

# Zusammenhang zwischen Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung bei Seilzugsensoren.

## 1. Allgemeines

Die nachfolgende Ausführung soll den Zusammenhang zwischen Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung bei Seilzugsensoren darstellen.

Oft wird eine Geschwindigkeit gefordert, mit der ein Seilzugsensor betrieben werden kann. Hierzu gibt es jedoch keine allgemein festgelegte Definition der Geschwindigkeit.

Da z. B. die maximale Geschwindigkeit oder ein Mittelwert über die zurückgelegte Wegstrecke angegeben werden kann. Hierzu werden nachfolgend die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufe über eine Periode näher betrachtet.

Der Zusammenhang zwischen Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Seilzugsensors kann am Beispiel eines Feder-Masse-Schwingers näher erläutert werden.

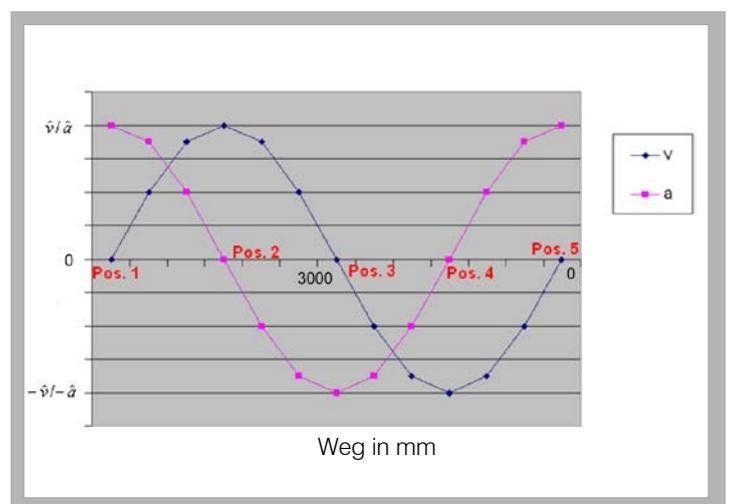
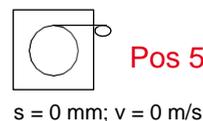
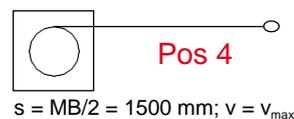
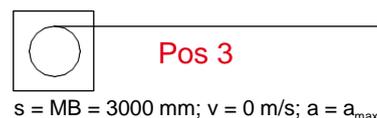
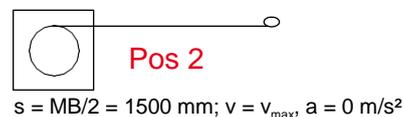
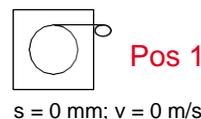
Zur besseren Verdeutlichung betrachten wir, als konkretes Beispiel das SZG-95-0300.

## 2. Randbedingungen

Ein Seilzugsensor besteht aus einer Seiltrommel auf der ein Messseil aufgewickelt wird. Das Messseil wird mit einer Feder vorgespannt. Die maximal mögliche Seilgeschwindigkeit ist stark von der Federkraft abhängig, mit der das Messseil gespannt wird. Das Messseil kann immer nur so schnell ein und ausgefahren werden, wie die Feder in der Lage ist, das Messseil gespannt zu halten. Wird das Messseil zu schnell eingefahren, so dass die Feder das Messseil nicht mehr straff halten kann, fällt es von der Trommel und der Sensor wird beschädigt.

Aus mechanischen Gesichtspunkten muss das Messseil im eingezogenen Zustand und im voll ausgezogenen Zustand immer die Geschwindigkeit 0 m/s besitzen. Um die maximale Geschwindigkeit erreichen zu können und um die zuvor genannten Randbedingungen einhalten zu können, darf das Messseil nur bis zur Hälfte der Strecke beschleunigt werden, die zweite Hälfte muss für den Bremsvorgang genutzt werden. Die Massenträgheit, kann im Vergleich zur deutlich größeren Federkraft, in der nachfolgenden Betrachtung, für geringe Messbereiche vernachlässigt werden.

Dies wird nachfolgend an einem Beispiel gezeigt:



Grafik 1: Geschwindigkeit und Beschleunigung

Die maximale Geschwindigkeit tritt in zwei Punkten des gesamten Bewegungsverlaufes auf. Diese maximale Geschwindigkeit kann nur erreicht werden, wenn das Messseil mit der maximalen Beschleunigung betrieben wird.

Die vorherige Darstellung gilt für den Fall, dass die maximale Geschwindigkeit erreicht wird. Ein realer Geschwindigkeitsverlauf kann folgendermaßen dargestellt werden.

Die Bewegung des Messseils muss innerhalb der 3000 mm Messweg beschleunigt und abgebremst werden. Daraus folgt, dass für die Beschleunigung 1500 mm, also die Hälfte des Messweges zur Verfügung stehen.

$$s_{MR} = 2 \cdot \hat{s} = 3000 \text{ mm} \longrightarrow \hat{s} = 1500 \text{ mm}$$

$$\hat{a} = 15g = 15 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 147,15 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

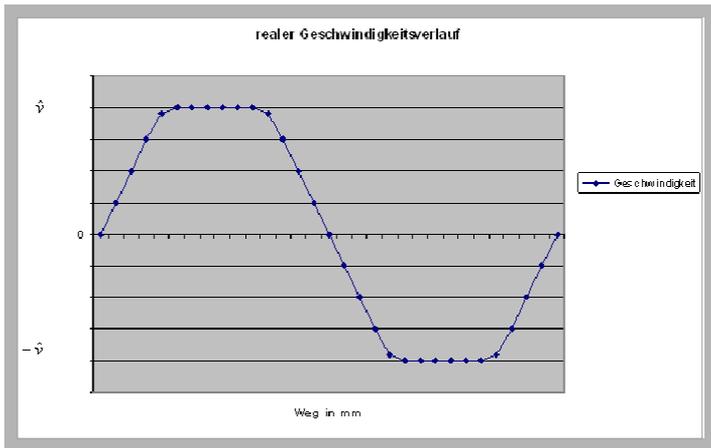
Mit diesen Angaben und folgenden Formalen Zusammenhang ergibt sich für die Frequenz

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\hat{a}}{\hat{s}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{147,15 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1,5 \text{ m}}} = 1,58 \text{ Hz}$$

Mit der ermittelten Frequenz kann die maximale Seilgeschwindigkeit errechnet werden

$$\hat{v} = \hat{s} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f = 1,5 \text{ m} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1,12 \text{ Hz} = 10,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die berechnete Geschwindigkeit  $\hat{v}$  entspricht der maximalen Geschwindigkeit. Diese Geschwindigkeit tritt nur in zwei kurzen Punkten des Bewegungsverlaufes auf. Dies verdeutlicht die nachfolgende Grafik.



Grafik 2: realer Geschwindigkeitsverlauf

Diese schematisch betrachteten Bewegungsabläufe lassen sich formelmäßig folgendermaßen darstellen.

### 3. Formale Zusammenhänge

Über den gesamten Messweg muss das Seil beschleunigt und wieder abgebremst werden. Dadurch kann nur die Hälfte des Messweges zur Beschleunigung genutzt werden.

Wir können den Seilzugsensor als einen Feder-Masse Schwinger betrachten der um  $MB/2$  schwingt.

Bei geringen Messlängen kann das Trägheitsmoment vernachlässigt werden. Die Bewegung wird als ideal angesehen.

Somit gelten folgende formale Zusammenhänge des Feder-Masse Schwingers.

$$s(t) = -\hat{s} \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

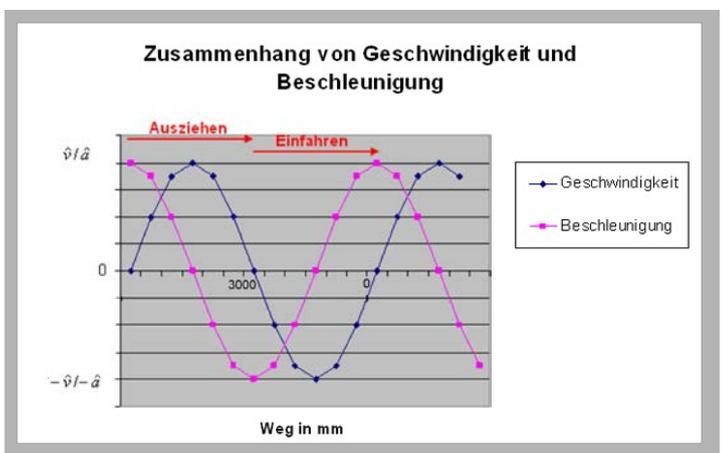
$$v(t) = \dot{s}(t) = -\hat{s} \cdot \omega \cdot (-\sin(\omega \cdot t)) \longrightarrow \hat{v} = \hat{s} \cdot \omega = \hat{s} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$a(t) = \ddot{s}(t) = \hat{s} \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t) \longrightarrow \hat{a} = \hat{s} \cdot \omega^2 = \hat{s} \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T} \longrightarrow f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\hat{a}}{\hat{s}}}$$

Betrachtet man dies für unser konkretes Beispiel des SZG95-0300 ergeben sich folgende Ergebnisse:

Messbereich  $S_{MR} = 3000 \text{ mm}$   
maximale Seilbeschleunigung  $\hat{a} = 15g$



Grafik 3: Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf

In der Grafik 3 ist der Geschwindigkeitsverlauf, sowie der Beschleunigungsverlauf über die Wegstrecke aufgetragen. Jeweils bei 1500 mm ausgezogenem Messseil tritt die maximale Geschwindigkeit auf. Dies entspricht dem berechneten Wert von 10,56 m/s.

Die Effektivgeschwindigkeit mit der der Sensor über die gesamte Messstrecke betrieben werden kann, ist deutlich geringer, als die berechnete maximale Geschwindigkeit. Die Effektivgeschwindigkeit mit der der Sensor betrieben wird, lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$v_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \hat{v}$$

Für das konkrete Beispiel ergibt sich:

$$v_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 10,56 \frac{m}{s} = 7,47 \frac{m}{s}$$

Diese Effektivgeschwindigkeit kann nur auftreten, wenn der Sensor mit der maximalen Beschleunigung betrieben wird. Dies ist unter realen Bedingungen sehr schwierig erreichbar. Die Angabe einer Geschwindigkeit mit der ein Seilzugsensor betrieben werden kann, gestaltet sich also sehr kompliziert.

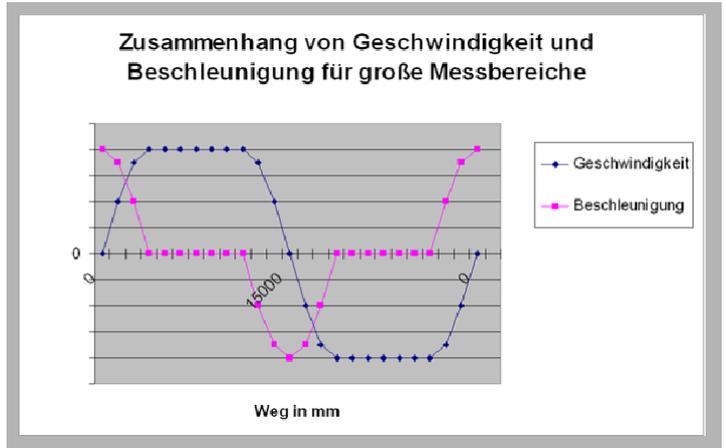
Um eine Beschädigung des Sensors zu vermeiden muss die Seilgeschwindigkeit, mit der der Sensor betrieben wird, unter der maximalen Geschwindigkeit liegen. Hohe Seilgeschwindigkeiten führen bei der Seilzugmechanik zu verstärktem Verschleiß. Um eine hohe Lebensdauer des Sensors gewährleisten zu können werden für die maximale Seilgeschwindigkeit konservativ geschätzte Geschwindigkeitswerte angegeben.

#### 4. Bewegungszyklus bei größeren Messlängen

Bei Sensoren mit größeren Messbereichen (z. B. SZG165), kann die Massenträgheit nicht mehr, wie unter Punkt 2 angenommen wurde, vernachlässigt werden. Deshalb darf der Sensor nur für eine kürzere Wegstrecke beschleunigt werden. Nach dieser Beschleunigung, wird das Messseil mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiterbewegt. Bevor die Seilbewegung wieder abgebremst wird.

Beim Einziehen des Messseils wiederholt sich dieser Vorgang. Würde der Sensor wie bei den kürzeren Messstecken länger beschleunigt werden, könnte der Sensor nicht rechtzeitig abgebremst werden. Und das Messseil würde reißen. Bei Sensoren mit großen Messbereichen tritt daher eine Grenzgeschwindigkeit auf.

Nachfolgend wird der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf bei großen Messlängen an einem Beispiel gezeigt.



Grafik 4: Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf für große Messlängen

#### 5. Empfohlene Richtwerte

In der unten folgenden Tabelle werden die empfohlenen Richtwerte für die maximale Seilgeschwindigkeit angegeben.

Diese Tabelle soll Ihnen helfen, für die verschiedenen Sensortypen eine Geschwindigkeitsaussage zu treffen.

Sensortyp	empfohlene maximale Geschwindigkeit
SZG60	10 m/s
SZG95	8 m/s
SZG140	8 m/s
SZG165-0800	8 m/s
SZG165-1000	6 m/s
SZG165-2000	5 m/s*
SZG165-4000	5 m/s*
SZG107	1 m/s
SZG50	1 m/s
SZG78	2 m/s

\*Bitte beachten Sie die Betrachtungen unter Punkt 4