

Messunsicherheit von Kraftmessketten

A graphic element for a webinar. It features a dark blue circle containing the word 'WEB' in white, followed by the word 'INAR' in dark blue. The entire graphic is set against a light gray rounded rectangle with a subtle reflection below it.

WEB INAR

Thomas Kleckers

- **Produktmanager Industrielle Messtechnik (IMS) bei HBM**
- Diplom-Physik-Ingenieur
- 16 Jahre Erfahrung Entwicklung
- Seit 2008 Produktmanager Kraftsensoren
- **E-Mail:** Thomas.Kleckers@hbm.com



Jens Boersch

Alle Infos zu unseren Webinaren und weitere Termine finden Sie hier:

- www.hbm.com/webinare



Webinare - jetzt live dabei sein!

In unseren kostenfreien Webinaren bekommen Sie Messtechnik-Wissen aus erster Hand - live oder als Aufzeichnung.

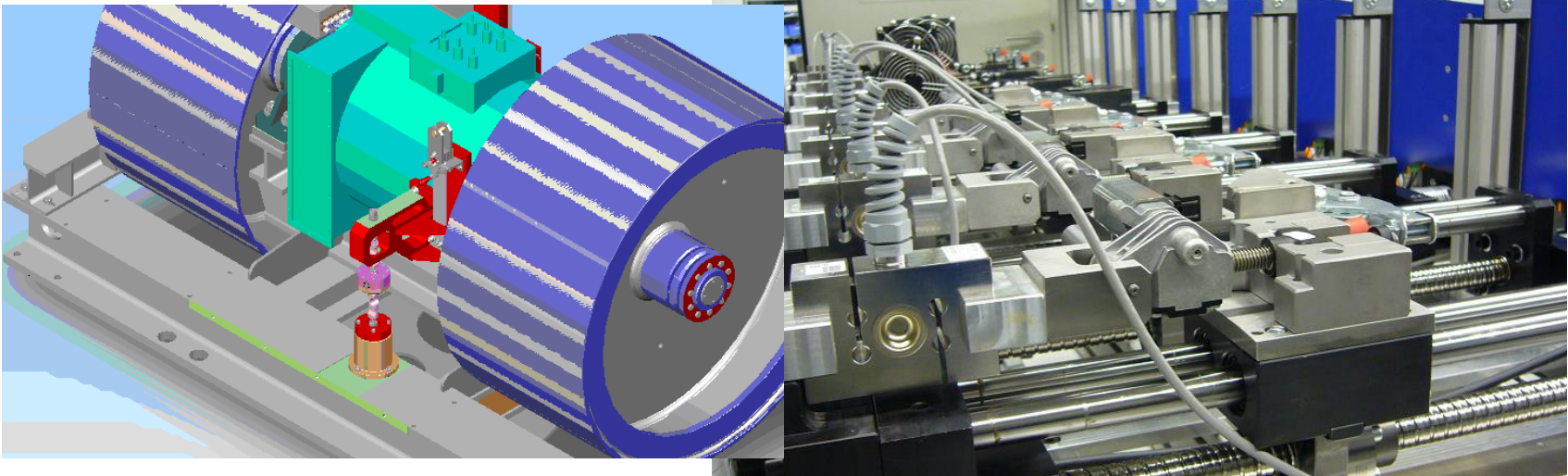
Sie wollen noch tiefer in das Thema einsteigen oder gerne in praktischen Übungen mehr Erfahrung sammeln? Hier finden Sie die Seminare der HBM Academy:

- www.hbm.com/seminare
- **Unser Tipp:** Seminartitel & Link



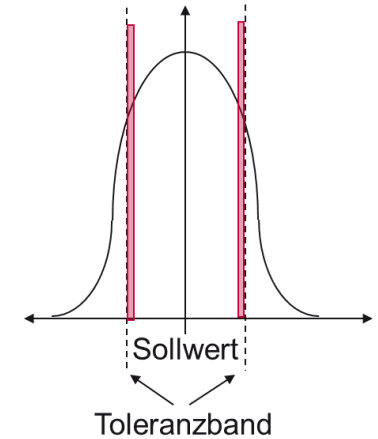
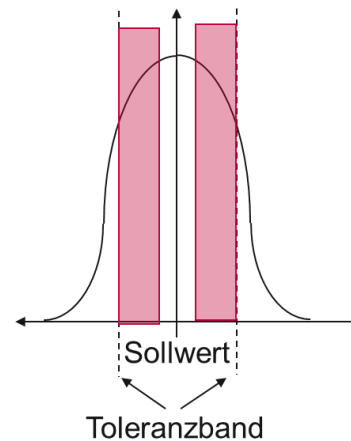
- Vorbemerkungen / Begriffe
- Genauigkeitsklassen
- Systematische Fehler
- Abschätzung der Messunsicherheit
- Beispiel
- Genauigkeit nicht gut genug?





- Neue, strengere Regularien erfordern hohe Genauigkeiten
- End-of-the-line-Tests: Geringere Toleranzen, um Ihren Ausschuss zu verringern

=> Geringere Messunsicherheit hilft, Ihre Ziele zu erreichen und garantiert Zukunftssicherheit



Prof. Werner Richter:

„Ein Messergebnis ohne Angabe der Messunsicherheit ist so unsicher, dass man besser darauf verzichten sollte.“

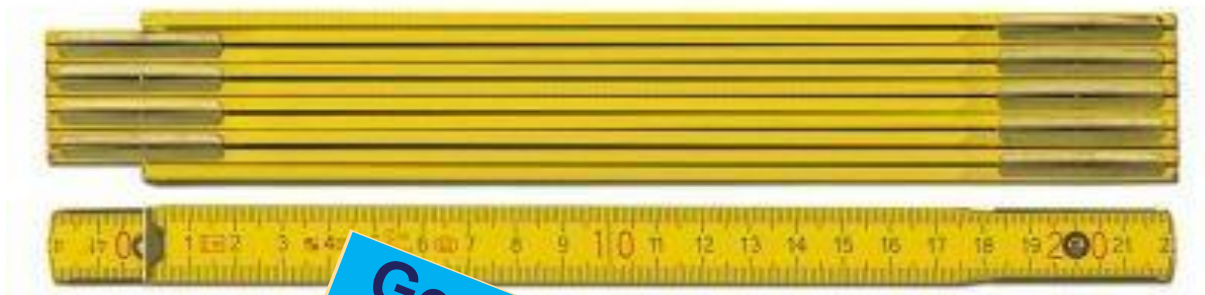
Kleckers

Es ist wichtig, zu wissen

- wie groß der Toleranzbereich einer Messung ist
- wie die Genauigkeit der Messung verbessert werden kann

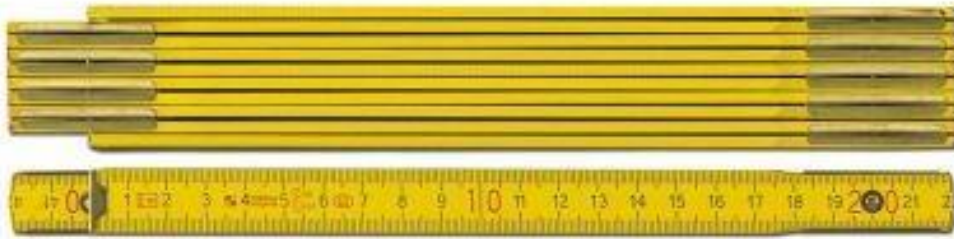
Auflösung?

Genauigkeit?



Genauigkeitsklasse ?

Auflösung?



Ein „Zollstock“ hat eine Auflösung vom 1 mm



Ein DMP41 kann 2 Mio. Ziffernschritte anzeigen. Auflösung:
 $2,5\text{mV/V}/1\text{Mio}=0,0025\ \mu\text{V/V}$

Genauigkeitsklasse ?

Technische Daten MX430B (Fortsetzung)

DMS-Vollbrücke, Brückenspeisung im Trägerfrequenzverfahren (600 Hz Sinus)		
Genauigkeitsklasse		0,01 ¹⁾
Trägerfrequenz (Sinus)	Hz	600 ± 1,5
Brückenspeisespannung (effektiv)	V	2,5; 5,0 (± 5 %)
Anschließbare Aufnehmer		DMS-Vollbrücken
Zulässige Kabellänge zwischen Modul und Aufnehmer	m	100
Messbereiche		
bei 5 V Speisung	mV/V	± 2,5; ± 5,0
bei 2,5 V Speisung	mV/V	± 2,5; ± 5,0



Technische Daten (bei 100% Kalibrierung)

Nennkraft	F_{nom}	kN MN	1,25	2,5	5	12,5	25	50	125	250	500	1,25
Genauigkeit												
Genauigkeitsklasse			0,02			0,03			0,04			0,05
Relative Spannweite in unveränderter Einbaulage	b_{rg}	%	0,02									
rel. Umkehrspanne (Hysterese) bei 0,4 F_{nom}, rel zum Messbereichsendwert	$v_{0,4}$	%		0,02		0,03		0,04		0,05		
Linearitätsabweichung	d_{lin}	%		0,02		0,025		0,035		0,05		
rel. Nullpunktsrückkehr	v_{w0}	%	0,008									

Genauigkeitsklasse ?



Messverstärker:

- Linearität
- Wiederholpräzision
- TKNull
- TK der Verstärkung


-Sensor:

- Linearitätsabweichung
- Relative Umkehrspanne (Hysterese)
- Relatives Kriechen
- Relative Nullpunktabweichung
- Relative Spannweite bei unveränderter Einbaustellung (Wiederholbarkeit)
- Temperatureinfluß auf das Nullsignal (TK0)
- Temperatureinfluß auf den Kennwert (TKC)



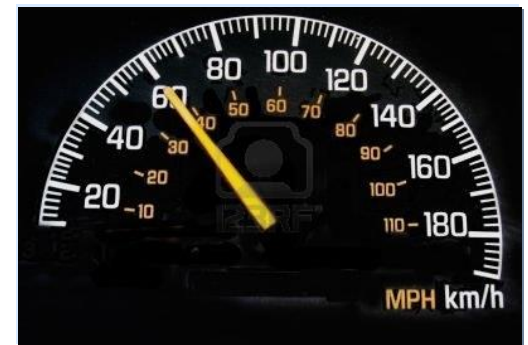
Genauigkeitsklasse ?

Jeder Hersteller macht, was er möchte!

- Kein Standard, kein Regelwerk
 - Im Allgemeinen in Prozent vom Messbereich angegeben
 - Nicht verwechseln mit
 - ▶ “Gesamtgenauigkeit”
die alle Effekte beinhaltet
 - ▶ Klassifizierung nach Normen
und Richtlinien zur Kalibrierung
(wie z.B. ISO 376 oder DIN 51309)
-
- 
- **Aufnehmer verschiedener Hersteller lassen sich nicht mit der Genauigkeitsklasse vergleichen**
 - **Die Genauigkeitsklasse kann nicht zur Abschätzung der Messgenauigkeit dienen**
 - **Den passenden Verstärker zu einer gegebenen Messaufgabe zu suchen- das geht!**

Betrag und Vorzeichen sind bekannt oder vorhersehbar

→ Sind zu korrigieren



Beispiel

Vorlast durch Einbauteile:
=> Tarierung durchführen



Wie „genau“ misst die Messkette?

Kommt darauf an....

Messtechnik

Hysterese
Linearitätsabw.
TKNull
TKC
Epfindlichkeit gegen-
Über parasitäre Lasten
...

Prozess

Temperaturbedingungen
Existenz von parasitären
Lasten
Feuchtigkeit
...

Auswertung

Filter
Rundungsfehler
Ableseungenauigkeit
...

Messunsicherheit

Justage

Nach Datenblatt
Nach Prüfprotokoll
Nach Kalibrierschein
...

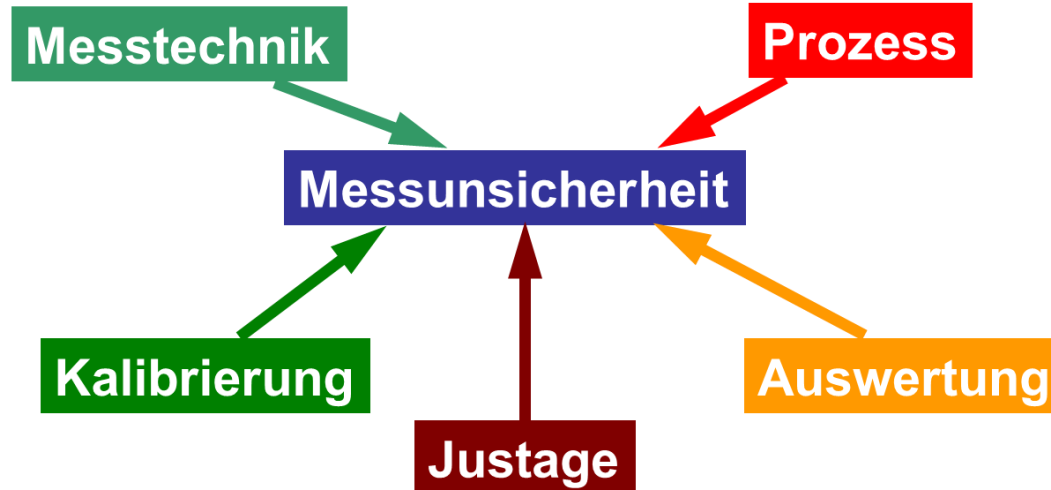
Kalibrierung

DKD-Kalibrierung?
Kalibrierung nach
Montage

Zufällige Messabweichung

Betrag und Vorzeichen sind unbekannt

→ Messunsicherheit



~~Genauigkeitsklasse
multipliziert mit dem
Messbereichsendwert~~

Anwendung des
GUM Leitfadens

Pragmatisches Vorgehen
Ein Kompromiss für die
Praxis

GUM = „*Guide to the Expression of **U**ncertainty in **M**easurement*“

(*Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen.*)

- genügt hohen Ansprüchen
- verlangt Fachwissen

Zitat aus dem GUM Leitfaden:

„Die Ermittlung der Unsicherheit ist weder eine Routineaufgabe noch eine einfache mathematische Aufgabe, sondern bedarf detaillierter Kenntnisse über das Wesen der Messgröße und der Messung.“

Methoden gemäß GUM-Leitfaden:

Methode A

- hinreichend große Zahl von Wiederholmessungen
- Bildung des Mittelwerts als „Schätzwert“
- Messunsicherheit aus der statistischen Streuung der einzelnen Messwerte

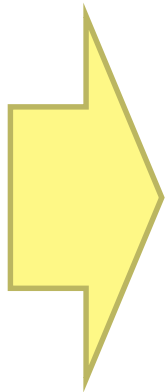
Methode B

- Verwendung von vorhandenen Informationen über die Einflüsse, die die Messunsicherheit bestimmen
- rechnerisches Zusammenfassen der einzelnen Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Methode B ist meist besser geeignet / praktikabler

Strategie zur Abschätzung einer Messunsicherheit:

- Berechnung der Einzelfehler nach Datenblatt oder Kalibrierschein
- ~~Beachtung der statistischen Eigenschaften der Einzelfehler~~
- Geometrische Addition
- ~~Belegung des Ergebnisse mit einem Faktor, um den Grad des Vertrauens zu bestimmen~~



**Stark vereinfachte Berechnung
Nicht alle Einflußgrößen berücksichtigt.**

Tipp: HBM Messunsicherheitsseminar, HBM Seminar
“Kraftmessketten



Zugkraftmessung an einem Komponentenprüfstand

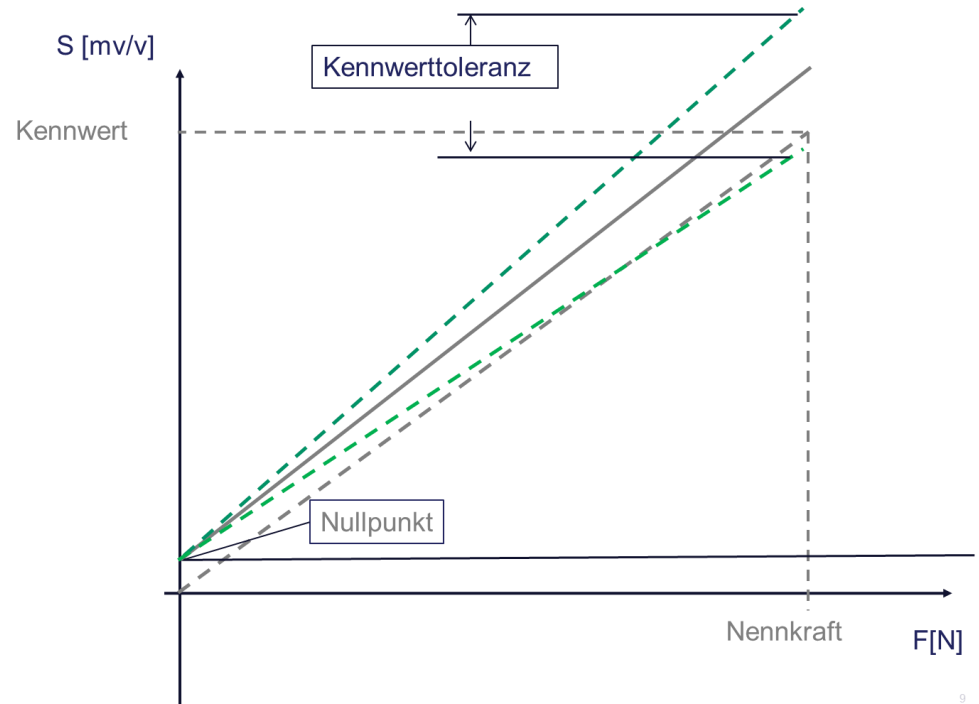
- Kraftaufnehmer U2B/5KN
 - Schwellende Zugkraft
 - Temperaturbereich
 - Prüfdauer
 - Nullabgleich
 - Justage nach Datenblatt
- Nennlast 5 kN
zwischen 0 und 1 kN
23°C bis 45°
30 min
vor jedem Prüflauf
5 kN = 2 mV/V

Aus dem Datenblatt des Kraftaufnehmers U2B:

• Kennwerttoleranz:	0.2%	(Istwert – bez.)
• Linearitätsabweichg.:	0,1%	(Endw.- bez.)
• Hysterese (Umkehrspanne)	0,15 %	(Endw.- bez.)
• TK_C :	0,1%	(Istw. – bez)
• TK_O :	0,05%	(Endw. – bez)
• Kriechen (30 min):	0,06%	(Istw. – bez.)

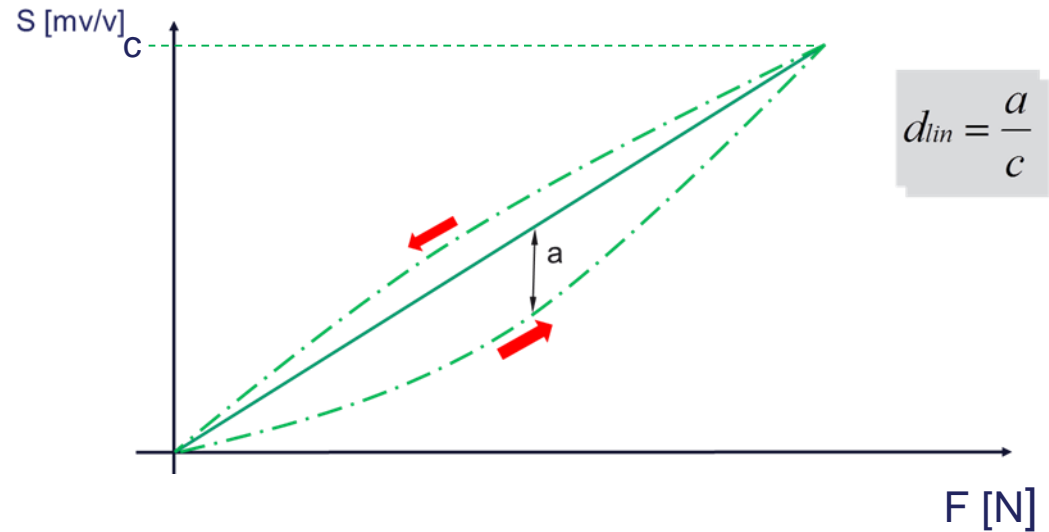


Kennwerttoleranz (Istwert-bezogen)



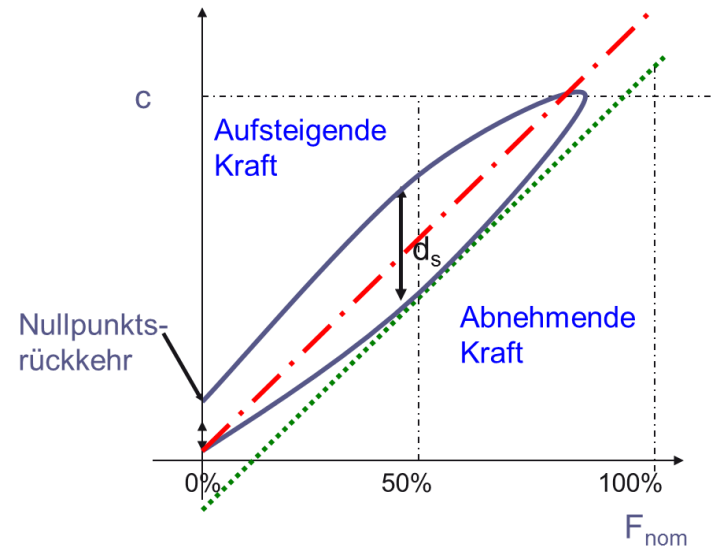
$$\Delta_{dC} = 0.2 \% \text{ von } 1 \text{ kN} = \underline{\underline{2 \text{ N}}}$$

- **Linearitätsabweichung**
(Endwert-bezogen):



$$\Delta_{d \text{ lin}} = 0,1 \% \text{ von } 5 \text{ kN} = \underline{\underline{5 \text{ N}}}$$

• Hysterese (Endwert-bezogen)



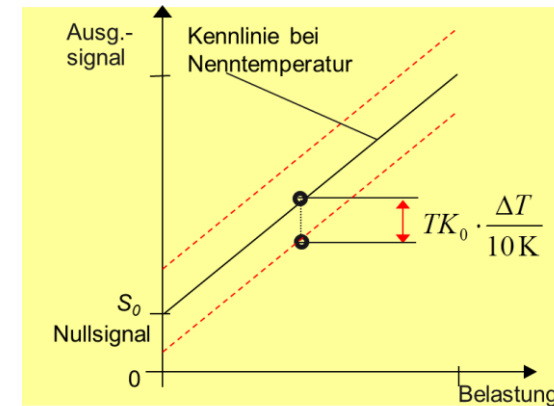
$$\nu = \frac{d_s}{C}$$

Typisch:

S2M:	0,02%
U10M:	0,02...0.05%
C9c:	0,2%

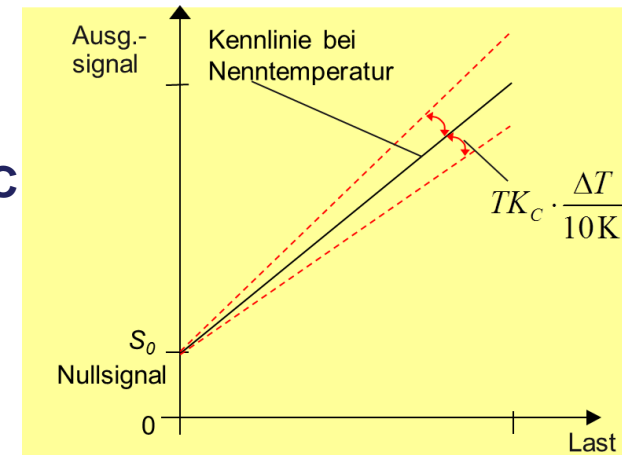
$$\Delta_{\text{hys}} = 0.15 \% \text{ von } 5 \text{ kN} = \underline{\underline{7,5 \text{ N}}}$$

- **Temp.-Einfluss auf den Nullpunkt TK_0**
(Endwert-bezogen)



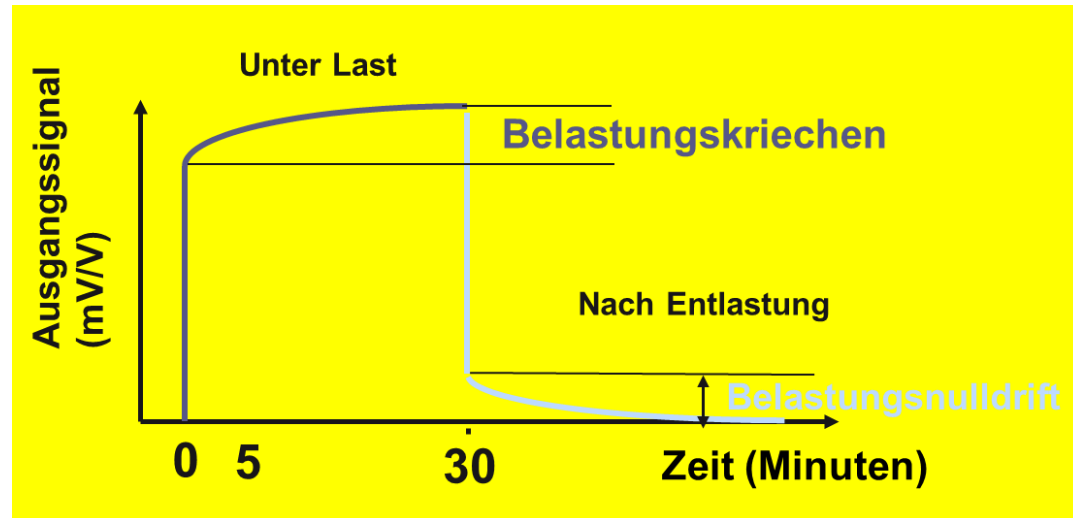
$$\Delta_{TK0} = 0,05 \% \text{ von } 5 \text{ kN} \cdot (45^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) / 10\text{K} = \underline{\underline{5,5 \text{ N}}}$$

- Temp.-Einfluss auf den Kennwert TK_C
(Istwert-bezogen):



$$\Delta_{TKC} = 0,1 \% \text{ von } 1 \text{ kN} \cdot (45^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) / 10\text{K} = \underline{\underline{2.2 \text{ N}}}$$

- **Kriechen**
(Istwert-bezogen)



$$\Delta_{cr} = 0,06 \% \text{ von } 1 \text{ kN} = \underline{\underline{0.6N}}$$

- **Kennwerttoleranz (Istwert-bezogen)**

$$\Delta_{dC} = 0.2 \% \text{ von } 1 \text{ kN} = \underline{2 \text{ N}}$$

- **Linearitätsabweichung (Endwert-bezogen):**

$$\Delta_{d \text{ lin}} = 0,1 \% \text{ von } 5 \text{ kN} = \underline{5 \text{ N}}$$

- **Hysterese (Endwert-bezogen):**

$$\Delta_{\text{hys}} = 0.15 \% \text{ von } 5 \text{ kN} = \underline{7,5 \text{ N}}$$

- **Temp.-Einfluss auf den Kennwert TK_C (Istwert-bezogen):**

$$\Delta_{TKC} = 0,1 \% \text{ von } 1 \text{ kN} \cdot (45^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) / 10\text{K} = \underline{2.2 \text{ N}}$$

- **Temp.-Einfluss auf den Nullpunkt TK_0 (Endwert-bezogen)**

$$\Delta_{TK0} = 0,05 \% \text{ von } 5 \text{ kN} \cdot (45^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) / 10\text{K} = \underline{5,5 \text{ N}}$$

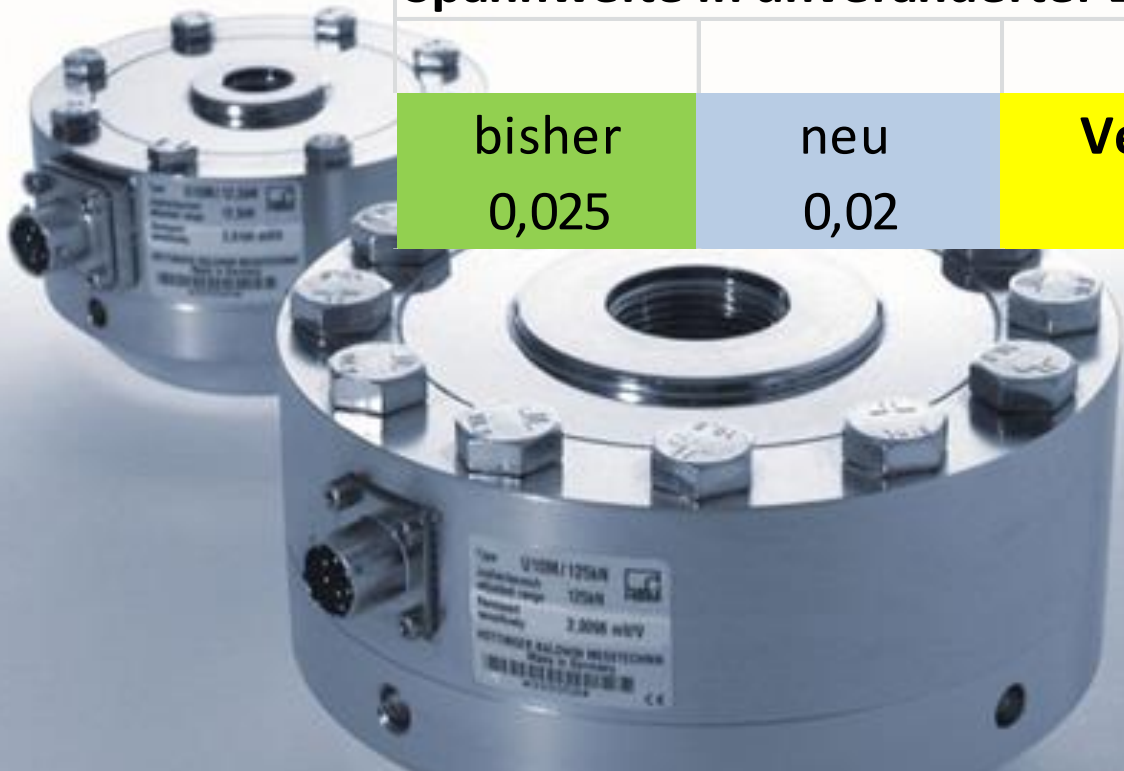
- **Kriechen (Istwert-bezogen):**

$$\Delta_{\text{cr}} = 0,06 \% \text{ von } 1 \text{ kN} = \underline{0.6 \text{ N}}$$

$$\begin{aligned}U_{\text{ges}} &\approx \sqrt{\Delta_{dC}^2 + \Delta_{dlin}^2 + \Delta_{hys}^2 + \Delta_{TKC}^2 + \Delta_{TK0}^2 + \Delta_{cr}^2} \\ &= \sqrt{(2 \text{ N})^2 + (5 \text{ N})^2 + (7.5 \text{ N})^2 + (2.2 \text{ N})^2 + (5.5 \text{ N})^2 + (0.6 \text{ N})^2} \\ &\approx \underline{\underline{10,98 \text{ N}}} \quad 21,96 \text{ N für } k=2\end{aligned}$$

Fehler: 1,1%....zu groß?? (2,2% für k=2)

- **Kleinere Nennkraft wählen**
(geringerer Einfluss endwertbezogener Fehler)
- **Temperaturschwankungen verkleinern**
(geringerer Einfluss Tknul/TKC)
- **Kalibrierschein**
(Linearitätsabweichung eliminieren, Kennwerttoleranz)



Spannweite in unveränderter Einbaustellung

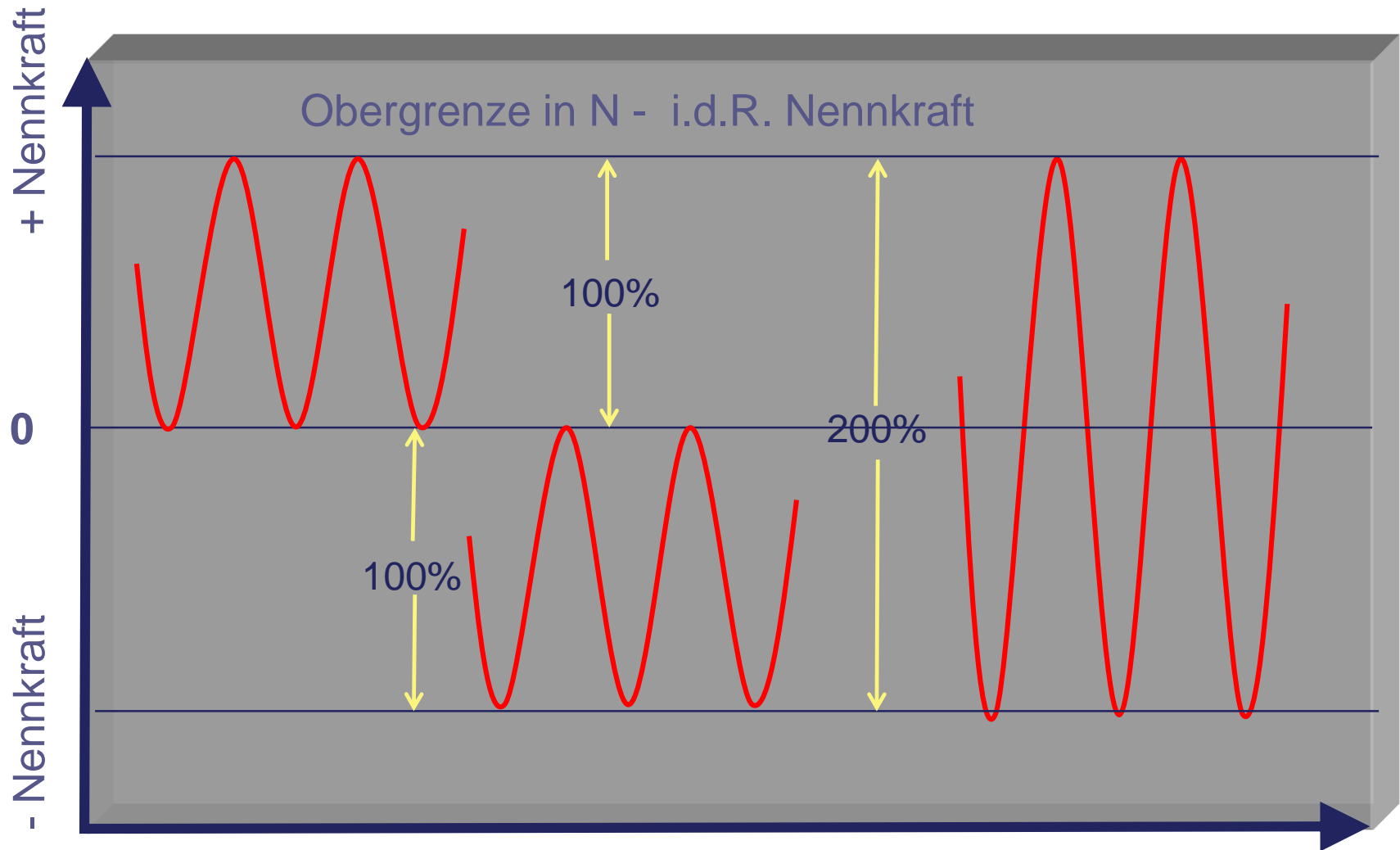
bisher 0,025	neu 0,02	Verbesserung 20%
-----------------	-------------	-----------------------------

Kriechen			
	bisher	neu	Verbesserung
1.25...5kN	0,04	0,02	50%
12.5kN ...500kN	0,025	0,02	20%

Linearität			
Nennkraft	bisher	neu	Verbesserung
1,25 kn	0,03	0,02	33%
2,5 kn	0,03	0,02	33%
5 kn	0,03	0,02	33%
12,5 kn	0,04	0,03	25%
25 kn	0,04	0,03	25%
50 kn	0,04	0,035	13%
125 kn	0,04	0,035	13%
250 kn	0,04	0,035	13%
500 kn	0,06	0,05	17%

Hysterese			
Nennkraft	bisher	neu	Verbesserung
1,25 kn	0,03	0,02	33%
2,5 kn	0,03	0,02	33%
5 kn	0,03	0,02	33%
12,5 kn	0,04	0,035	13%
25 kn	0,04	0,035	13%
50 kn	0,05	0,035	30%
125 kn	0,05	0,04	20%
250 kn	0,05	0,04	20%
500 kn	0,05	0,05	0%

Nutzung der hohen Schwingbreite: 200 % Kalibrierung



- **Kennwerttoleranz (Istwert-bezogen)**

$$\Delta_{dC} = 0.02 \% \text{ von } 1 \text{ kN} = \underline{\underline{0,2 \text{ N}}}$$

- **Linearitätsabweichung (Endwert-bezogen):**

$$\Delta_{d \text{ lin}} = 0.02 \% \text{ von } 2.5 \text{ kN} = \underline{\underline{0,5 \text{ N}}}$$

- **Hysterese (Endwert-bezogen):**

$$\Delta_{\text{hys}} = 0.02 \% \text{ von } 2.5 \text{ kN} = \underline{\underline{0,5 \text{ N}}}$$

- **Temp.-Einfluss auf den Kennwert TK_C (Istwert-bezogen):**

$$\Delta_{TKC} = 0,015 \% \text{ von } 1 \text{ kN} \cdot (45^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) / 10\text{K} = \underline{\underline{0.33 \text{ N}}}$$

- **Temp.-Einfluss auf den Nullpunkt TK_0 (Endwert-bezogen)**

$$\Delta_{TK0} = 0,0075 \% \text{ von } 5 \text{ kN} \cdot (45^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) / 10\text{K} = \underline{\underline{0.4125 \text{ N}}}$$

- **Kriechen (Istwert-bezogen):**

$$\Delta_{\text{cr}} = 0,02 \% \text{ von } 1 \text{ kN} = \underline{\underline{0.2 \text{ N}}}$$

**Fehler: 1,03 N (2,06 N für k=2)
= 0,13 % (0,26 % für k=2)**

Noch Fragen?

- Für weitere Fragen stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung: Wir freuen uns auf Ihre E-Mail: webinar@hbm.com
- Oder mailen Sie direkt dem Referenten: vorname.nachname@hbm.com



www.hbm.com