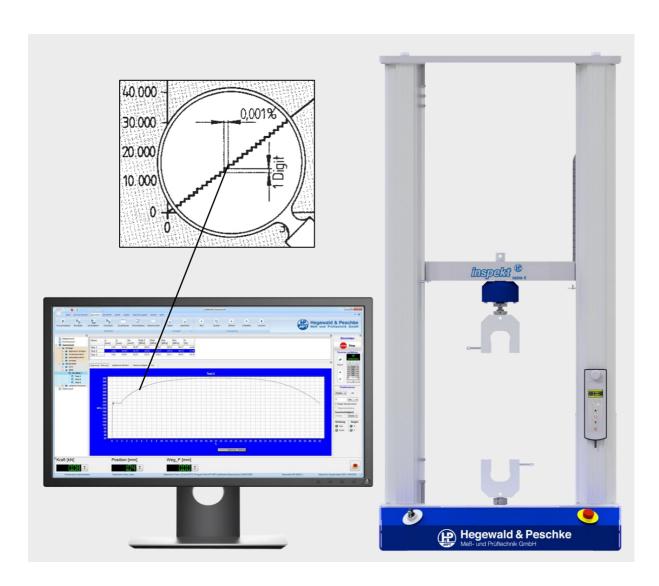


Kraftmessung in Prüfmaschinen

Der Weg vom Kraftsignal zum angezeigten Messkanal.







Wie funktioniert ein Kraftaufnehmer? A.

Prinzip Kraftmesszelle (KMZ) auf Basis von Dehnmessstreifen (DMS) **A.1**

Die Messung beruht auf der elastischen Verformung eines Federkörpers. Durch Anlegen einer Kraft entsteht eine elastische Deformation dieses Federkörpers. Diese Dehnung (Zug) oder Stauchung (Druck) wird mittels applizierter Dehnmessstreifen bestimmt.

Aus der Physik ist der Begriff einer Wheatstone'schen Brückenschaltung bekannt zur Bestimmung von ohmschen Widerständen. Dieses Prinzip wird auch in Kraftmessdosen verwendet.

Die relative Widerstandsänderung ist proportional abhängig von der Dehnung/Stauchung.

Das Ausgangssignal der Brückenschaltung gibt folglich Aufschluss über die Verformung.

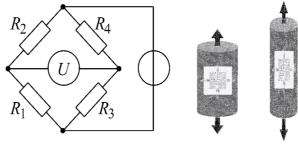
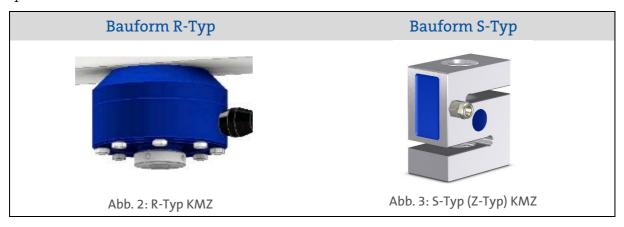


Abb. 1: Wheatstone'sche Brücke

Da die Kraft ebenfalls proportional zur Spannungsänderung ist, kann diese auf Basis einer Kalibrierung aus der ermittelten Widerstandänderung linear ermittelt werden.

Je nach Anordnung der DMS und Bauform der Kraftmesszelle unterscheidet man grundsätzlich zwischen S- oder auch Z-Kraftaufnehmern und Ring- bzw. abgekürzt R-KMZ. (S-, Z- und R-Typ KMZ). Entsprechend ihrer Bauform sind die Zellen überlast- und querkraftstabil.

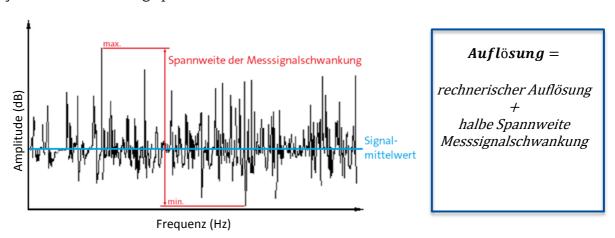




B. Die Begriffe Auflösung und Rauschen

B1. Auflösung nach DIN EN ISO 7500-1:2018

Die Auflösung einer Messung ist definiert durch die Summe der rechnerischen Auflösung der Anzeigeeinrichtung und der halben Spannweite der Messsignalschwankung, die bei eingeschaltetem Prüfgerät und unbelasteter Kraftmesseinheit (mit Berücksichtigung jeglichen elektrischen Rauschens) auftritt. Der regeltechnische Einfluss, z.B. von hydraulischen Maschinen, wird dabei nicht mit einbezogen und muss je nach Anwendung spezifisch betrachtet werden.



B2. Rauschen

Wo Signale erfasst werden, ist stets auch ein Rauschen. Aufgabe der Schaltungs- und Signaltechnik ist es, eine möglichst gute Annäherung an die von der Natur gesetzten Grenzen bezüglich Rauschminimierung zu erzielen. Der Signal-Rausch-Abstand (engl. signal noise ratio, kurz SNR) ist ein Maß für die technische Qualität eines Nutzsignals, das von einem Rauschsignal überlagert ist.



Abb. 4: Schematische Darstellung (links) und vereinfachte Formel (rechts) zur Herleitung des Signal-Rausch-Abstandes (SNR)

⇒ Um Informationen sicher aus dem Signal extrahieren zu können, muss sich das Nutzsignal deutlich vom Hintergrundrauschen abheben, das SNR muss also ausreichend groß sein.



C. Kette der Messwerterfassung

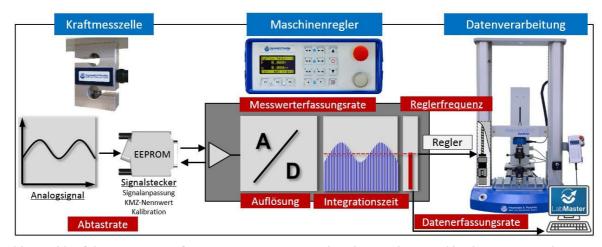


Abb. 5: Ablauf der Messwerterfassung; von einem eingehenden Analogsignal bis hin zum verarbeiteten, digitalen Signal



Begriff	Erklärung			
Abtastrate	Frequenz oder Zeitfenster mit dem der Messverstärker den Sensor abtastet.			
Messwert- erfassungsrate	Frequenz mit der der Messverstärker Werte an die Regel- und Steuereinheit übermittelt.			
Reglerfrequenz	Frequenz mit der der interne Regler arbeitet.			
Auflösung	Wert der angibt, wie exakt ein Messwert digital abgebildet werden kann.			
Filterzeit / Integrationszeit	Zeitintervall, in dem eine gleitende Mittelwertbildung über die aufgenommenen Messwerte stattfindet.			
Daten- erfassungsrate	Frequenz innerhalb derer die Messwerte an die Prüfsoftware LabMaster übertragen werden.			
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory elektronischer Speicherbaustein (u.a. Nennlast, Kalibration), dessen gespeicherte Information gelöscht/aktualisiert werden kann			
A/D	Analog-Digital Wandler (siehe Abschnitt D, S. 5)			

- ⇒ FAZIT: Für die Beurteilung der **Qualität der Kraftmessung** muss die **gesamte Messkette** beachtet werden. Das beginnt mit dem Kraftaufnehmer, der Übergabe und Verarbeitung des analogen Signals im A/D-Wandler und der Weitergabe des **Messkanal**s an den Prüf-PC bzw. als **Regelgröße** an die Prüfmaschine.
- ⇒ Folglich hängt die **Regelpräzision** zum einen von der **Kraftmesskette** ab **UND** zum anderen von der **Konstruktion des Prüfmaschinenantriebs**. Das heißt eine spielfreie Übertragung vom Motor über das Getriebe auf die Spindeln zur Bewegung der Fahrtraverse ist notwendig.



D. Der Analog-Digital Wandler (A/D-Wandler)

D1. Prinzip eines Analog/Digital-Wandlers

Der Hauptzweck eines A/D-Wandlers besteht darin, durch eine definierte Form der Abtastung, aufbereitete analoge Signale (KMZ) so in einen Strom digitaler Daten umzuwandeln, das diese zur Anzeige, Speicherung und Analyse verarbeitet werden können.

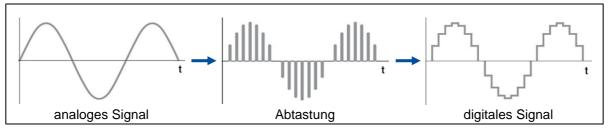


Abb. 6: Schematische Darstellung der Signalumwandlung in einem A/D-Wandler

 \Rightarrow Unter den A/D Wandlern sind bei Prüfmaschinen der Spannungs-Frequenz- (U/f) und Delta-Sigma-Wandler (Δ/Σ) die am meisten verwendeten Systeme.

D2a. Datenverarbeitung am Beispiel eines Spannungs-Frequenz-Wandler (U/f)

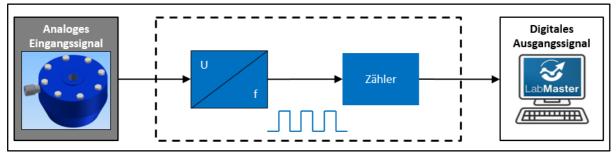


Abb. 7: Datenverarbeitung (Eingabe – Verarbeitung – Ausgabe) am U/f – Wandler

Zusammenhang Auflösung – Integrationszeit beim U/f-Wandler

Die Auflösung der Spannungs-Frequenz-Wandlung ist direkt abhängig von dem Zeitraum, in dem eine gleitende Mittelwertbildung über die vom Zähler aufgenommenen Messwerte stattfindet (=Integrationszeit). Das Zeitraster der Mittelwertbildung bildet somit die Messwerterfassungsrate.

⇒ Dies bedeutet, dass die **Abtastrate nicht gleich der Messwerterfassungsrate** ist. Eine hohe Abtastrate bringt nichts, solange die Messwerte nicht dementsprechend verarbeitet werden können!

Eine hohe **Auflösung** erreicht man nur bei hohen Integrationszeiten. "Schnelle" Vorgänge und Ereignisse wie Spitzenwerte oder Streckgrenzen werden durch die gleitende Mittelwertbildung über größere Zeitintervalle jedoch "geglättet" und somit ggf. nicht erkannt!

⇒ Aus diesem Grund ist eine hohe Auflösung nicht zwingend mit einer größeren Genauigkeit gleich zu setzen!

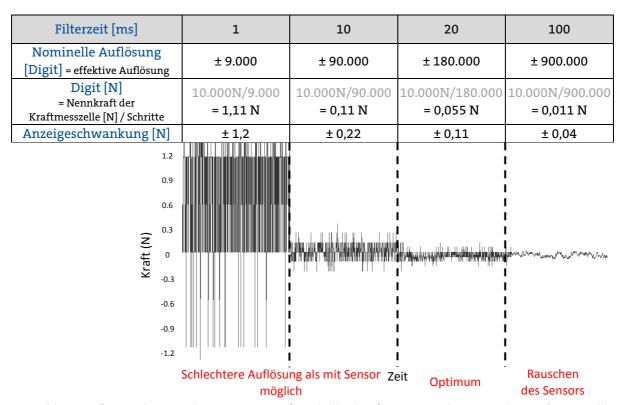
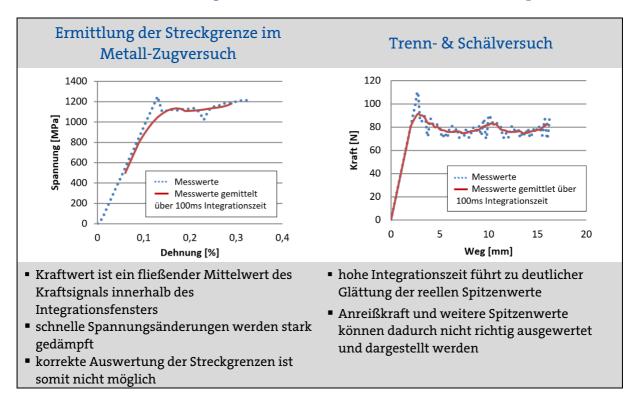


Abb. 8: Auflösung bei versch. Integr.-zeiten (s. Tabelle oben) am Beispiel einer 10 kN Kraftmesszelle

Effekte einer zu hohen Integrationszeit am U/f-Wandler an realen Beispielen





D2b. Datenverarbeitung anhand eines Delta-Sigma-Wandler (Δ/Σ)

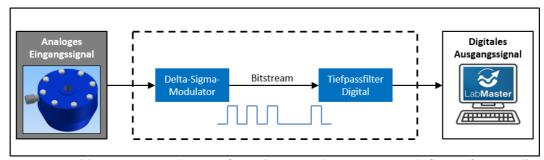


Abb. 9: Datenverarbeitung (Eingabe – Verarbeitung – Ausgabe) am Δ/Σ –Wandler

Ablauf der A/D-Signalumwandlung am Δ/Σ –Wandler

Mithilfe des Delta-Sigma-Modulators wird das **analoge Eingangssignal** der KMZ in einen Bitstream aus "0" und "1" umgewandelt. Welcher Bit-Wert dabei angenommen wird, ist abhängig vom eingehenden Analogwert.

Aus dem erhaltenen Bitstream wird ein **digitales Ein-Bit-Konvertsignal** erzeugt, welches dem Verlauf des Eingangssignals ähnelt.

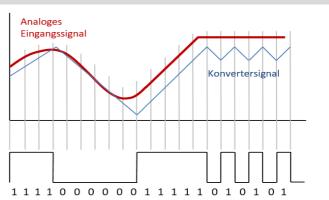


Abb. 10: Schematische Darstellung Signalwandlung am Delta-Sigma-Wandler

00	
10	
3	

Begriff	Erklärung				
Modulator	Umsetzung der Änderungen im Signalpegel → Erzeugung des Bitstreams				
Modulations- frequenz	Eingangsfrequenz des Wandlers (Bereich MHz)				
Bitstream	Erzeugtes serielles Ein-Bit-Signal, digital oder analog Analogwert steigt → Bit-Wert "1" Analogwert sinkt → Bit-Wert "0" Analogwert konstant → Wechsel zwischen "0" und "1"				
Tiefpassfilter	Durch Überabtastung und digitale Filter wird ein hochwertiges Messsignal (theoretisch bis zu 24 bit) erzeugt. Reproduzierbar ist eine so hohe Auflösung aber nicht.				
Samplingrate	Ausgabefrequenz des AD-Wandlers (Bereich kHz)				
Oversampling	Arbeitet der AD-Wandler schneller als der Hauptprozessor, so spricht man von Überabtastung (Oversampling) z.B. Ausgangsfrequenz 400 kHz & Regeltakt 1 kHz → 400-faches Oversampling				



Filterverhalten des Δ/Σ -Wandlers am Beispiel einer 10 kN-Zelle

Filterzeit [ms]	1	10	20	50	100
Nominelle Auflösung [Digit] 24 bit	±8.388.608	±8.388.608	±8.388.608	±8.388.608	±8.388.608
Effektive Auflösung des Δ/Σ -Wandlers	±300.000	±450.000	±700.000	±1.000.000	±1.400.000
Digit = Nennkraft der Kraftmesszelle [N] / Schritte	0,001 N	0,001 N	0,001 N	0,001 N	0,001 N
Anzeigeschwankung	± 0,5 N	± 0,15 N	± 0,1 N	± 0,05 N	± 0,04 N
1.2 0.9 0.6 (N) 1.2 0.3 0.3 -0.3 -0.6 -0.9		Michaelead philiphia Agharan gang phairada Pada an Affra a Affr	a poduju je klabil da podu a kaja da da Gariji saga parturji sija rijaja sagadani t		Marine Barran Colombia

Abb. 11.: Auflösung bei versch. Filterzeiten (s. Tabelle oben) am Beispiel einer 10 kN Kraftmesszelle

Das Filterverhalten der 10 kN Kraftmesszelle zeigt, dass die nominelle **Auflösung** des Δ/Σ -Wandlers grundlegend höher liegt als bei dem U/f-Wandler. Dieses Signal ist zwar von einem Rauschen überlagert, je mehr man dieses aber mithilfe einer angepassten Grenzfrequenz des Tiefpassfilters herausfiltern kann, desto höher ist die **effektive Auflösung**!

⇒ realisierbare effektive Auflösung bei guter Rauschminimierung deutlich erhöht

Im mittleren, tiefpassgefilterten Bitstream verbleibt immer ein Rest von Störsignalen in Form eines **Rauschens**. Der Anteil hängt von der Überabtastrate (Oversampling) sowie der Filterzeit des Δ/Σ -Modulators ab.

- ⇒ Rauschminimierung durch...
 - ...hohe Abtastrate im Vgl. zu Eingangsfrequenz (= Überabtastung)
 - ...lange Filterzeiten des Δ/Σ -Modulators

Wie schon bei den U/f-Wandlern, führt eine **zu lange Filterzeit** durch die Mittelwertbildung am Tiefpassfilter zur "Glättung" von Vorgängen, wie z.B. Streckgrenzen oder Spitzenwerten! Eine hohe Genauigkeit kann somit nur durch eine passend gewählte Filterzeit im Verhältnis zum "Rauschen" des Sensors erreicht werden!