03.05.2007

S3 – Wegsensoren

Betreuer: Dipl.Ing. Adler

1 Grundlagen des Versuchs

1.1 Vorbereitungsfragen

1.1.1 Entwickeln Sie die Logik zur Richtungserkennung bei der Abtastung des inkrementellen Gebers (IAL) im Fall der Einfach- sowie der Mehrfachauswertung!

Die analogen Signale zweier Lichtschranken u_1 und u_2 aus der Hell-Dunkel-Abtastung werden mit den analogen Komparatoren in die logische Signale K_1 und K_2 (Pegel „0“ und „1“) umgeformt, damit sie von der nachfolgenden digitalen Logik verarbeitet werden können. Die Impulse einer Spur, z.B. von Spur A, werden in einem digitalen Vor-/Rückwärts-Zähler aufsummiert und als Zählerstand N zur Anzeige gebracht. Zur richtungsgetreuen Wegmessung liefert ein D-FlipFlop an den Zähler die entsprechenden Richtungssignale „ZV“ (Zählrichtung Vorwärts) bzw. das negierte Signal „ZR“ (Zählrichtung Rückwärts). Dazu überträgt das D-FF zur aktiven Taktflanke, d.h. hier positive Flanke von Spur B, den logischen Zustand des Signals von Spur A an seinen Ausgang Q. Bei $Q = 1$ erhält der Zähler den Befehl zum Vorwärtszählen, bei $Q = 0$ entsprechend $\overline{Q} = 1$ den Befehl zum Rückwärtszählen. Somit wird eine richtungsgetreue Wegmessung erreicht.

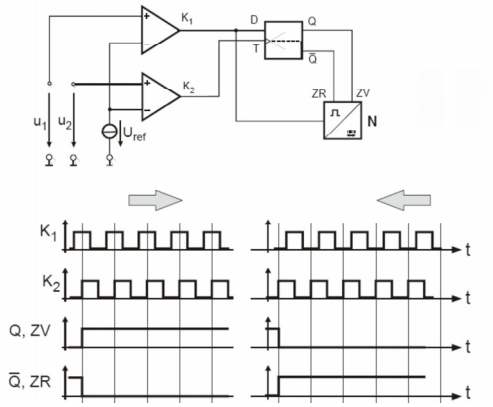

Abbildung 1: Logikschaltung und Laufzeitdiagramm der Richtungserkennung

1.1.2 Informieren Sie sich über das Abbe’sche Komparatorprinzip und seine Anwendung sowie über entstehende Fehler!

Liegen die am Prüfling zu messende Strecke und der Maßstab des Messgerätes nicht in einer Flucht, können im Messgerät Kippfehler erster Ordnung auftreten. Diese hängen vom Spiel der beweglichen Teile des Messgerätes ab und sind prinzipiell nicht zu vermeiden.
Werden die zu messende Strecke und der Maßstab des Messgerätes, wie bei der Messschraube, fluchtend angeordnet, treten zwar ebenfalls Kippfehler auf, diese wirken sich aber kaum auf das Messresultat aus und können meist vernachlässigt werden. Man spricht dann von Kippfehlern zweiter Ordnung. Messfehler 1.Ordnung sind proportional zur Ursache, Messfehler 2.Ordnung quadratisch proportional.

1.1.3 Welche Aufgabe hat das Gegenraster bei inkrementellen Maßstäben

Das Gegenraster dient zur Richtungsbestimmung und als Referenz für das Rasterlineal. Außerdem erfüllt es die Funktion des feststehenden Bezugspunktes. Mit Hilfe des Gegenrasters kann also die Bewegungsrichtung und die absolute Strecke zu einer Referenzstelle angegeben werden.

1.1.4 Informieren Sie sich über die Funktionsprinzipien der verschiedenen Wegmeßverfahren!

Inkrementelle Wegmessung

Bei diesem Verfahren wird die Länge einer Bewegung dadurch gemessen, dass auf einer Referenzebene ein Raster aufgebracht wurde, dessen Striche[1] gezählt werden. Während der Bewegung werden diese Rasterstriche mit einer geeigneten Aufnahmeeinrichtung erfasst und an eine Steuerung übergeben, die diese Inkremente zählt.
Nachteil dieses digitalen Verfahrens ist, dass lediglich eine relative Positionsänderung ermittelbar ist. Um Angaben über Richtung und Position zu erhalten, sind neben den Inkrementen weitere Informationen zu codieren.

Ohmsche Wegmessung

Für die ohmsche Wegmessung wird ein Linearpotentiometer verwendet. Sie sind passive Sensoren. Der Sensor wird als Spannungsteiler betrieben und von einer Gleichspannungsquelle versorgt. Durch das Messobjekt wird der Schleifer des Potentiometers bewegt und verändert, und damit die abgegriffene Teilspannung. Diese wird an einen Messverstärker angeschlossen. Hat der Verstärker einen sehr hohen Eingangswiderstand, so bleibt das Potentiometer praktisch unbelastet. Die gemessene Spannung verhält sich dann proportional zur Schleiferstellung.
Diese Messmethode ist analog.

Induktive Wegmessung

Ein induktiver Wegaufnehmner besteht im wesentlich aus einer Spulen, mit einem beweglichen Eisenkern. Je nach Eintauchtiefe des Eisenkerns in die Spule ändert sich der magnetische Widerstand R_m. Er ist proportional zur Eintauchtiefe s, mit:[2]

$$R_m = \frac{s}{\mu_0 \cdot A} \tag{1}$$

μ_0... magnetische Feldkonstante
A... durchsetzte Fläche

Interferentielle Wegmessung

Bei der Interferometrie wird die Interferenz zur Wegmessung genutzt. Eine Länge entspricht einem Vielfachen der Wellenlänge. Dabei entstehen bei Gleichphasigkeit der Wellen[3] Gebiete der Verstärkungen[4] und bei Gegenphasigkeit Auslöschungen[5]. Die eine Welle dient als Referenz, die andere repräsentiert die Längenänderungsmessung. Das entstehende Interferenzmuster wird durch den vom Messobjekt zurückgelegten Weg bestimmt.

Wirbelstromwegmessung

Bewegt sich ein elektrischer Leiter in einem Magnetfeld, dann wird in diesen Leiter eine Spannung induziert. Sie erzeugt einen Wirbelstrom. Wirbelströme erzeugen gemäß der Lenzschen Regel ein ihrer Ursache,

[1] Die Dichte der Striche bestimmt die Genauigkeit
[2] magnetischer Widerstand im Eisenkern und in der äußeren Luft sind vernachlässigbar
[3] z.B. Lichtwellen
[4] konstruktive Interferenz
[5] destruktive Interferenz

also dem ursprünglichen Magnetfeld, entgegengesetztes Magnetfeld. Bewegt sich also das Messobjekt[6], so kann die Spannungsänderung als Maß für deb Weg genutzt werden.

Ultraschallwegmessung

Das von einem Sender emittierte Tonsignal wird nach Reflexion der Schallwelle am zu vermessenden Objekt mit einer zeitlichen Verzögerung Δt vom Empfänger aufgenommen. Diese Verzögerung kann durch Korrelation der beiden Signale bestimmt werden. Bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit a der Schallwellen ergibt sich die Entfernung e zum Objekt zu:

$$e = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t \tag{2}$$

Da dieses Messverfahren auf das Echo des emittierten Signals angewiesen ist, bestehen Anforderungen an die Reflexionseigenschaften des Messobjektes. Diese sind von dessen Form und Material abhängig. In der Regel werden für akustische Abstandssensoren Ultraschallsender verwendet. Ultraschall dringt zwar stärker in das Material ein und wird somit auch stärker absorbiert, ist aber mit seiner hohen Frequenz für den Menschen nicht hörbar und bietet ein höheres Auflösungsvermögen als Schall niedrigerer Frequenzen.

1.1.5 Informieren Sie sich über die Funktionsweise eines Michelson-Interferometers!

Das Michelson-Interferometer besteht aus einem Strahlteiler, einem feststehenden Reflektor(Referenzwelle), einem beweglichen Reflektor(Meßwelle), einem Strahler(Laser) und einem Empfänger. Statt einfacher Planspiegel werden Tripelprismen verwendet. Dies hat zur Folge, dass die Welle die Wegstrecke vom Strahlteiler zum Reflektor vierfach, anstatt zweifach, wie bei Planspiegeln, durchlaufen muß. Dadurch erreicht man eine Verdopplung der Meßempfindlichkeit gegenüber einer Planspiegelanordnung(2).
Durch Anordnung eines zweiten Empfängers im Interferenzbild, welcher zum ersten versetzt angeordnet ist, erhält man zwei phasenverschobene Signale (ideal sind 90°, Sin/Cos-Signale). Es ergibt sich die Wegänderung Δs mit:

$$\Delta s = \frac{\lambda \cdot m}{2n(p, f, \vartheta)} \tag{3}$$

m... Zählimpuls (Hell/Dunkeldurchgang)
λ... Strahlerwellenlänge
n... Brechzahl
p... absoluter Luftdruck
f... Luftfeuchte
ϑ Lufttemperatur

Über die Intensitätsmessung werden die Gangunterschiede der Wellen sehr genau ermittelt. Diese Änderungen sind proportional zum vom Messobjekt zurückgelegten Weg.

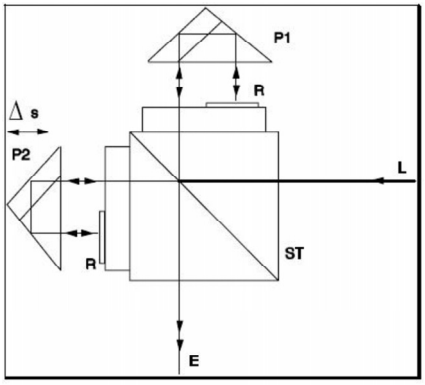

Abbildung 2: Aufbau des Michelson-Interferometers

[6] *hier* der elektrische Leiter

1.2 Aufgabenstellung

1. Skalieren Sie die Schaltungen so, daß die Ausgangssignale direkt in „mm“ angezeigt werden und stellen Sie die statischen Kennlinien aller vier Sensoren graphisch dar!

2. Nehmen Sie die Kennlinien der beiden Fasersensoren auf!

3. Ermitteln Sie die maximale Empfindlichkeit des Interferometers.

1.3 Versuchsaufbau

Die Versuchsanordnung besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil enthält die Aufbauten zu direkten Kodierverfahren. Hierzu gehören Kodelineale im Binär- und Gray-Kode sowie die dazu gehörenden Abtasteinrichtungen, die in einem Einschub des Versuchsplatzes eingebaut sind. Beim Einsatz des binären Kodelineals kann zwischen Einfach- und V-Abtastung umgeschaltet werden.
Im zweiten Teil der Versuchsanordnung befinden sich die einzelnen Sensoren, die über eine PC-Meßkarte mit dem PC gekoppelt sind. Die Signale der Kanäle der Meßkarte können mit dem Meßdatenerfassungsprogramm DASYLab ausgewertet werden. Die Signale des inkrementellen Wegmeßsystems (IAL[7]) sind mit den Digitaleingängen der Meßkarte verbunden. Die anderen Sensoren liefern Analogsignale und sind mit den Analogeingängen der Meßkarte verbunden. Die Zuordnung der einzelnen Sensoren zu dem jeweils zugehörigen Analog- bzw. Digitalkanal unter DASYLab ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Analogkanal Nr.	Sensor
0	Wirbelstromsensor
1	Widerstandsaufnehmer
2	Seilzugsensor
3	induktiver Sensor
Digitalkanal Nr.	**Sensor**
0	inkrementeller Geber (IAL) - FD1 1
1	inkrementeller Geber (IAL) - FD2 1

Tabelle 1: Kanalbelegung der Messkarteneingänge

Der Versuchsaufbau der Wegsensoren wie Wirbelstromsensor, Seilzugsensor und induktiver Sensor besteht aus einer Linearführung mit Spindelantrieb. Am Führungsschlitten starr befestigt, befindet sich der bewegliche Sensorkopf des inkrementellen Wegmeßsystems (IAL), das als Längenreferenz dient. Wahlweise können vier unterschiedliche Wegsensoren am Führungsschlitten befestigt werden. Die beiden induktiv wirkenden Sensoren werden an der linken Stirnseite der Führung mittels zweier Schrauben befestigt. Der potentiometrische Seilzugsensor (Widerstandaufnehmer) wird mit vier Schrauben auf der Grundplatte befestigt. Das Seil wird über eine Umlenkrolle geführt und am Führungsschlitten befestigt. Der Widerstandsaufnehmer zur Längenmessung kann alternativ parallel oder linear zur Referenz (IAL) arretiert werden. Die Meßsignalerfassung der verschiedenen Wegsensoren erfolgt über eine im PC eingebaute Meßwerterfassungskarte. Als Nutzeroberfläche findet das kommerziell erhältliche Programm „DASYLab “ seine Anwendung. Zum Anschluß des Interferometers verbinden Sie die Interpolatorhardware mit dem Rechner über die serielle Schnittstelle COM1. Schalten Sie die Geräte ein. Danach starten Sie die Datei „plan.exe“ im Verzeichnis „Interfer“. Überprüfen Sie die Phasenrichtigkeit der beiden Ausganssignale mittels Oszilloskopes über die beiden BNC-Buchsen (90° Phasenverschiebung ideal).

[7] inkrementelles Auflichtlängenmeßsystem

2 Versuchsdurchführung

2.1 Messdaten

Nr.	Seilzugsensor		Widerstandssensor		Wirbelstromsensor	
1	Spannung in [V]	Weg in [mm]	Spannung in [V]	Weg in [mm]	Spannung in [V]	Weg in [mm]
2	1,1870	0	0,291	0	0,006	0
3	1,1960	1	0,305	1	0,029	1
4	1,2060	2	0,455	10	0,751	2
5	1,2350	5	0,617	20	1,579	3
6	1,2820	10	0,783	30	2,462	4
7	1,3270	15	0,945	40	3,316	5
8	1,3720	20	1,106	50	4,078	6
9	1,4210	25	1,271	60	4,714	7
10	1,4690	30	1,432	70	4,744	7,05
11	1,5140	35	1,596	80		
12	1,5610	40	1,758	90		
13	1,6570	50	1,919	100		
14	1,7500	60	2,084	110		
15	1,8430	70	2,246	120		
16	1,9370	80	2,41	130		
17	2,0290	90	2,572	140		
18	2,1240	100	2,736	150		
19	2,2220	110	2,898	160		
20	2,3130	120	3,066	170		
21	2,4050	130	3,227	180		
22	2,5020	140	3,397	190		
23	2,6000	150	3,557	200		
24	2,6900	160	3,726	210		
25	2,7830	170	3,89	220		
26	2,8760	180	4,058	230		
27	2,9690	190	4,228	240		
28	3,0640	200	4,398	250		
29	3,1560	210	4,5	255,635		
30	3,2490	220				
31	3,3420	230				
32	3,4380	240				
33	3,5330	250				
34	3,6260	260				
35	3,7230	270				
36	3,7660	273				

Tabelle 2: Messdaten

Nr.	induktiver Wegsensor Spannung in [V]	Weg in [mm]
1	4,276	0
2	3,323	1
3	2,292	2
4	1,288	3
5	0,269	4
6	-0,761	5
7	-1,783	6
8	-2,806	7
9	-2,97	7,175

Tabelle 3: Messdaten des induktiven Wegaufnehmers

Nr.	Interferometer Weg in [mm]	Intensitäten Phase links	Phase rechts
1	0	85	105
2	0,5	63	187
3	1	48	260
4	1,5	39	304
5	2	32	319
6	2,5	27	314
7	3	23	297
8	3,5	21	276
9	4	19	254
10	4,5	19	234
11	5	19	215
12	5,5	19	196
13	6	19	180
14	6,5	20	167
15	7	19	155
16	7,5	19	143
17	8	19	132

Tabelle 4: Messdaten des Interferometers

2.2 Auswertung

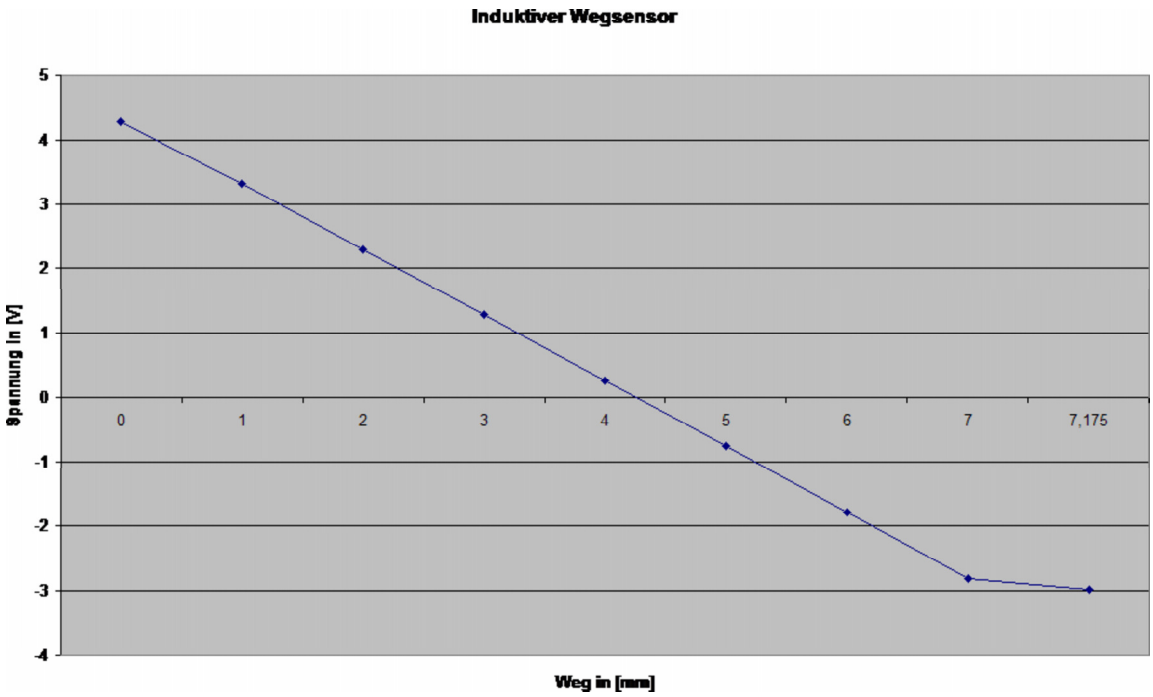

Abbildung 3: Kennlinie der induktiven Wegmesung

Durch die begrenzte Länge des Spulenkerns ist der möglche Messbereich stark eingeschränkt. Nur kleine Wege können gemessen werden.

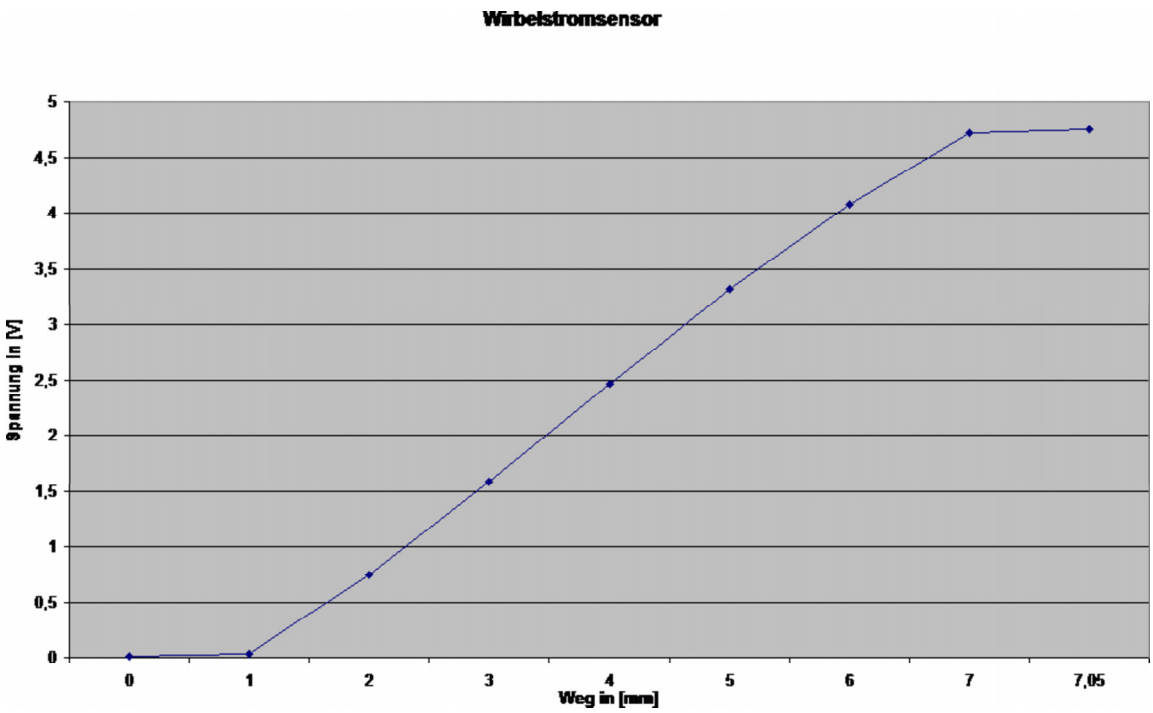

Abbildung 4: Wirbelstromkennlinie

Der Wirbelstromsensor hat diese Kennlinie nur für dieses Messobjekt. Ein Objekt mit anderen Stoff- und Geometrieeigenschaften führt zu einer anderen Kennlinie. Insbesondere die Leitfähigkeit beeinflusst die Kennlinie. Ist die Leitfähigkeit des Prüflings null, ist keine Messung möglich.

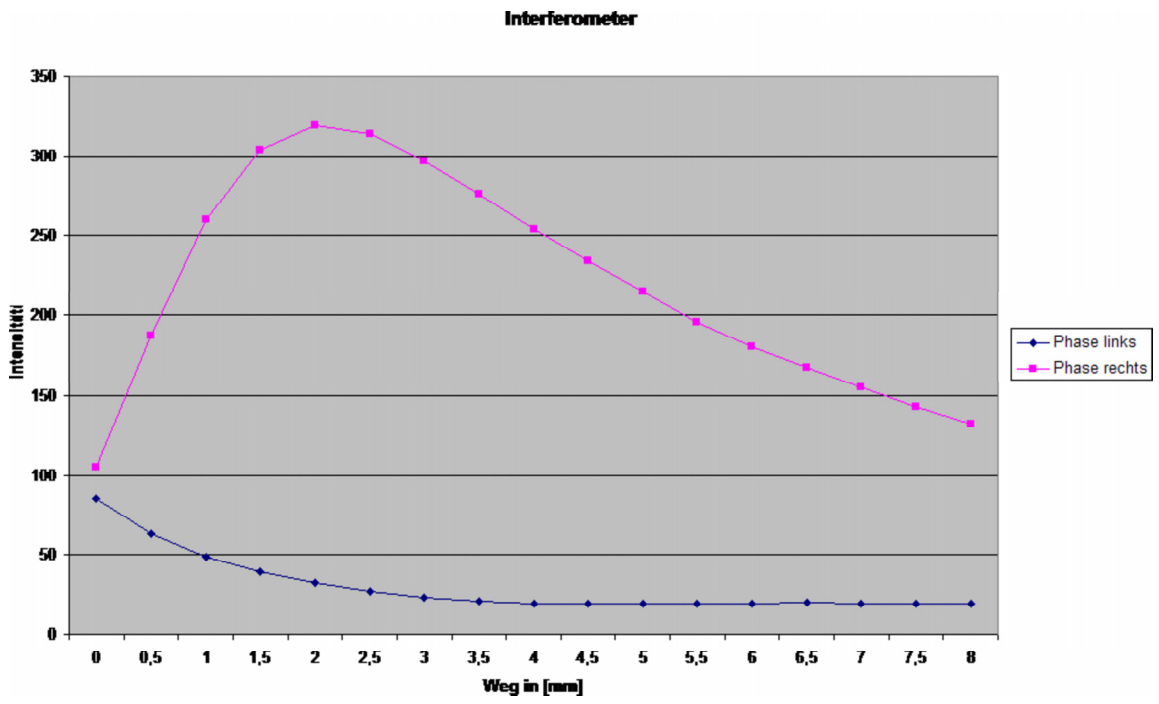

Abbildung 5: Interferometerkennlinie

Die Empfindlichkeit des Interferometers hängt von der Wellenlänge des verwendeten Laserlichts und der verwendeten Spiegel, beziehungsweise Prismen ab. Sie kann durch die bekannten Eigenschaften zweier verschobener Sinusfunktionen noch weiter erhöht werden. Die Messergebnisse des Interferometers werden durch Umgebungseinflüsse, wie Vibrationen, Temperatur, Luftdruck, Staub zum Teil stark beeinflusst. Daher ist eine Messgenauigkeit im Nanometerbereich, wie hier gewählt nicht sinnvoll. Es wird keine exakte 90° Phasenlage zwischen beiden Signalen erreicht.
Bei der Intensitätsmessung muss die äußere Lichteinstrahlung beachtet werden. Es wird durch Wahl einer geeigneten Frequenz der Einfluss der Umgebungsfrequenzen(künstliches Licht, Bildschirm) gering gehalten.

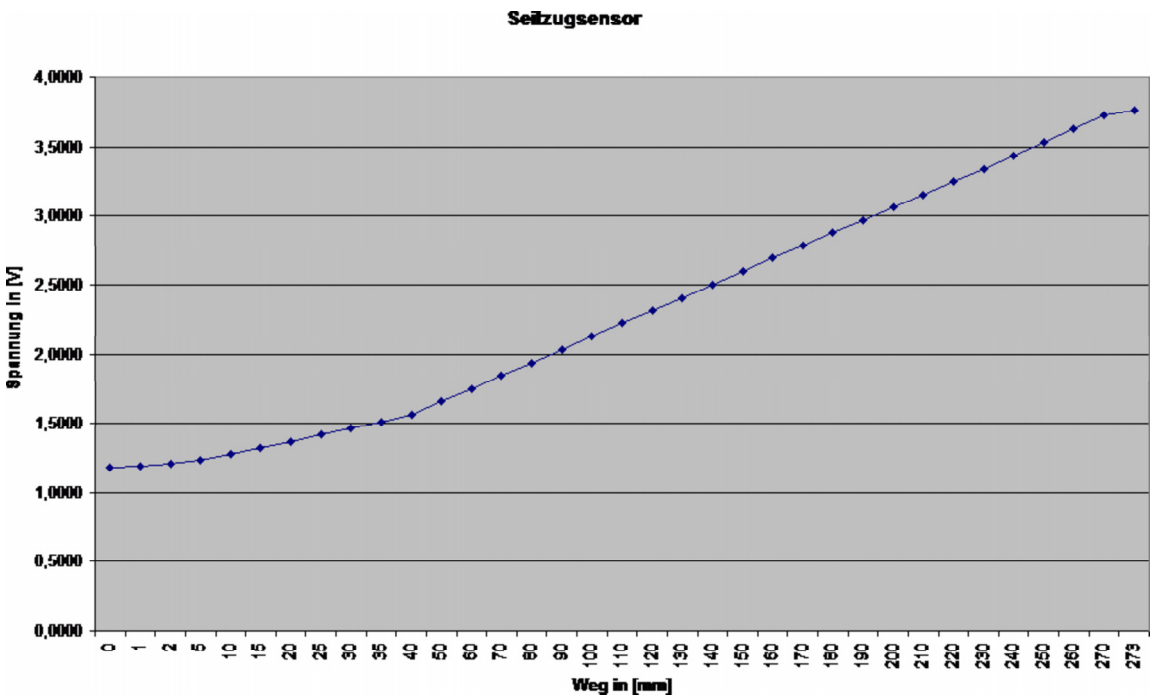

Abbildung 6: Kennlinie des Seilzugsensor

Die Kennlinie ist sehr linear. Bei zu kleinen und zu großen Auslenkungen kommt man in Aussteuerbereiche. Zur genaueren Wegmessung mit dieser Methode müsste ein Temperaturwiderstand als Referenz installiert sein. Durch den mechanischen Aufbau können hier allerdings Kippfehler auftreten.

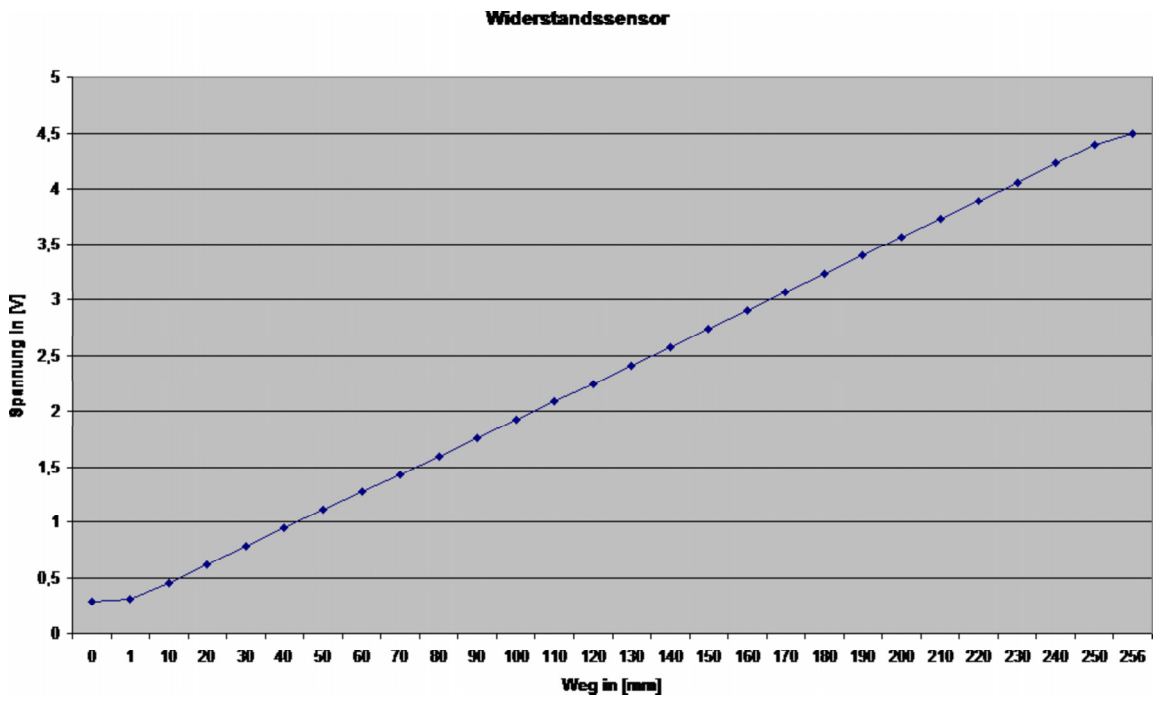

Abbildung 7: Kennlinie der Widerstands-Wegmessung

3 Literatur

- Schrüfer, E. Elektrische Meßtechnik: Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen. - Carl Hanser Verlag; München, Wien; 1992.
- P.Hauptmann: Script zur Vorlesung „Messtechnik“
- http://www.uni-magdeburg.de/imos/mea_sen/docs_de/lehre.html
- http://www.mrt.uni-karlsruhe.de/download/A2.pdf
- http://www.wikipedia.org