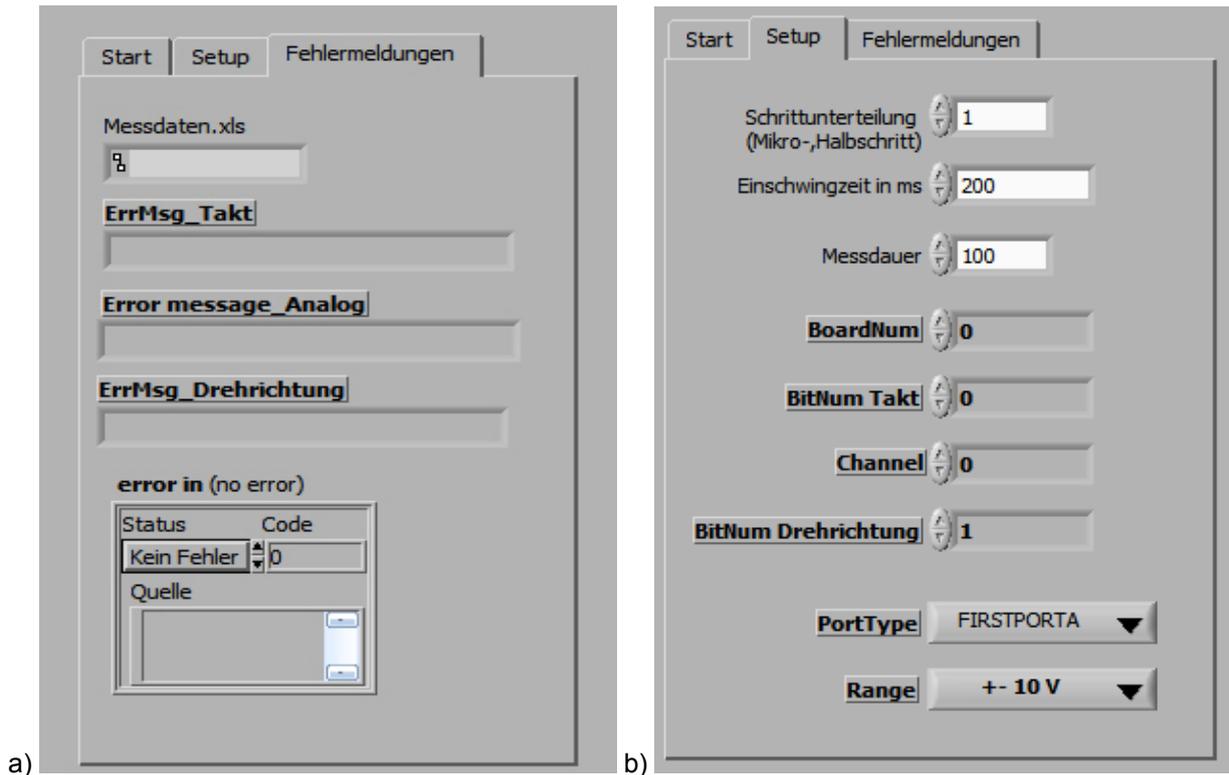


Abbildung 7.5 Screenshots a) Setup, b) Fehlermeldungen

Setup

In diesem Fenster lassen sich wie schon erwähnt die Parameter der Messeinrichtung einstellen. Je nach Parametrierung des Schrittmotors muss man im ersten Feld die Schrittunterteilung angeben. Bei Vollschrittbetrieb währe dies 1. Im zweiten Feld wird die Einschwingzeit angegeben. Darunter versteht man die Zeit die abgewartet wird bevor die Einzelmessung erfolgt. Diese Dauer ist in ms anzugeben. Das nächste Feld beinhaltet die Messdauer. Werden der Messdauer wird das Sensorsignal aufgezeichnet und anschließen der Mittelwert hieraus an die Excel-Tabelle weitergegeben. Die Boardnummer wird bei der Installation des Messlabors vergeben und ist bei Standarteinstellungen auf 0. In den Feldern Bitnummer Takt und Bitnummer Drehrichtung wird das Bit festgelegt welches das jeweilige Signal liefert. Diese Parameter müssen nur dann geändert werden wenn eine andere Klemme am Messlabor, also ein anderes Bit, verwendet wird. Mit Channel wird der Analoge Eingangskanal festgelegt. Über die Einstellungen Porttyp und Range wird der analoge Eingang dann noch parametrieret.

Fehlermeldungen

Sollte ein Fehler mit dem Messlabor auftauchen wird hier ein Fehlercode ausgegeben dem man die Fehlerursache entnehmen kann. Die Fehlercodes und die jeweiligen Erläuterungen findet man in der Bedienungsanleitung des Messlabors.

7.6 Graphische Darstellung

Die Daten, die unsere Laborwegmessvorrichtung erfasst, wollen wir in einer Excel-Tabelle schreiben und darstellen. Das Programm das wir in LabView schreiben soll automatisch eine *.xls – Datei erzeugen. Dann sollen die Messwerte hineingeschrieben werden. Mit Hilfe eines Makros sollen dann 2 Diagramme erstellt werden. Die Sensorspannung und der Linearitätsfehler werden dann über dem Weg angezeigt. Zum Schluss soll die Tabelle mit den Diagrammen unter dem Sensornamen der in der Programmoberfläche eingegeben wurde, gespeichert werden. Der Dateiname soll durch das Datum und die Uhrzeit ergänzt werden, damit die Messungen besser von anderen unterschieden werden kann. Excel soll dann automatisch geschlossen werden, damit der nächste Messablauf problemlos durchgeführt werden kann.

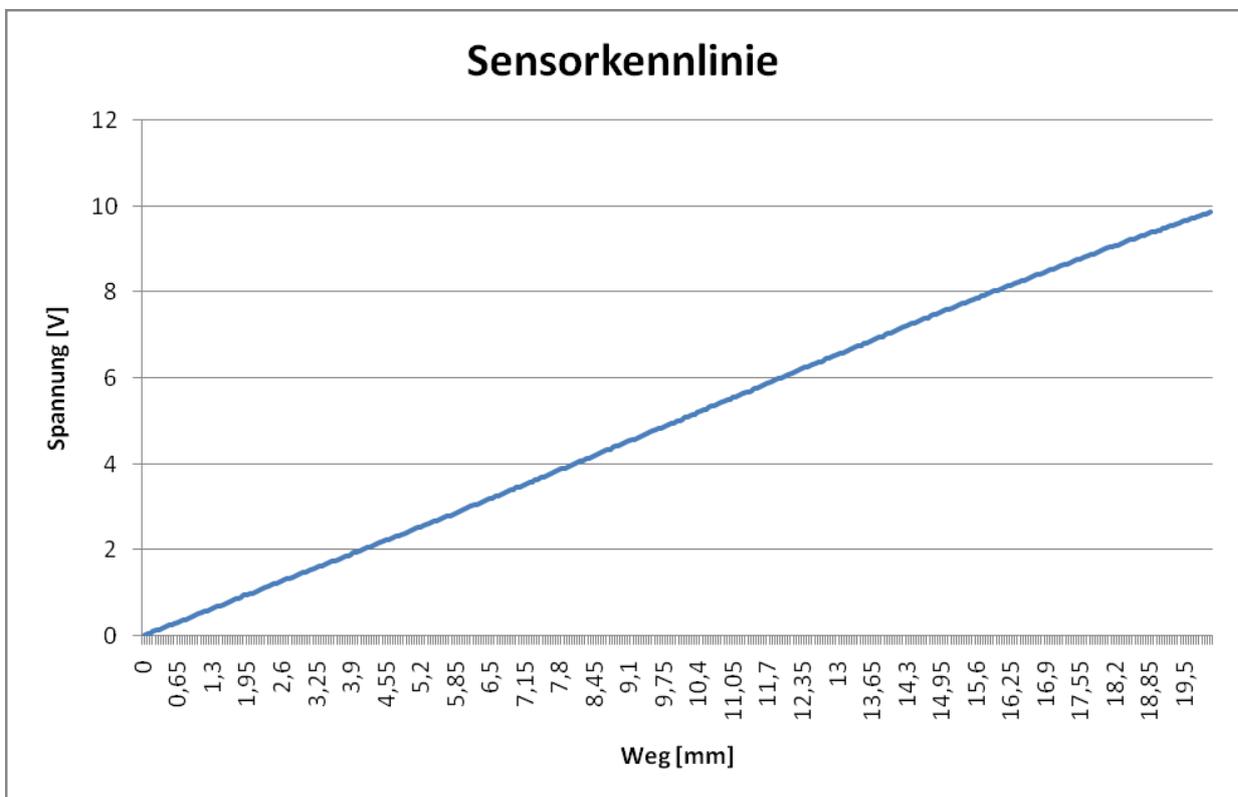


Abbildung 7.6 Excel - Diagramm für die Sensorkennlinie einer Messung

Hier ist die Sensorkennlinie dargestellt. In der Y-Achse ist die Spannung aufgetragen und in der X-Achse der Messweg. Da man einen Linearitätsfehler hier nur schlecht erkennen kann wird noch ein weiteres Diagramm ausgegeben.

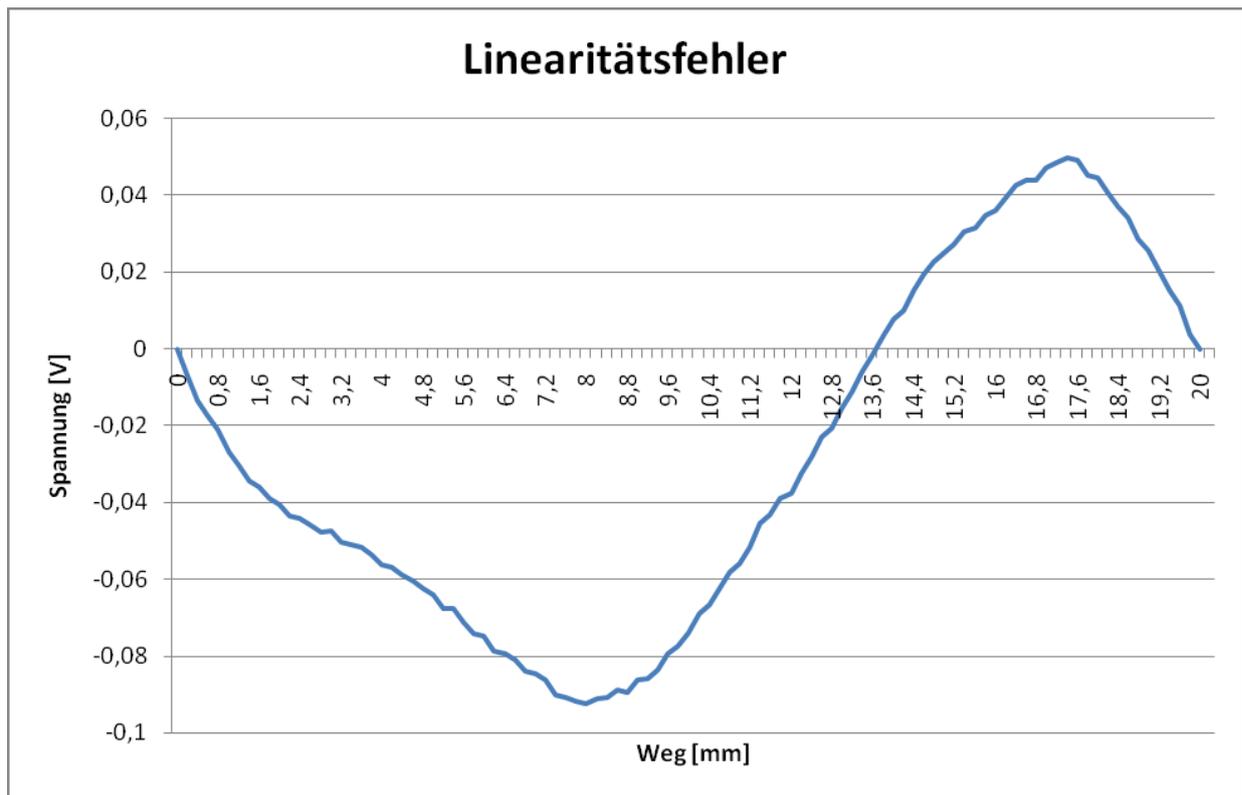
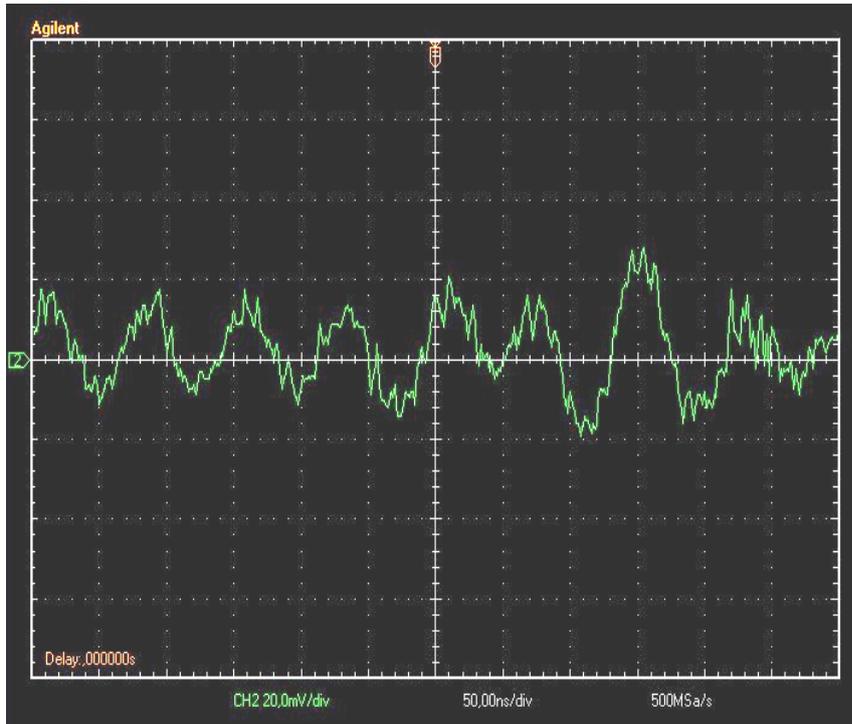


Abbildung 7.7 Excel - Diagramm für den Linearitätsfehler einer Messung

Hier ist die Linearitätsabweichung dargestellt. Wir verwenden genau wie der Hersteller des Sensors die Festpunktmethode. Dafür wurden die Daten einer Geraden von der Sensorkennlinie abgezogen. Für die Erstellung der Geraden wird der Erste und der Letzte Messwert herangezogen. Als Ergebnis bekommt man die Differenz zwischen Ist- und Sollwert. Die erfassten Messwerte sind aus je 200 Werten gemittelt worden, da der Sensor die Wechselspannungsanteile seiner Elektronik nicht vollständig herausfiltern kann.

8 Untersuchung

8.1 Sensorsignal



Bei der Aufnahme der Sensorspannung sieht man, dass hier eine Streuung von $\pm 20\text{mV}$ vorliegt. Diese kommt aus der Sensorelektronik. Dieser Wechsellspannungsanteil wird durch die Mittelung von mehreren Messwerten eliminiert. In den Beiden Diagrammen unten kann man den Unterschied mit und ohne Mittelwertserfassung sehen.

Abbildung 8.1 Oszilloskop-Aufnahme: Sensorsignal

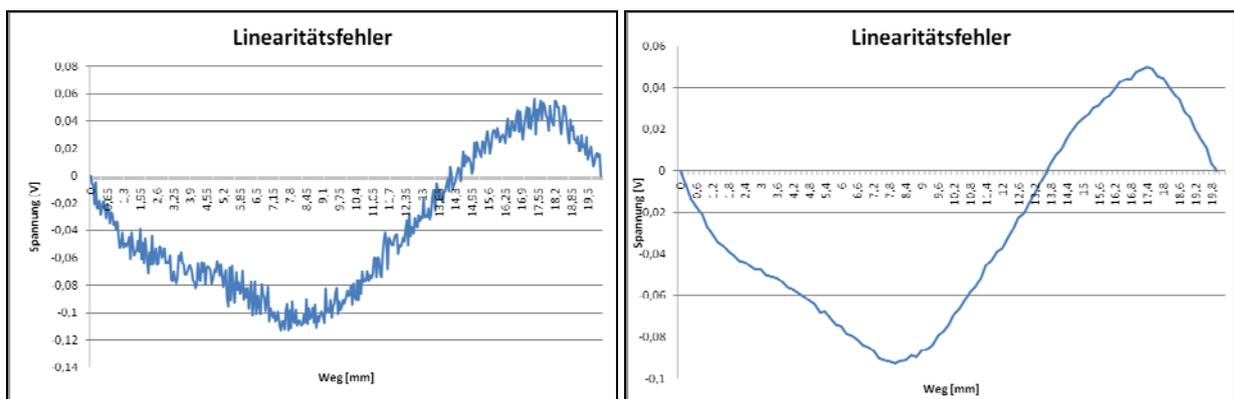


Abbildung 8.2 Linearitätsfehler mit und ohne Mittelwertserfassung

8.2 Systemverhalten (Einschwingzeit)

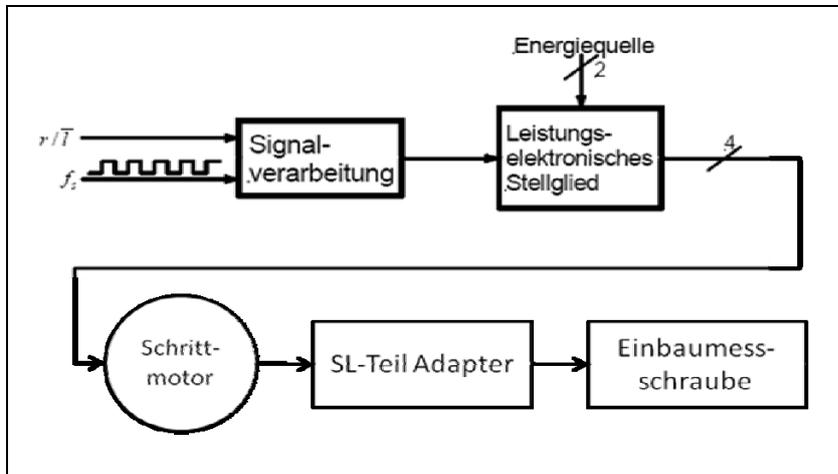


Abbildung 8.3 Blockschaltplan Positionierbaugruppe

Nachdem die Positioniervorrichtung aufgebaut ist soll das Systemverhalten näher untersucht werden. Dadurch wollen wir feststellen ob es notwendig ist, dass die Messwertübernahme zeitverzögert erfolgen.

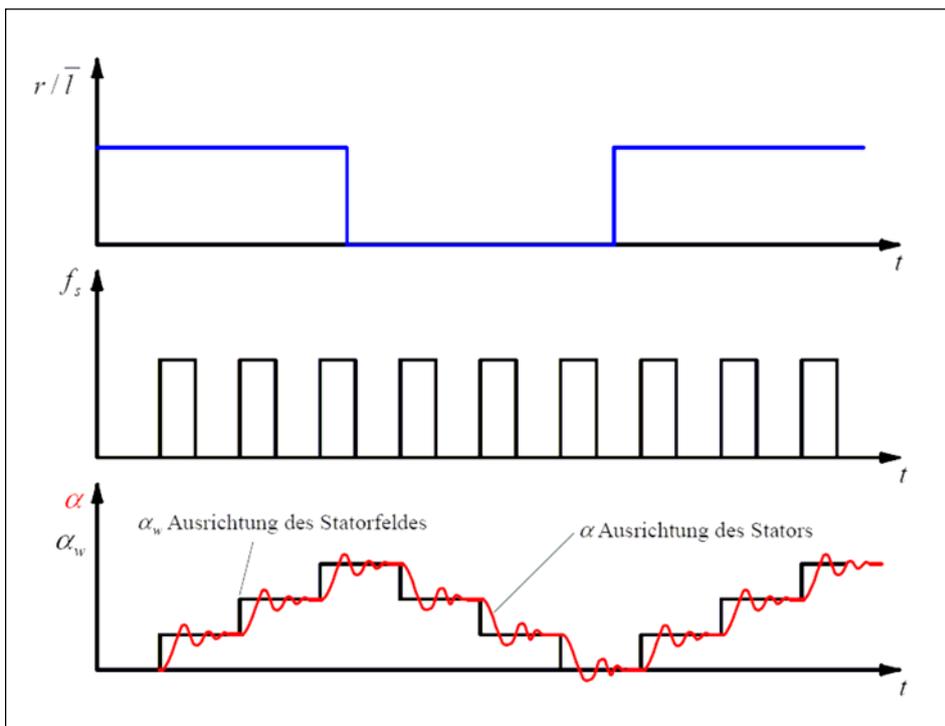


Abbildung 8.4 Arbeitsweise der Signalverarbeitung¹²

Der Messwert unseres Sensors soll erst dann übernommen werden nach dem sich das System ausgeschwungen hat.

Das Einschwingverhalten eines Schrittmotors kann man im unteren Diagramm in Abbildung 8.4 sehen. Das Systemverhalten ist im Blockschaltbild dargestellt.

In dieser Untersuchung soll der Wert für die Einschwingzeit ermittelt werden, bei dem ein möglichst kleiner Fehler gemacht wird und die Zeit für einen Messvorgang im Rahmen bleibt. Es werden nun

¹² Heinrich Steinhart; Elektrische Antriebe 1; Schrittmotor; SS2009; Hochschule Aalen; Seite 163

Messvorgänge mit unterschiedlichen Einschwingzeiten durchgeführt. Es wird dabei geachtet, dass alle anderen Einflüsse nahezu gleich bleiben um ein richtiges Ergebnis zu erhalten. Die Schrittweite wird auf 50µm eingestellt. Abbildung 8.5 zeigt zwei der 10 Messungen. Man deutlich einen Unterschied bei verschiedenen Einschwingzeiten sehen.

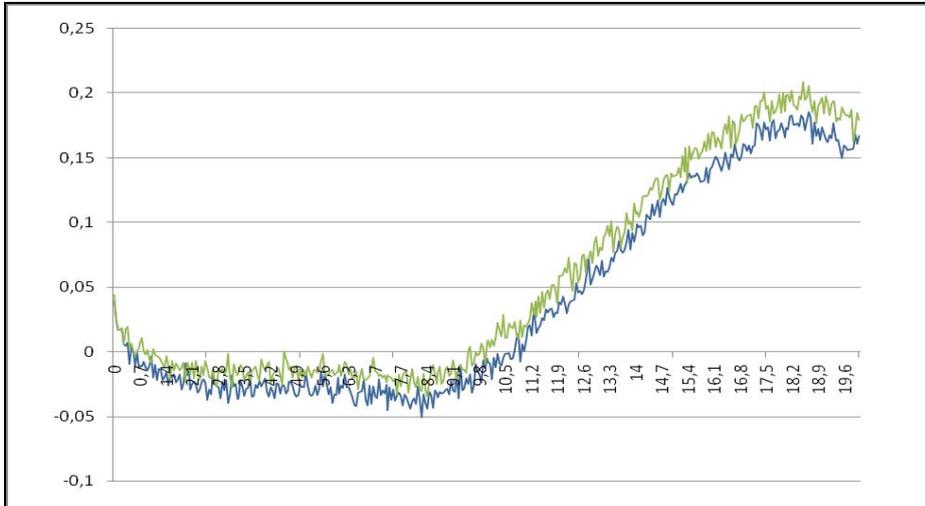


Abbildung 8.5 Linearitätsfehler 0ms(blau), 450ms(grün)

In Abbildung 8.6 kann die durchschnittliche Fehlerabweichung von 10 Messungen sehen (Messung 0ms und 450ms sind in Abbildung 8.5 dargestellt). Dabei wurde die Einschwingzeit von 0ms auf 450ms um je 50ms gesteigert. Man kann im Bereich von 0-200ms einen deutlichen Anstieg sehen. Danach bleibt der Wert annähernd konstant auf 0,06V. Aus diesem Grund wird die Einschwingzeit für die nachfolgenden Versuche auf 200ms eingestellt. Das System hat sich demnach nach einer Zeit von 200ms auf seinen stationären Endwert eingeschwungen.

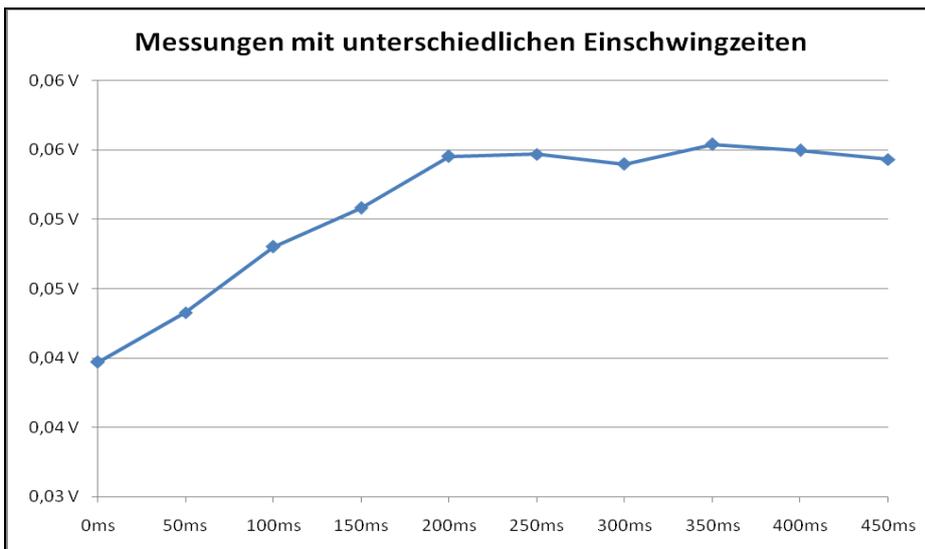


Abbildung 8.6 Durchschnittlicher Abweichung bei unterschiedlichen Einschwingzeiten

8.3 Messen der Positioniervorrichtung mit dem KMG

8.3.1 Positionsmessung mit KMG

Um die Messgenauigkeit unserer Wegmesseinrichtung bestimmen zu können, haben wir unsere Positioniervorrichtung mit einem Koordinatenmessgerät in 0,5 mm Abständen auf dem kompletten Messweg vermessen. Durch dieses Messverfahren bekommen wir die genaue Abweichung an jeder Position zwischen Soll und Ist-Wert und können feststellen ob die Positionierung linear verläuft.

Auf diese Art werden gleichzeitig 2 Komponenten überprüft. Nämlich die Genauigkeit der Einbaumessschraube und die Genauigkeit des Schrittmotors, also die gesamte Positioniervorrichtung.

Messpunkt	Schrittweite [µm]	Soll-Wert [µm]	Ist-Wert [µm]	Differenz [µm]
1	500	0	0,7621	0,7621
2	500	500	500,5828	0,5828
3	500	1000	1000,7284	0,7284
4	500	1500	1500,3598	0,3598
5	500	2000	2000,3503	0,3503
6	500	2500	2500,2032	0,2032
7	500	3000	3000,0722	0,0722
8	500	3500	3499,9481	-0,0519
9	500	4000	3999,8602	-0,1398
10	500	4500	4499,7794	-0,2206
11	500	5000	4999,7276	-0,2724
12	500	5500	5499,6058	-0,3942
13	500	6000	5999,5568	-0,4432
14	500	6500	6499,4885	-0,5115
15	500	7000	6999,4402	-0,5598
16	500	7500	7499,4703	-0,5297
17	500	8000	7999,4715	-0,5285
18	500	8500	8499,3892	-0,6108
19	500	9000	8999,3382	-0,6618
20	500	9500	9499,3848	-0,6152
21	500	10000	9999,3774	-0,6226
22	500	10500	10499,3751	-0,6249
23	500	11000	10999,3900	-0,6100
24	500	11500	11499,2865	-0,7135
25	500	12000	11999,3366	-0,6634

Messpunkt	Schrittweite [µm]	Soll-Wert [µm]	Ist-Wert [µm]	Differenz [µm]
26	500	12500	12499,3083	-0,6917
27	500	13000	12999,3355	-0,6645
28	500	13500	13499,2858	-0,7142
29	500	14000	13999,3224	-0,6776
30	500	14500	14499,2119	-0,7881
31	500	15000	14999,3010	-0,6990
32	500	15500	15499,2714	-0,7286
33	500	16000	15999,3024	-0,6976
34	500	16500	16499,3430	-0,6570
35	500	17000	16999,2885	-0,7115
36	500	17500	17499,2632	-0,7368
37	500	18000	17999,3457	-0,6543
38	500	18500	18499,2593	-0,7407
39	500	19000	18999,4459	-0,5541
40	500	19500	19499,3228	-0,6772
41	500	20000	19999,5065	-0,4935
42	500	20500	20499,3450	-0,6550
43	500	21000	20999,6588	-0,3412
44	500	21500	21499,7465	-0,2535
45	500	22000	21999,7778	-0,2222
46	500	22500	22499,7828	-0,2172
47	500	23000	23000,0252	0,0252
48	500	23500	23500,0379	0,0379
49	500	24000	24000,3481	0,3481
50	500	24500	24500,3966	0,3966

Tabelle 8.1 KMG - Messung der Positioniervorrichtung

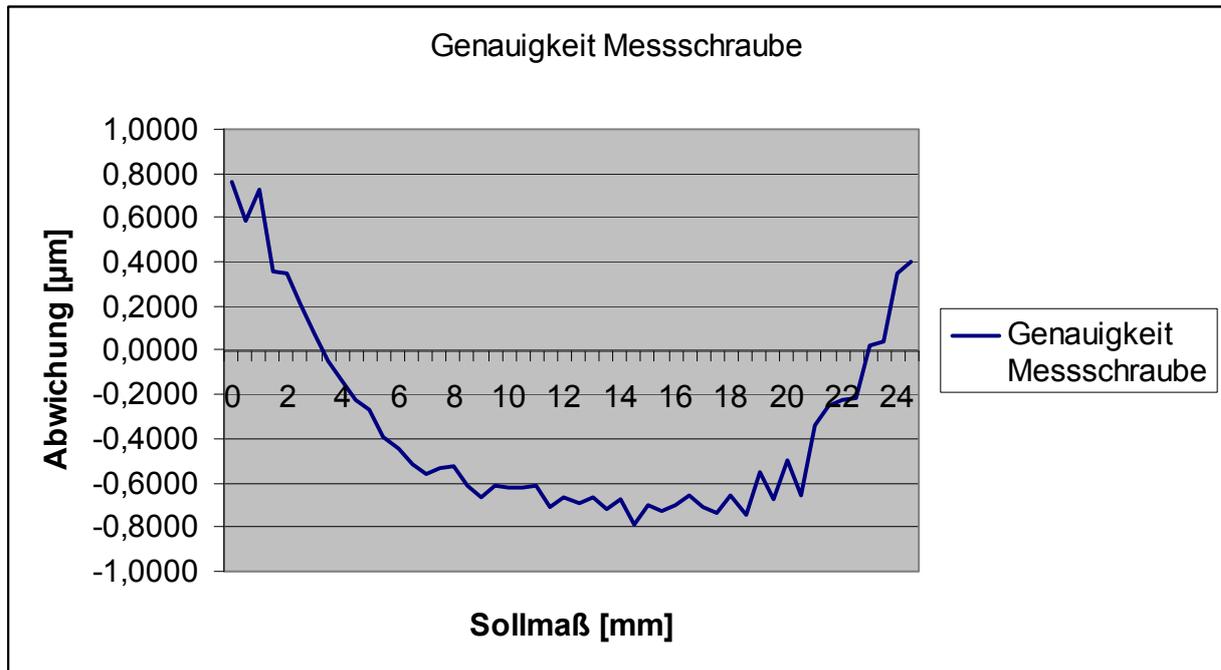


Abbildung 8.7 Genauigkeit der Messschraube

Aus diesen Messungen geht die größte negative Abweichung von $-0,7881 \mu\text{m}$ und die größte positive Abweichung von $0,7621 \mu\text{m}$ hervor. Zählt man diese Abweichungen nun zusammen, ergibt sich eine Gesamtgenauigkeit von $1,5502 \mu\text{m}$. Dieses Ergebnis ist für unsere Arbeit zufriedenstellend.



Abbildung 8.8 KMG Prismo

8.3.2 Messen der Verbiegung bei einem Messablauf

Da der LVDT mit einer Rückstellfeder ausgestattet ist, bringt dieser der Positioniervorrichtung, während der Messung, eine Kraft entgegen, welche versucht die Aufnahme der Messschraube wegzudrücken beziehungsweise zu verbiegen. Dasselbe gilt für das Backenfutter. Es erfährt ebenfalls diese Kraft und wird auch weggedrückt / verbogen. Um diese Biegung erfassen zu können, haben wir Feintaster an der Einbaumessschraube und am Sensorgehäuse angebracht. Mit dieser Anordnung ist es Möglich die Strecke um die der Sensor und die Messschraube, durch die Messkraft weggedrückt werden zu erfassen. Zusammenaddiert geben diese zwei Werte den Fehler, welcher durch die Verbiegung des Aufbaus, entsteht. Die Feder des Sensors ist mit 1,8 N vorgespannt und hat an der Endlage des Sensors eine Kraft von 8 N zwischen diesen Kräften macht die Feder einen Weg von 36 mm. Mit der Formel $F = D \times s$ errechnet sich die Federkonstante wie folgt:

$$8 \text{ N} - 1,8 \text{ N} = 6,2 \text{ N} \quad \rightarrow \quad D = F / s = 6,2 \text{ N} / 36 \text{ mm} = 0,1722 \text{ N/mm}$$

Bei einem Weg von 25 mm wie bei unserer Biegunsmessung ergibt sich somit eine Kraft von:

$$25 \text{ mm} \times 0,1722 \text{ N/mm} = 4,30 \text{ N} + 1,8 \text{ N} = 6,1 \text{ N}$$

Die Biegung errechnet sich mit Folgender Formel:

$$w = (F \times l^3) / (3 \times E \times I) \quad \rightarrow \quad w = [6,1 \text{ N} \times (108 \text{ mm})^3 \times 64] / [3 \times 60000 \text{ N/mm}^2 \times \pi \times (20 \text{ mm})^4]$$

$$w = 5,44 \mu\text{m}$$

Dies bedeutet theoretisch müsste sich der Messschraubenhalter um 5,44 μm verbiegen. Da aber die Grundplatte und auch die Schrauben ebenfalls elastisch sind, werden sich diese Komponenten ebenfalls mit verbiegen, somit muss das tatsächlich gemessene Ergebnis größer ausfallen. Wegen der komplexen Form des 3- Backenfutters lässt sich die Verbiegung nur schwer berechnen, hier hilft nur die praktische Messung oder eventuell einen Simulation.

Messpunkt	Position	Biegung Messschrauben- aufnahme	Biegung Backenfutter	Messpunkt	Position	Biegung Messschrauben- aufnahme	Biegung Backenfutter
	[mm]	[μm]	[μm]		[mm]	[μm]	[μm]
1	0	0,2	0	27	13	5,3	3,6
2	0,5	0,3	0,2	28	13,5	5,6	3,8
3	1	0,7	0,1	29	14	5,7	3,8
4	1,5	1	0,3	30	14,5	6	3,9
5	2	1,3	0,6	31	15	6,3	4,1
6	2,5	1,5	0,6	32	15,5	6,2	4,2
7	3	1,7	0,6	33	16	6,5	4,2
8	3,5	2	0,8	34	16,5	6,8	4,5
9	4	2,4	0,9	35	17	6,8	4,6
10	4,5	2,5	1	36	17,5	7	4,6
11	5	2,7	1,1	37	18	7,3	4,8
12	5,5	3	1,2	38	18,5	7,4	4,8
13	6	3,1	1,3	39	19	7,5	4,9
14	6,5	3,4	1,5	40	19,5	7,7	5
15	7	3,6	1,8	41	20	7,8	5,1
16	7,5	3,7	2,2	42	20,5	8,1	5,5
17	8	3,8	2	43	21	8,3	5,7
18	8,5	4	2,2	44	21,5	8,5	5,7
19	9	4,1	2,4	45	22	8,6	5,9
20	9,5	4,3	2,5	46	22,5	8,7	6,1
21	10	4,4	2,6	47	23	8,9	6,1
22	10,5	4,7	2,8	48	23,5	9,2	6,3
23	11	5	3,2	49	24	9,3	6,6
24	11,5	5,1	3,4	50	24,5	9,5	6,7
25	12	5	3,5	51	25	9,7	6,7
26	12,5	5,2	3,6				

Tabelle 8.2 Messung der Biegung der Aufnahmen

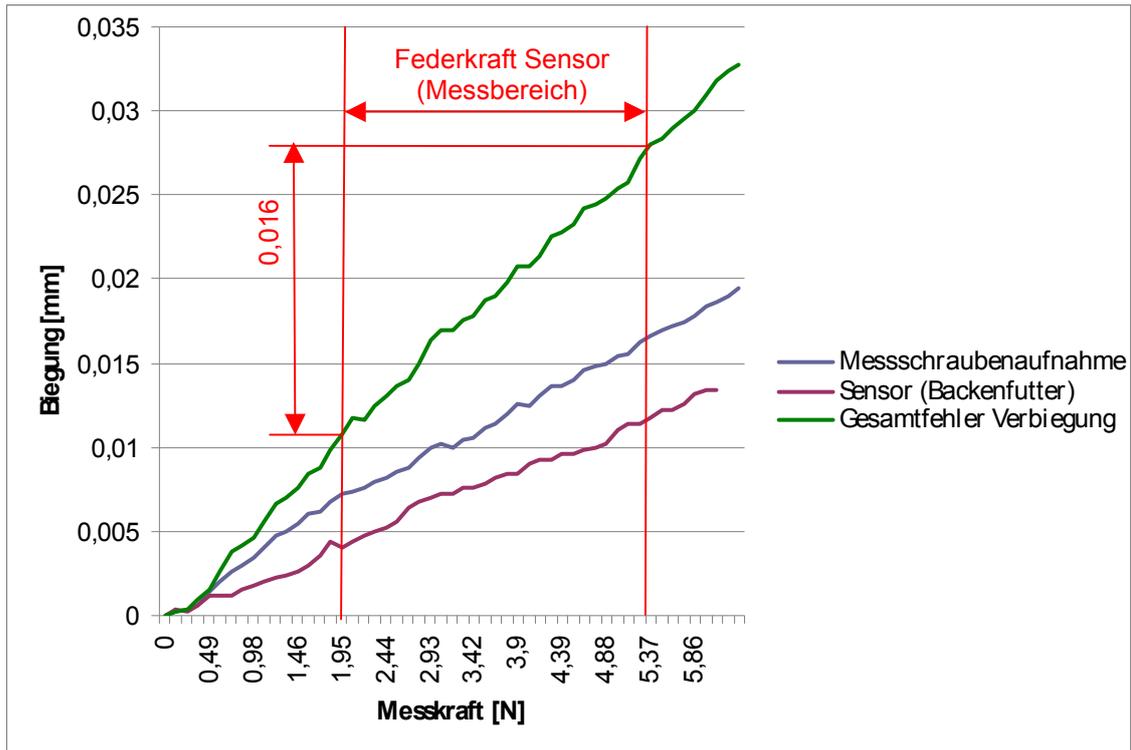


Abbildung 8.9 Verbiegung der Aufnahmen

Rechnet man nun die Verbiegung des Backenfutters und der Messschraubenaufnahme zusammen, bekommt man die Gesamtabweichung des Systems. In diesem Fall beträgt die Gesamtabweichung bei einer Messkraft von 5,24 N 0,016 mm. Dieses Ergebnis ist für unsere Anwendung akzeptabel, da in diesem Projekt eine Sensorungenauigkeit von 0,2 mm und ein Linearitätsfehler von 0,5% überprüft beziehungsweise gemessen werden soll.

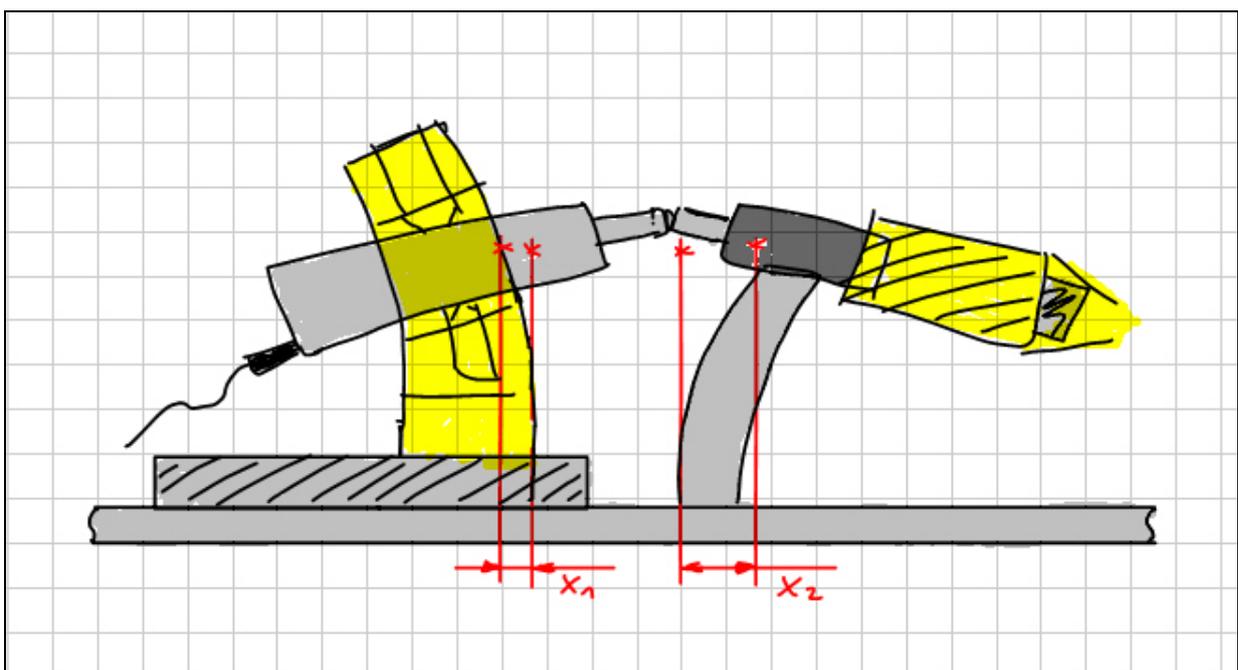


Abbildung 8.10 Skizze Verbiegung

9 Quellenangaben

Automatisierungstechnik, Prof. Schmid, 7. Auflage, 2006, Europa Lehrmittel

Elektrische Antriebe – Grundlagen, Dierk Schröder, 3. Auflage, Springer Verlag, 2007

Elektrische Antriebe 1, Prof. Steinhart, 2009, HTW Aalen

Sensortechnik und Messwertaufnahme, Prof. Schießle, 1. Auflage, 1992

Technische Informatik Grundlagen, Prof. Baur, 2007, HTW Aalen

Vorlesung Sensorik Grundlagen, Prof. Schießle, 2009, HTW Aalen

Wikipedia, <http://de.wikipedia.org>

Conrad Elektronik, <http://www.conrad.de>