

Kalibriermatrizen für Kraft-/ Momenten-Sensoren

Viele Anwendungen erfordern, dass nur eine Achse des Kraft-/ Momenten-Sensors zu 50% bis 100% ausgenutzt wird, während die übrigen Achsen des Sensors nur bis 10% oder sogar nur bis 1% des Messbereiches ausgenutzt werden. Ein Beispiel zeigt Abbildung 1.

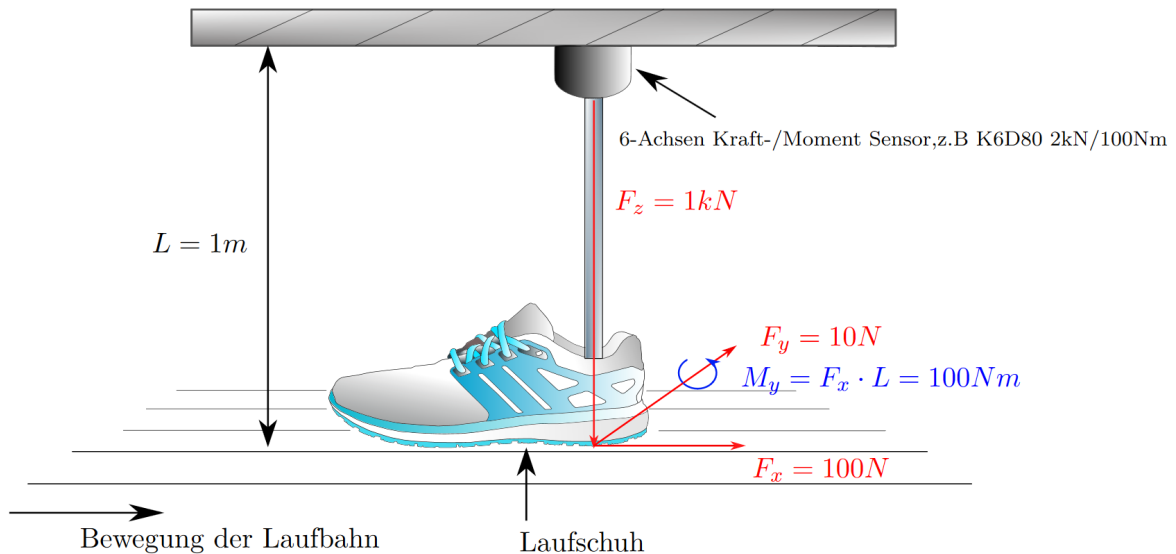


Abbildung 1: Beispiel einer Anwendung von K6D Sensoren in der Tribologie

Die ME-Meßsysteme GmbH bietet für die Unterstützung spezieller Messbereiche

- die Kalibrierung mit Teillasten zwischen 10% ... 50% der Nennlast,
- ein spezielles Kalibrierverfahren "Matrix-Plus".

Mit beiden Verfahren ist es möglich, in diesen anwendungsspezifischen Lastfällen eine optimale Genauigkeit zu gewährleisten.

Die Aufgaben der Kalibriermatrix sind

- a) die Minimierung des Messfehlers in der belasteten Messachse und ,
- b) die Minimierung des Übersprechens in den übrigen (unbelasteten) 5 Achsen.

Standard-Kalibrierung

Bei einer geringen Ausnutzung einiger Messachsen kann sich der Fehler durch Übersprechen in diesen Messachsen relativ stark auswirken, obwohl er – bezogen auf 100% des Messbereiches – deutlich unter 1% beträgt.

Erweiterte Kalibrierung „Matrix-Plus“

Die ME-Meßsysteme GmbH hat ein neues Kalibrierverfahren entwickelt, das die Anzeige in



der belasteten Messachse und die Anzeige in den unbelasteten Messachsen optimiert. Das Kennlinienfeld des 6-Achsen Sensors wird durch zwei Matrizen abgebildet. Matrix A beschreibt die linearen Zusammenhänge, Matrix B beschreibt die nichtlinearen Zusammenhänge.

Matrix-Plus mit "Standard-Nebenbedingungen"

Bei der Ermittlung der Matrizen werden spezielle Bedingungen definiert, damit die Messfehler auch bei geringer Ausnutzung des Messbereichs minimal werden. Mathematisch werden Lasten von 100%, 80%, 60%, 40% und 20% optimiert.

Matrix-Plus mit "Kalibrierung im Arbeitspunkt"

Alternativ ist auch eine Kalibrierung im Arbeitspunkt der Anwendung möglich. Bei der kundenspezifischen Kalibrierung werden die tatsächlichen Lasten und Hebelverhältnisse der kundenspezifischen Anwendung verwendet.

In diesem Fall können Genauigkeiten von 0,5% bis 0,1% vom Istwert erreicht werden.

Für die Kalibrierung müssen unter Umständen geeignete Vorrichtungen gefertigt werden, um die speziellen Hebelverhältnisse der Anwendung abzubilden. Dadurch können im Einzelfall zusätzliche Kosten und zusätzliche Lieferzeiten entstehen.

Auswahlkriterien für das Kalibrierverfahren

Für den universellen Einsatz des Kraftsensors in verschiedenen Anwendungen und mit allen Lastkombinationen ist die Standard Kalibrierung bei jeweils 100% der Nennlast die beste Wahl. Aufgrund der ausgezeichneten Linearität der Sensoren K6D insbesondere in den Messbereichen bis 1 kN und bis 100Nm bietet ein quadratischer Lösungsansatz mit MatrixPlus keine deutliche Verbesserung bei universellem Einsatz.

Bei einem definierten Einsatzfall mit einem weitgehend gleichbleibenden Lastvektor bieten sowohl die Standardkalibrierung mit Teillasten, als auch die Kalibrierung mit Teillast plus quadratischem Ansatz eine Verbesserung der Genauigkeiten auf bis 0,1% vom Istwert (quadratischer Ansatz) bzw. 0,2% (linearer Ansatz) inklusive Übersprechen.

Der Vorteil des linearen Ansatzes mit einer Standardkalibrierung ist, dass die Messverstärker GSV-8 die Berechnung der Kräfte und Momente selbsttätig vornehmen kann und am Analogausgang analoge Spannungen oder Ströme anzeigen kann. Die Berechnungen für den quadratischen Ansatz werden (bisher) nur in der Software GSVmulti oder von der kundenseitigen Datenerfassung anhand des bereitgestellten „Formelsatzes“ durchgeführt.

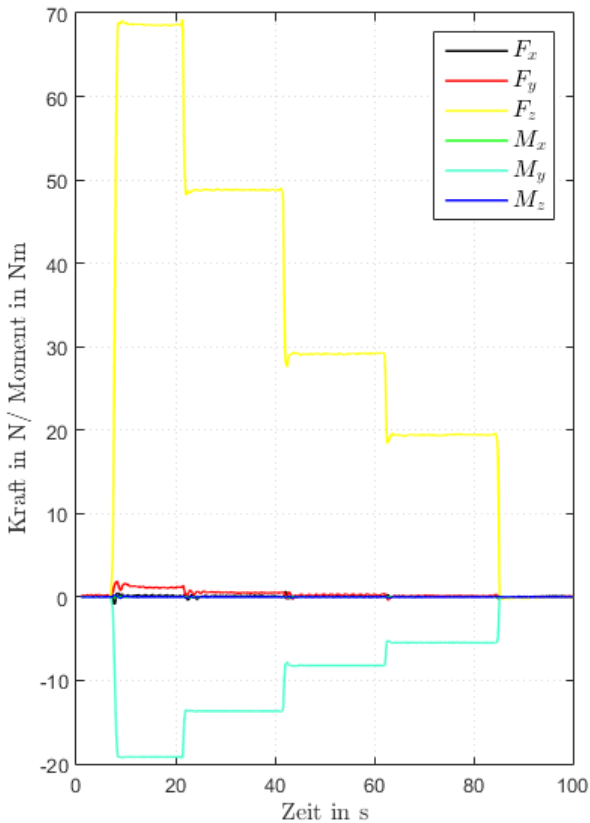


Abbildung 2: K6D40 200N/20Nm: Standard-Kalibrierung bei 100% Nennlast; Prüflast -19,233Nm, +68,69N; Anzeige bei 100%, 75%, 50% und 25% der Prüflast.

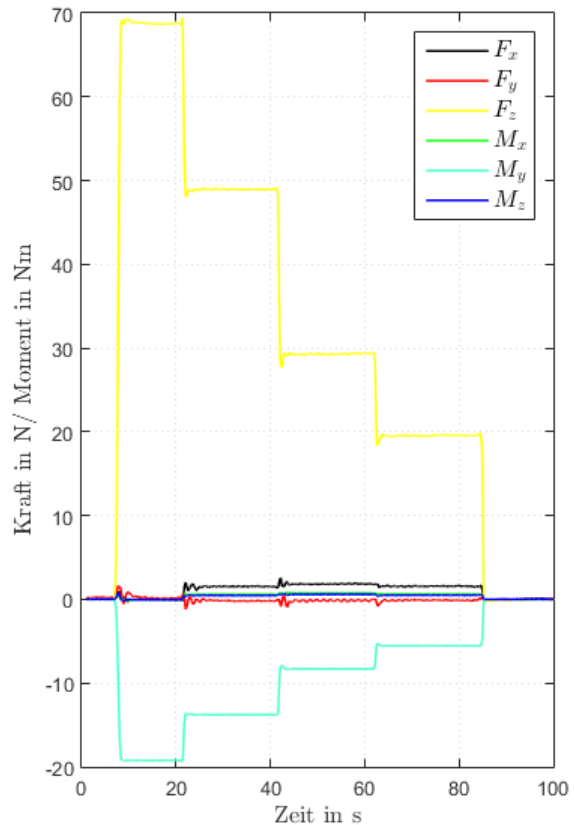


Abbildung 3: K6D40 200N/20Nm: Kalibrierung Matrix Plus bei 100% Nennlast, (keine Nebenbedingungen). Prüflast -19,233Nm, +68,69N; Anzeige bei 100%, 75%, 50% und 25% der Prüflast.

Die Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Standard Kalibrierung. Bei 100% Nennlast ist die Messunsicherheit infolge Übersprechen bei bis zu 1% der Nennlast. Mit kleineren Belastungen nimmt das Übersprechen ab, Durch die Anwendung der Matrix-Plus für die nichtlinearen Zusammenhänge werden die Messfehler bei 100% Nennlast minimiert (Abbildung 3).

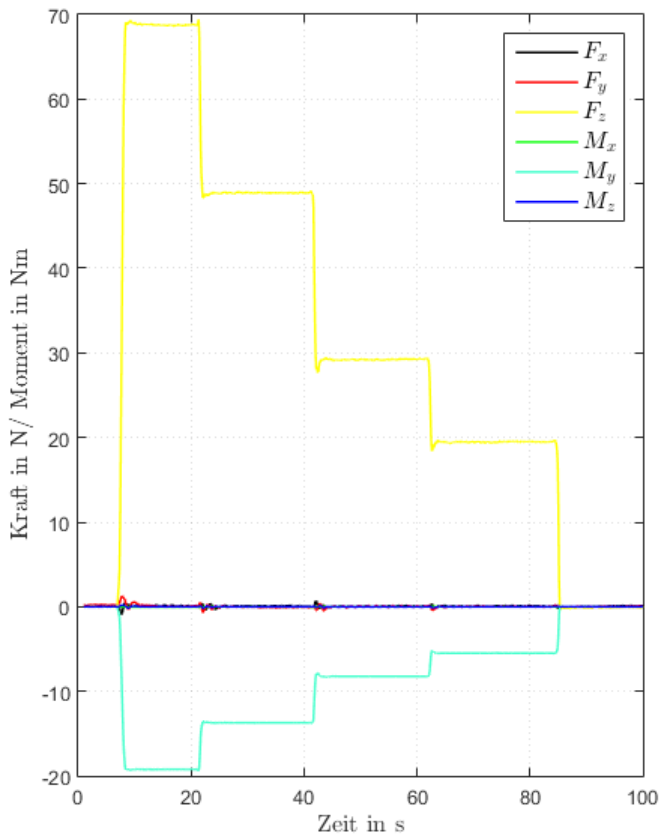


Abbildung 4: K6D40 200N/20Nm: Kalibrierung Matrix Plus mit Standard Nebenbedingung bei 100% Nennlast. Prüflast -19,233Nm, +68,69N; Anzeige bei 100%, 75%, 50% und 25% der Prüflast.

Die Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Anwendung von „Matrix-Plus“ mit Standard-Nebenbedingungen. Das Übersprechen wird bei allen Laststufen minimiert. Die Messunsicherheit infolge Übersprechens liegt bei ca. 0.2% der Nennlast in allen Laststufen.

Die Abbildung 5 zeigt ebenfalls das Ergebnis der Anwendung von „Matrix-Plus“ mit Standard-Nebenbedingungen bei 100% Nennlast (bzw. 50% Nennlast für Fz). Es werden bei jeder Prüflast die Anzeige in N bzw. Nm und die Abweichung von der Prüflast in % angegeben. Für jeden Lastvektor werden drei Wiederholungsmessungen durchgeführt. Die erweiterte Messunsicherheit mit k=2 liegt bei 0,31% für die Anzeige des Moments My.



Soll-Last	Fx (N)	Fx (%)	Fy (N)	Fy (%)	Fz (N)	Fz (%)	Mx (Nm)	Mx (%)	My (Nm)	My (%)	Mz (Nm)	Mz (%)
Fz=98.126 N;	-0.01	0.02 %	0.03	0.06 %	98.10	-0.03 %	0.00	0.00 %	0.01	0.54 %	0.00	0.01 %
Fz=98.126 N;	0.01	0.02 %	0.03	0.07 %	98.16	0.04 %	0.00	0.13 %	-0.00	0.46 %	0.00	0.02 %
Fz=98.126 N;	0.01	0.01 %	0.02	0.04 %	98.20	0.07 %	-0.00	0.38 %	0.00	0.05 %	0.00	0.02 %
Fx=-49.063 N;	-49.04	-0.04 %	-0.01	0.03 %	-0.03	0.03 %	-0.00	0.04 %	0.00	0.01 %	-0.00	0.14 %
Fx=-49.063 N;	-49.07	0.01 %	0.01	0.02 %	-0.04	0.04 %	0.00	0.01 %	0.00	0.04 %	0.00	0.01 %
Fx=-49.063 N;	-49.05	-0.02 %	-0.00	0.01 %	-0.04	0.04 %	-0.00	0.02 %	-0.00	0.16 %	0.00	0.13 %
Fx=49.063 N;	49.04	-0.04 %	0.01	0.03 %	-0.06	0.06 %	-0.00	0.01 %	0.00	0.01 %	-0.00	0.06 %
Fx=49.063 N;	49.08	0.03 %	-0.00	0.01 %	-0.04	0.04 %	-0.00	0.03 %	-0.00	0.08 %	0.00	0.01 %
Fx=49.063 N;	49.09	0.05 %	-0.01	0.03 %	-0.03	0.03 %	-0.00	0.03 %	-0.00	0.04 %	0.00	0.05 %
Fy=49.063 N;	0.02	0.04 %	49.06	-0.01 %	-0.06	0.07 %	-0.00	0.13 %	-0.00	0.02 %	0.00	0.12 %
Fy=49.063 N;	0.02	0.03 %	49.08	0.03 %	-0.02	0.02 %	-0.00	0.06 %	-0.00	0.03 %	-0.00	0.13 %
Fy=49.063 N;	-0.00	0.00 %	49.09	0.05 %	-0.04	0.05 %	-0.00	0.11 %	-0.00	0.01 %	-0.00	0.01 %
Fy=-49.063 N;	0.01	0.01 %	-49.03	-0.06 %	-0.04	0.04 %	-0.00	0.08 %	-0.00	0.01 %	-0.00	0.02 %
Fy=-49.063 N;	0.00	0.00 %	-49.05	-0.04 %	-0.05	0.05 %	-0.00	0.10 %	-0.00	0.01 %	-0.00	0.04 %
Fy=-49.063 N;	0.02	0.05 %	-49.08	0.03 %	-0.02	0.02 %	-0.00	0.12 %	-0.00	0.04 %	0.00	0.06 %
Fz=14.7189 N; Mx=1.045 Nm;	0.01	0.03 %	-0.01	0.03 %	14.69	-0.03 %	1.04	-0.10 %	-0.00	0.13 %	-0.00	0.02 %
Fz=14.7189 N; Mx=1.045 Nm;	-0.00	0.00 %	-0.01	0.02 %	14.70	-0.02 %	1.04	-0.09 %	0.00	0.05 %	-0.00	0.01 %
Fz=14.7189 N; Mx=1.045 Nm;	-0.01	0.01 %	-0.00	0.01 %	14.69	-0.03 %	1.04	-0.02 %	-0.00	0.06 %	0.00	0.00 %
Fz=14.7189 N; Mx=-1.045 Nm;	0.01	0.01 %	0.01	0.02 %	14.68	-0.04 %	-1.05	0.23 %	-0.00	0.03 %	0.00	0.01 %
Fz=14.7189 N; Mx=-1.045 Nm;	0.01	0.03 %	0.03	0.06 %	14.69	-0.03 %	-1.05	0.33 %	0.00	0.00 %	-0.00	0.01 %
Fz=14.7189 N; Mx=-1.045 Nm;	0.01	0.02 %	0.02	0.05 %	14.70	-0.01 %	-1.05	0.09 %	-0.00	0.04 %	0.00	0.00 %
Fz=14.7189 N; My=1.045 Nm;	-0.01	0.01 %	0.01	0.02 %	14.67	-0.05 %	-0.00	0.07 %	1.04	-0.47 %	0.00	0.03 %
Fz=14.7189 N; My=1.045 Nm;	0.00	0.01 %	0.02	0.05 %	14.72	-0.00 %	-0.00	0.00 %	1.05	0.28 %	-0.00	0.02 %
Fz=14.7189 N; My=1.045 Nm;	-0.00	0.01 %	0.02	0.04 %	14.69	-0.03 %	-0.00	0.10 %	1.05	0.14 %	-0.00	0.02 %
Fz=14.7189 N; My=-1.045 Nm;	-0.00	0.00 %	-0.00	0.01 %	14.68	-0.04 %	0.00	0.02 %	-1.04	-0.01 %	0.00	0.01 %
Fz=14.7189 N; My=-1.045 Nm;	-0.01	0.02 %	0.01	0.03 %	14.69	-0.03 %	0.00	0.04 %	-1.05	0.00 %	0.00	0.00 %
Fz=14.7189 N; My=-1.045 Nm;	0.01	0.01 %	0.00	0.01 %	14.70	-0.02 %	-0.00	0.13 %	-1.05	0.08 %	-0.00	0.03 %
Fy=14.7189 N; Mz=1.045 Nm;	-0.00	0.00 %	14.73	0.03 %	-0.08	0.08 %	0.00	0.01 %	-0.00	0.06 %	1.04	-0.06 %
Fy=14.7189 N; Mz=1.045 Nm;	0.03	0.05 %	14.71	-0.02 %	-0.05	0.06 %	-0.00	0.07 %	0.00	0.02 %	1.05	0.03 %
Fy=14.7189 N; Mz=1.045 Nm;	-0.00	0.01 %	14.72	-0.00 %	-0.01	0.01 %	0.00	0.03 %	-0.00	0.02 %	1.04	-0.03 %
Fy=14.7189 N; Mz=-1.045 Nm;	0.01	0.02 %	14.74	0.04 %	-0.05	0.05 %	-0.00	0.17 %	-0.00	0.01 %	-1.04	-0.08 %
Fy=14.7189 N; Mz=-1.045 Nm;	0.02	0.04 %	14.75	0.07 %	-0.03	0.03 %	-0.00	0.05 %	0.00	0.06 %	-1.05	0.14 %
Fy=14.7189 N; Mz=-1.045 Nm;	0.00	0.00 %	14.76	0.09 %	-0.04	0.04 %	-0.00	0.19 %	-0.00	0.01 %	-1.04	-0.02 %
Max		0.05		0.09		0.08		0.38		0.54		0.14
Min		-0.04		-0.06		-0.05		-0.10		-0.47		-0.08
Mittelwert		0.01		0.03		0.01		0.08		0.06		0.03
Standardabweichung		0.02		0.03		0.04		0.10		0.16		0.05
Messunsicherheit (k=2)		0.04		0.06		0.08		0.20		0.31		0.10

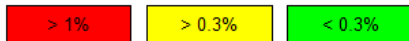


Abbildung 5: K6D27 50N/1Nm: Kalibrierung Matrix Plus mit Standard Nebenbedingung bei 100% Nennlast



Stand:	30.10.19
Version	kb-kalibriermatrix-v1.1
Bearbeiter	Holger Kabelitz
Herausgebende Stelle	Vertrieb
Freigabe durch:	Holger Kabelitz, 30.10.2019
Änderungen	Changelog Seite 6

Changelog

Version	Datum	Änderungen
kb-kalibriermatrix.odt	23.05.18	erste Fassung
Kb-kalibriermatrix-v1.1.odt	30.10.19	inkl. Absatz Matrix Plus