

Fehlerbetrachtung für Seilzugsensoren

1. Allgemeines

Die nachfolgenden Ausführungen sollen praxisnah darstellen welche Fehlereinflüsse beim Einsatz von handelsüblichen Seilzugsensoren auftreten und somit berücksichtigt werden sollten. Fehlereinflüsse, die zwar rechnerisch auftreten, aber so klein sind, dass Sie um Faktoren geringer ausfallen als die „Hauptfehler“, bleiben weitgehend unberücksichtigt. Insbesondere ist dabei auch zu beachten, dass viele von den verwendeten messtechnischen Grundbegriffen nicht normiert sind und teilweise sehr unterschiedlich interpretiert werden.

2. Fehler

2.1 Empfindlichkeitsabweichung

Als Empfindlichkeit wird das Verhältnis zwischen Weg und Signal verstanden, also welches Signal bzw. welche Signaländerung erhält man pro Weg bzw. Wegänderung.

Bei der Verwendung eines Drehgebers ergibt sich die Normempfindlichkeit aus Anzahl der Bits (pro Drehgeberumdrehung) / abgewickelte Seillänge. Bei der Verwendung von analogen Sensorelementen (Potentiometer) wird sie je nach Art des Signalausgangs in mV/mm, mA/mm oder mV/Vmm angegeben.

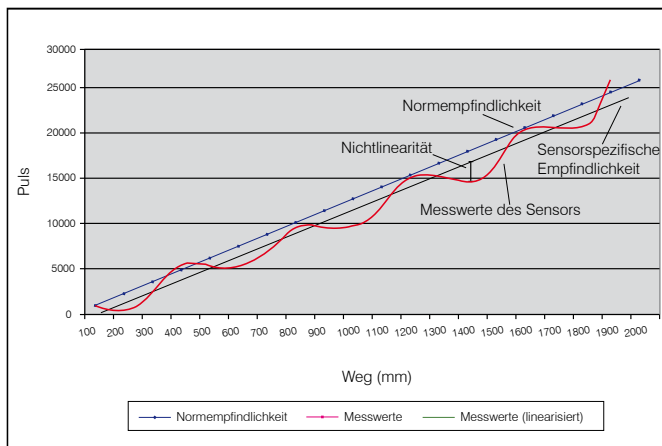


Bild 1: Empfindlichkeitsabweichung

Beispiel:

A) WDS-15000-P115 Seilzug (315,07mm/U) mit Drehgeber 12 Bit/Umdrehung.

Daraus ergibt sich eine Empfindlichkeit von 4096 Pulsen/ 315,07 mm = 13 Pulse/mm.

(Der Kehrwert ist dann die Auflösung:
315,07 mm / 4096 = 0,077 mm)

Die abgewickelte Seillänge/Umdrehung berechnet sich dabei aus (Trommeldurchmesser + Seildurchmesser)* π . Somit beeinträchtigen Fertigungstoleranzen der Trommel und des Seils die Sensorempfindlichkeit. Diese liegen bei ca. $\pm 0,03\%$ für den Trommeldurchmesser und bei +8% für den Seildurchmesser. Damit gibt

es neben der „Normempfindlichkeit“ von 13 Pulse/mm einen sensorspezifischen Wert (schwarze Gerade im Bild), der nur für einen Sensor gilt und für jeden Sensor individuell ermittelt wird. (vgl. 3) Dieser Wert wird auf dem Messprotokoll festgehalten und mit dem Sensor / der Sensormechnik ausgeliefert. Wenn eine Seilzugmechanik ohne Drehgeber ausgeliefert wird, bezieht sich dieser Wert auf den bei Micro-Epsilon verwendeten Referenzdrehgeber. Wird in der Anwendung ein Drehgeber mit einer anderen Pulszahl verwendet muss dieser Wert entsprechend umgerechnet werden.

B) WDS-15000-P115 Seilzug mit Hybridpotentiometer und potentiometrischen Ausgangssignal.

Genauso wie in Beispiel A) gibt es aus oben angeführten Gründen eine Normempfindlichkeit und eine tatsächliche Empfindlichkeit. Diese wird in mV/Vmm angegeben und liegt für diesen Sensor typischerweise bei 0,067 mV/Vmm. Die Auflösung wird bei analogen Ausgängen durch das Rauschen der verwendeten Elektronik begrenzt.

In der Praxis kann diese Empfindlichkeitsabweichung (= „Übersetzungsgenauigkeit“ bzw. Steigungsfehler) relativ leicht z.B. durch 2-Punktkalibrierung oder durch Verwendung der sensorspezifischen Empfindlichkeit kompensiert werden. Selbstverständlich kann der Sensor auch mit der Normempfindlichkeit verwendet werden, jedoch ergibt sich dann ein Fehler in der Größe des Abstandes der beiden im Bild dargestellten Geraden. Dabei wird der absolute Fehler mit zunehmender Auszugslänge immer größer. Wird er prozentual ausgedrückt bezieht er sich daher in der Regel auf den aktuellen Messwert.

2.2 Linearität

Unter Linearität (= „Nichtlinearität“ bzw. „Linearitätsabweichung“ oder unabhängige (nicht-) Linearität) wird die maximale Abweichung zum linearen Sensorverhalten verstanden. In der Regel wird diese Abweichung auf die tatsächliche Empfindlichkeit des Sensors (wie im Bild dargestellt) bezogen und in Prozent vom Messbereich angegeben (=f.s.o.: full scale output = d.M. des Messbereichs). In seltenen Fällen wird sie auf Normempfindlichkeit bezogen und dann als „absolute“ (Nicht-) Linearität bezeichnet.

2.2.1 Sensoren mit Encoder

Beispiel für WDS-15000-P115: Linearität = $\pm 0,015$ d.M.

MB = 15000 mm, somit ist die zulässige Linearitätsabweichung

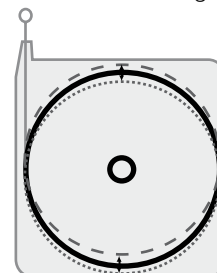
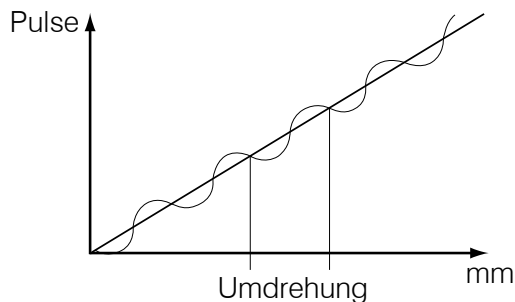


Bild 2: Fehler durch Toleranzen an Welle, Trommel und Lager



$\pm 0,015\%$ von 15000 mm = +2,25 mm.

Bild 3: Fehler bei jeder Trommelumdrehung

Die Ursache für diesen Fehler sind Trommelunrundheiten, Exzentrizitäten von Lager und Welle sowie Änderungen im Seildurchmesser. Dabei wirken Trommelunrundheiten und Exzentrizitäten bei jeder Trommelumdrehung gleich. Somit überlagert dieser Fehler die Empfindlichkeitskurve sinusförmig mit einer Schwingungsbreite von einer Trommelumdrehung. Der volle absolute Fehler kann dabei bereits innerhalb der ersten Umdrehung auftreten, er wird also nicht größer je weiter das Seil ausgezogen wird.

Dies hat zur Folge das Sensoren der gleichen Baureihe aber unterschiedlicher Messbereiche in Bezug auf die Linearität unterschiedlich spezifiziert werden, da der absolute Fehler gleich groß ist.

z. B. WDS-15000-P115: Linearität $\pm 0,015\%$ d.M.

WDS-7500-P115: Linearität $\pm 0,03\%$ d.M.

Allerdings kann dieser Fehler in der Regel nicht oder nur sehr auf-

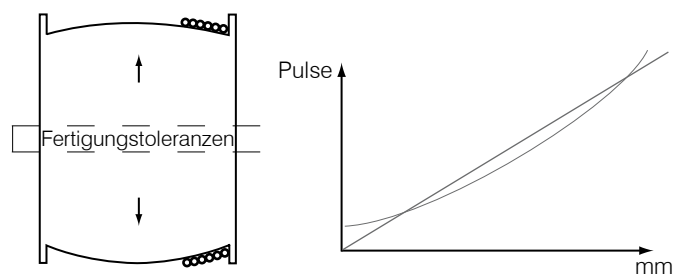


Bild 4: Fehler durch Fertigungstoleranzen

wendig kompensiert werden.

Neben den Effekten, die bei jeder Trommelumdrehung gleich wirken, gibt es noch weitere, die diese Kurve mit weiteren Schwingungsbreiten überlagern. Wenn z.B. der Seildurchmesser variiert kann sich diese Änderung über mehrere Trommelumdrehungen erstrecken.

Die genannten Effekte treten immer in Kombination auf, sodass die Isolation eines einzelnen Fehlers in der Praxis nicht möglich ist.

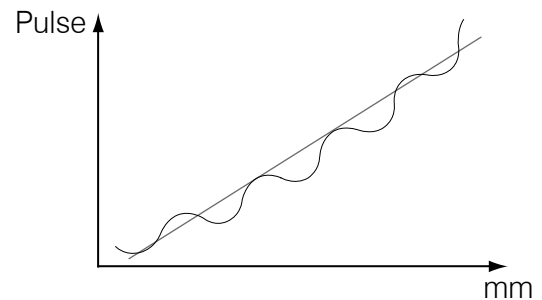


Bild 5: Beide Fehlerkurven überlagert

2.2.2 Sensoren mit analogem Sensorelement (Potentiometern)

Bei Verwendung von Potentiometern wird die gesamte Nichtlinearität des Sensors weitgehend durch die Nichtlinearität des Potentiometers bestimmt. Diese liegt typischerweise zwischen $\pm 0,1$ und $0,5\%$ d.M. Somit spielen die unter 2.2.1 beschriebenen sonstigen Effekte in der Praxis für Sensoren mit analogem Sensorelement keine Rolle.

2.3 Temperaturfehler

Bei der Verwendung von Seilzügen ergeben sich zwei unterschiedliche Arten von Temperaturfehlern. Zum einen der Temperaturfehler des Sensorelements (Drehgeber oder Potentiometer mit elektronischer Auswertung). Dieser Fehler wird, in der Elektronik üblicherweise, mit % FSO/ $^{\circ}\text{C}$ spezifiziert. Zum anderen ergeben sich „mechanische“ Fehler durch die Materialausdehnung. Davon sind im wesentlichen die Trommel und das Messseil betroffen.

Theoretisch könnte man dies für eine konstante Temperatur berechnen. In der Praxis sind aber Temperaturgradienten, also Temperaturwechsel oder unterschiedliche Temperaturen an unterschiedlichen Stellen des Seils oder Sensors, das Problem. Eine Berechnung wird dadurch praktisch unmöglich. Daher werden für Seilzüge in der Regel nur die Temperaturfehler der Elektronik bzw. des Sensorelements spezifiziert.

2.4 Wiederholfehler

Der Wiederholfehler ist systembedingt bei Seilzugsensoren sehr klein und ist etwa genauso groß wie die Auflösung, also bei digitalen Sensorelementen ± 1 bit und bei analogen Ausgängen bestimmt das durch das Rauschen der Elektronik.

Bei Veränderung des Abstandes springt der Encoder an definierten Punkten auf den nächsten Wert. Wird der Abstand an genau einem Pulswechsel erfasst, kann der Wert in einem Fall - 1 Puls, im anderen Fall + 1 Puls betragen.

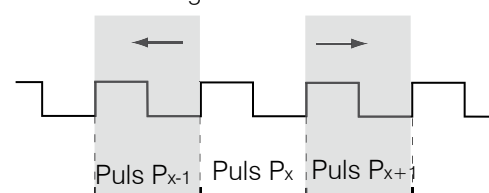
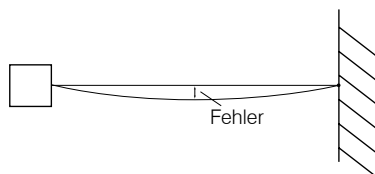


Bild 6: Beispiel Wiederholfehler

2.5 Seildurchhang

Bei einer horizontalen Montage des Seilzuges ergibt sich ein Messfehler aufgrund des Seildurchhangs. Die Größe des Durchhangs ist abhängig von der ausgezogenen Seillänge, dem spezifischen Gewicht des Seils und den Federkräften des Sensors.

Bei einem WDS-40000-P200 kann das Seil z.B. bei komplett ausgezogenem Seil bis zu 160 mm durchhängen. Dennoch ist der daraus resultierende Fehler in Vergleich z.B. zur Linearitätsabweichung (0,002% gegenüber 0,01%) eher gering und kann daher in der Regel vernachlässigt werden. Allerdings ist der dafür notwen-



dige Platz bei der Montage vorzusehen.

Bild 7: Beispiel für Seildurchhang

3. Messverfahren zur Linearitätsbestimmung

Jeder Seilzug bzw. jede Seilzugmechanik wird vor der Auslieferung auf einer Kalibrieranlage vermessen. Dabei werden die Sensorempfindlichkeit, die Linearität und die Seilkräfte gemessen und protokolliert. Als Referenzsystem dient für Messbereiche bis 6 m ein Glasmaßstab und für größere Messbereiche eine spezielle Aufwickelvorrichtung mit Drehgeber. Der Sensor wird komplett ausgezogen und wieder eingefahren und dabei in einer diskreten Anzahl von Punkten gemessen. Auf Grundlage dieser Messergebnisse und der Werte des Referenzsystems wird dann eine Regressionsgerade nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelt. Die Steigung der Regressionsgerade entspricht damit der tatsächlichen Sensorempfindlichkeit. Die maximale Abweichung der Messwerte zur Regressionsgeraden ist die spezifische Linearität des Sensors, wobei hierfür nur eine gut/schlecht Auswertung, also innerhalb oder außerhalb der Spezifikation durchgeführt wird.