

Bericht Nr. 2 / 1990 zum BMFT - Verbundforschungsprojekt
" Einsatz der Mikromechanik zur Herstellung
frequenzanaloger Sensoren "

BIZERBA Werke Balingen

TE-MS-S

10.01.1991

Inhaltsverzeichnis

1. Temperaturabgleich der Resonatorwägezelle.
2. Experimente zur Schockbelastung.
3. Aufbau einer g-Referenzwaage.
4. Nachtrag zur Linearisierung.

1. Temperaturabgleich der Resonatorwägezelle.

Im Temperaturschrank wurde das Rohsignal der Wägezelle in Abhängigkeit von der Temperatur T bei Belastung mit Gewichten G von 0 kg bis 10 kg aufgezeichnet. Die Belastungsreihen sind in der folgenden Darstellung zu sehen:

		Temperatur [Grad Celsius]					
G [kg]	*	-10	0	+10	+20	+30	+40
0	* 135.500	135.427	135.357	135.309	135.281	135.262	
2	* 127.741	127.668	127.598	127.552	127.516	127.500	
4	* 120.070	120.000	119.929	119.874	119.844	119.826	
6	* 112.491	112.414	112.345	112.290	112.260	112.242	
8	* 104.987	104.916	104.843	104.793	104.762	104.744	
10	* 97.57	97.50	97.43	97.38	97.34	97.33	

Bemerkung: Vor jeder Messung bei jedem Temperaturwechsel einmalig mit 6 kg belastet.

Waage RES 4.3: Eichgewicht G, Counts und Temperaturen T.

Rohsignal = Counts = Rohzählerstand.

Der oben gezeigte Rohzählerstand ist somit eine Funktion von zwei voneinander unabhängigen Variablen, nämlich (genau) der Temperatur T und dem Gewicht G.

Auf der nächsten Seite sieht man wie das Rohsignal einer Wägezelle als Funktion mit der Temperatur aussieht.

Es handelt sich hierbei um die Änderung des Nullsignals (d.h. 0 kg auf der Lastschale der Waage).

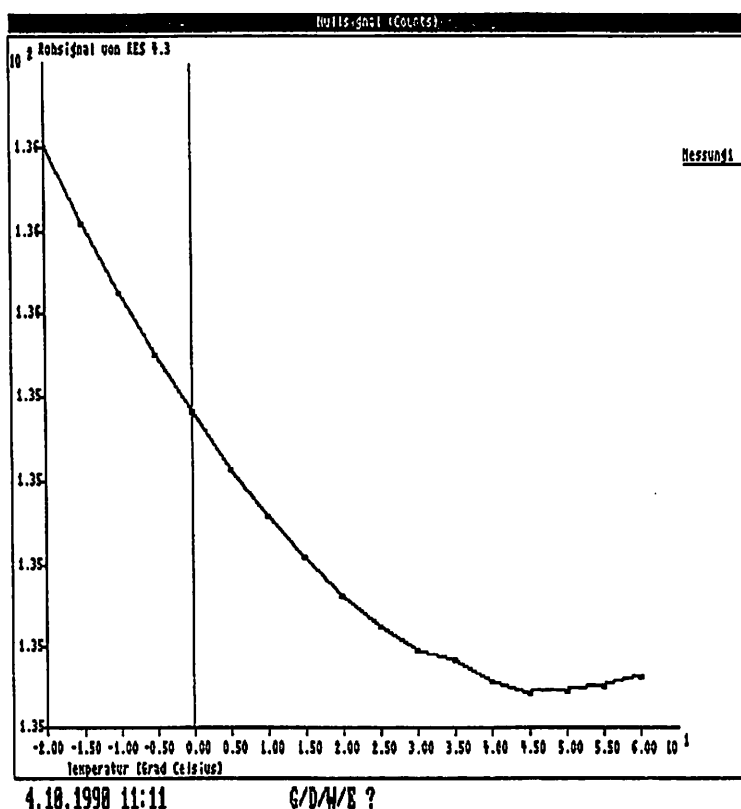


Bild 1 : Nullsignal in Abhängigkeit von der Temperatur.

Nachdem man den Signalverlauf im oben dargestellten Bild kennt, kann man die Einwirkung der Temperatur auf die Wägezelle kompensieren:

Bei 20 Grad Celsius wird mit den zu dieser Temperatur gehörenden Rohzählerständen und den zu ebenfalls dieser Temperatur gehörenden Kilogrammwerten 6 Tschebyscheffkoeffizienten, wie früher beschrieben, berechnet (1. Koeffizientensatz, zur eigentlichen Gewichtsbestimmung !). Im nächsten Schritt wird für jede Temperatur von -10 Grad bis +40 Grad (in 10 Grad Schritten) jeweils die Differenz d (temperaturabhängiges Rohzählernullsignal minus Rohzählernullsignal von 20 Grad) berechnet. Man erhält also damit 6 Werte. Aus diesen 6 Werten wurde zusammen mit den dazugehörigen Temperaturen erneut 6 Tschebyscheffkoeffizienten für die Nullsignaltemperaturkompensation berechnet. Beide Koeffizientensätze werden sofort in einem Auswertprogramm zur Gewichtsbestimmung von Eichgewichten abgespeichert. Das Ziel ist eine Fehlerkurve.

Die Temperaturkorrektur arbeitet wie folgt:

Bei der Messung im Klimaschrank (hier herrscht eine jeweilige Temperatur zwischen -10 und +40 Grad) wird die aktuelle Temperatur in das Auswertprogramm eingegeben. Hieraus wird die weiter oben beschriebene Differenz d rechnerisch ermittelt. Zum gewichtsabhängigen Zählerstand bei gegebener Temperatur wird die Differenz d hinzuaddiert. Somit entstehen hieraus für die Wägezelle immer die entsprechenden ursprünglichen Rohzählerstände von 20 Grad Celsius (aus ihnen wurde ja der 1. Koeffizientensatz berechnet). Mit den so korrigierten Rohzählerständen wird nun

die Softwarelinearisierung, d.h. die eigentliche Kilogramm-berechnung, durchgeführt. Es erfolgt keine TKC-Korrektur! Die Ermittlung der angezeigten Gewichtswerte aus den rohen Messdaten geschieht also wie folgt:

1. Messung der aktuellen Temperatur.
2. Rückrechnung der Daten auf die Bezugstemperatur von 20°C.
3. Linearisierung der, auf die Bezugstemperatur rückgerechneten, Daten.

Im nächsten Bild kann man die Fehlerkurve von -10°C betrachten (die Fehlergrenze beträgt für alle im Bericht gezeigten Bilder 6000 d).

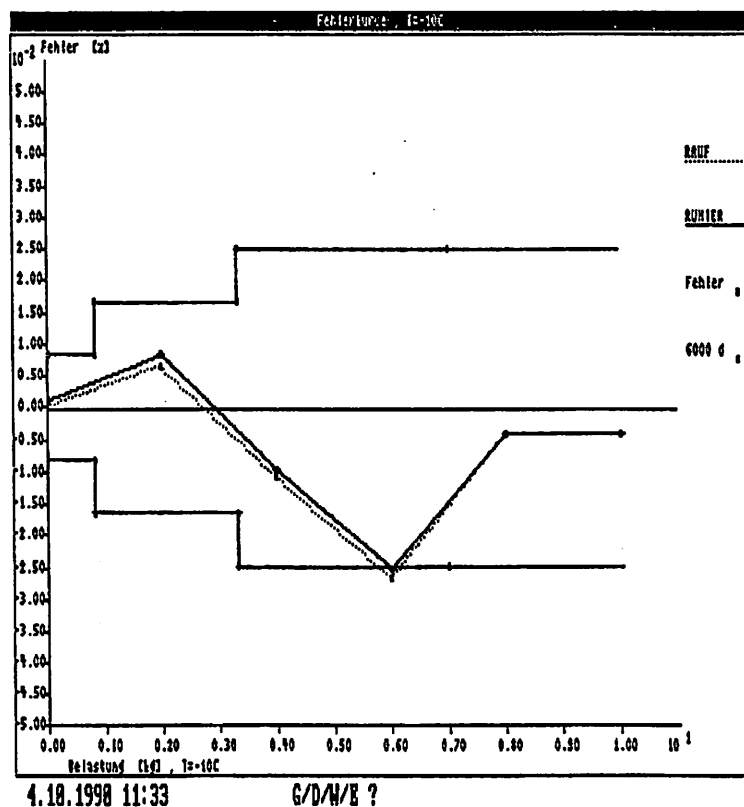


Bild 2 : Die Fehlerkurve von -10°C.

Im nächsten Bild kann man die Fehlerkurve von +20°C betrachten.

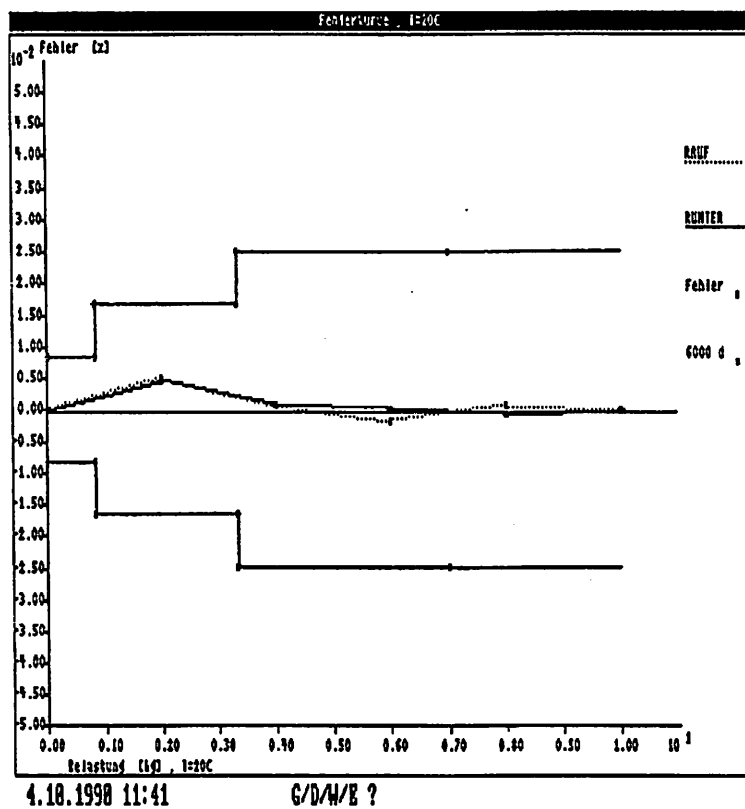


Bild 3 : Die Fehlerkurve von +20°C.

Im nächsten Bild kann man die Fehlerkurve von +40°C betrachten.

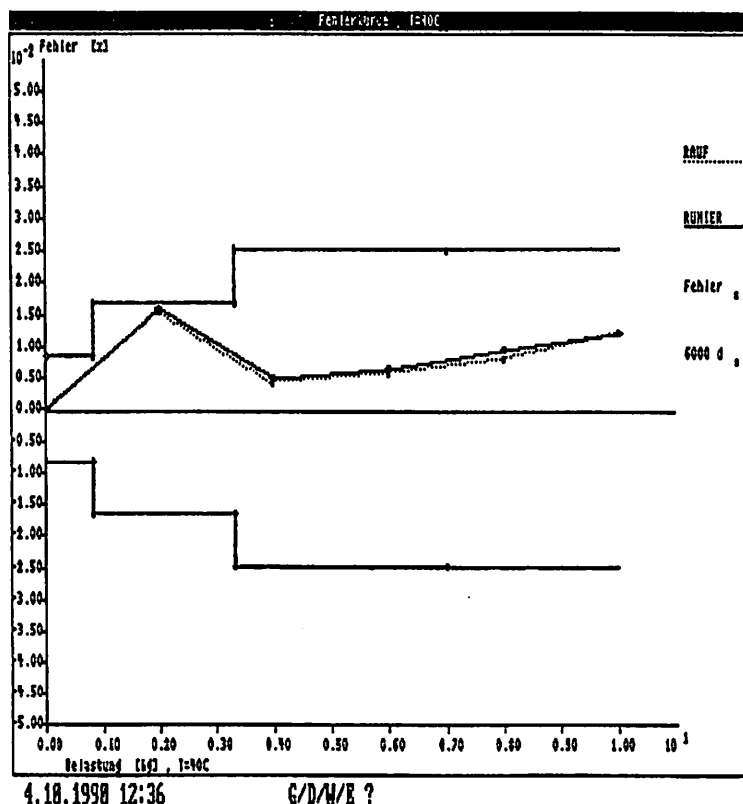


Bild 4 : Die Fehlerkurve von +40°C.

Die gerade gezeigten Fehlerkurven machen einen Sachverhalt deutlich: Die Linearität ist hier temperaturabhängig.

Natürlich stellt der gerade beschriebene Weg nicht die einzige Möglichkeit für den Temperaturabgleich dar. Man kann auch aus dem Rohzählerstand zuerst das Gewicht berechnen und dann hinterher den Einfluß der Temperatur auf die Gewichtsbestimmung korrigieren. Die zuletzt geschilderte Möglichkeit wurde ebenfalls untersucht. Hierzu bot sich eine Computersimulation an, bei dieser wurden die identischen, temperaturabhängigen Belastungsreihen verwendet. Als Ergebnis kann man festhalten: Es kommt in der Praxis nicht darauf an, ob man zuerst den Rohzählerstand temperaturkorrigiert und dann die Gewichtsbestimmung durchführt, oder zuerst den Gewichtswert ausrechnet (unter Verwendung der Tschebyscheffkoeffizienten von 20°C) und dann den Temperatureinfluß korrigiert. Beide Verfahren sind im Resultat miteinander vergleichbar.

2. Experimente zur Schockbelastung (stossartigen Belastung).

Bei den Versuchen zur Schock-bez. Stossbelastung der Resonatorwägezelle wurde das Verhalten des Sensors bei extremer Krafteinwirkung studiert. Eine extreme Krafteinwirkung stellt ein auf die Lastschale der Waage fallender Gegenstand dar. Die hierbei auftretenden Kräfte am Sensor sind enorm! In der jetzt folgenden Messtabelle kann man die Ergebnisse der Schockbelastungsversuche betrachten. Hierbei ist die Fallhöhe die Distanz zwischen der Lastschale einer Testwaage u. einem 1.314 kg schwerem Bleischrotsack, als Kraftsensor fand ein DMS auf einem 0.1 mm dickem Aluminiumstreifen Verwendung. Der Aluminiumstreifen wurde an Stelle des DETF-Sensors in den Aluminiumlenker geklebt. Somit konnte der Verbrauch von teuren Quarzstimmgabeln eingeschränkt werden!

Um miteinander vergleichbare Messergebnisse zu erhalten, wurde der gesamte Testwaagenaufbau einmal ganz ohne Schockdämpfungsmaßnahme (Maßnahme B, ungedämpft) und einmal mit Schockdämpfungsmaßnahme (Maßnahme A, gedämpft) ausgestattet, letztere bestand darin, daß man im Testwaagenaufbau für die Versuche 5 Überlastschrauben und allg. Filz verwendete.

Und hier das Ergebnis in Form einer Tabelle:

Fallhöhe [cm]	Maßnahme B(ungedämpft) Sensorkraft[N]	Maßnahme A(gedämpft) Sensorkraft[N]
15	6.8	5.8
30	11.7	9.8
45	13.7	>11.7
60	19.6	>11.7

Sensorkraft = gemittelte Kraft am Sensor.

Wie man aus den bei beiden Versuchen auftretenden Kräften am Sensor sieht, ist mit einfacher Schockdämpfung mit einem herkömmlichen Quarzkraftsensor (maximaler Zugbereich 5 Newton) eine produktionsreife Ladentischwaage schwierig zu realisieren.

Die bis jetzt untersuchten einfachen Dämpfungsmaßnahmen haben bis heute nicht zum Erfolg geführt, es sind aufwendigere Dämpfungsmaßnahmen nötig!

3. Aufbau einer g-Referenzwaage.

Der Grund für die Entwicklung einer g-Referenzwaage ist folgender: Die Gravitationsbeschleunigung g ist, weltweit betrachtet, nicht konstant. Eine Ladentischwaage, welche bei BIZERBA richtig kalibriert ist, zeigt darum an einem anderen Ort nicht exakt richtig an. Diese Abweichung muß korrigiert werden.

Im Sinn des Verbundprojekts wird bei BIZERBA eine g-Referenzwaage entwickelt. Diese Waage soll unabhängig von ihrem Aufstellungsort auf der Weltkugel die lokal vorherrschende Erdbeschleunigung g messen. Erste Vorversuche in dieser Richtung wurden schon gemacht, so hängt ein konstantes Gewicht an einer Quarzstimmgabel im Gravitationsfeld der Erde (die Stimmgabel ihrerseits ist an einem Z-Profil befestigt). Wie sieht nun die g-Referenzwaage aus?

Das Material:

Die g-Referenzwaage besteht aus einem Aluminiumrohr, zwei passgerechten Stopfen ("Deckel und Boden" für das Aluminiumrohr), einer Quarzstimmgabel und einem Referenzgewicht mit ungefähr 50 g. Das Referenzgewicht besteht aus Messing.

Der Aufbau:

Die Stimmgabel wird am oberen Ende am Deckel festgeklebt und das Referenzgewicht wird an der anderen, unteren Seite der Stimmgabel festgeklebt. Die Stimmgabel mit dem Referenzgewicht wird von oben in das Alu-Rohr gebracht und der Deckel mit dem Aluminiumrohr verklebt. Nun wird noch das Aluminiumrohr unten mit dem zweiten Stopfen ("Boden") verklebt. Bei der Waage handelt es sich somit um einen dichten Alu-Zylinder mit der Stimmgabel und dem Gewicht als Inhalt. Zum Schluss wird der Innenraum des Aluminiumrohres, mit Hilfe einer verschliessbaren Öffnung am Deckel, mit einem Schutzgas geflutet. Somit wird die Stimmgabel vor Luftdruckschwankungen, Feuchte und vor Kontamination geschützt. Alle geklebten Stellen der g-Referenzwaage müssen gasdicht sein.

Zum Schluss wird die bereits am Anfang der Einbauprozedur fertig verdrahtete Quarzstimmgabel mit einem elektrischen Oszillator verbunden. Jetzt kann gemessen werden.

Der Messeffekt:

Ändert sich die örtliche Gravitationsbeschleunigung g , so ändert sich bei konstanter Probemasse m die Kraft F an der Stimmgabel ($F = m \cdot g$). Hiermit ist eine Frequenzänderung der Stimmgabel verbunden.

4. Nachtrag zur Linearisierung.

Bei vielen Fehlerkurven der Resonatorwägezelle treten im unteren Lastbereich seltsame Kurvenknick auf. Einen Kurvenknick kann man bei der Fehlerkurve von 20°C in diesem Bericht gut sehen. Mit einem Feingewichtssatz wurde dieser Knick genauer untersucht. Das Ergebnis ist im nachfolgenden Bild zu sehen. Hierbei ist nach rechts das Eichgewicht [kg] auf der Lastschale und nach oben die Differenz "Messwert minus Eichgewicht" [g] dargestellt. Die maximale Differenz tritt bei 1.00 kg auf der Lastschale auf.

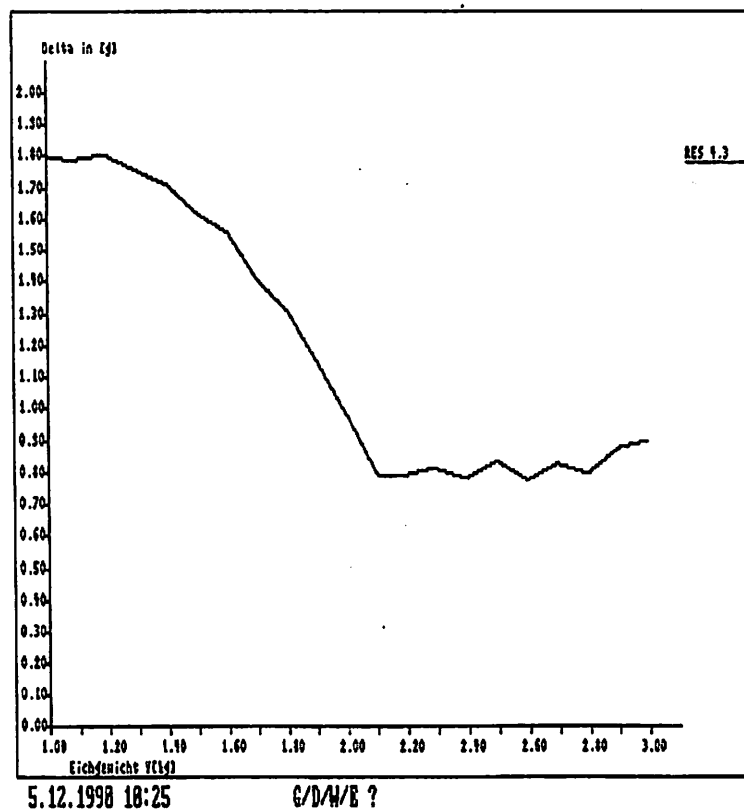


Bild 5 : Messwert minus Eichgewicht.

Der seltsame Kurvenverlauf der Fehlerkurve wurde weiter untersucht. Dazu wurde bei derselben Wägezelle mehrmals hintereinander folgendes gemacht (bei 23°C): Es wurden Stützwerte aufgenommen, sofort anschliessend Tschebyscheffkoeffizienten berechnet und danach sofort die jeweiligen Fehlerkurven aufgenommen. Dieser Zyklus erfolgte mehrmals hintereinander. Fast alle Fehlerkurven zeigen im unteren Lastbereich der Wägezelle starke Knickstrukturen. Der Sachverhalt ändert sich auch nicht bei Tarabetrieb der Waage. Es konnte bis jetzt nicht sicher geklärt werden, woran dies liegt.

Verbundforschungsprojekt:

Literatur- und Patentliste
(Fortsetzung)

- "Elektromechanischer Oszillator zur Dichtemessung"
von W.J.Becker und W.Braasch,Kassel.
Inhalt:Messung der Betriebsdichte von Gasen und
Flüssigkeiten mit mechanischen Schwingelementen
(Stimmgabel).
VDI Berichte Nr.677,1988;Seite 249.

- "Crystals For Quartz Resonators"
von J.C.Brice.
Inhalt:Herstellung und Eigenschaften von Quarz
(physikalische Konstanten),ausführliche Übersicht!
Reviews of Modern Physics ,Vol.57,No.1,January 1985.

- "38th Annual Frequency Control Symp. 1984,
Titel:The Constants Of Alpha Quartz"
von Roger W. Ward.
Inhalt:Physikalische Konstanten von Quarz.
Copyright 1984 by IEEE.

- "Resonating Silicon Beam Force Sensor"
von F.R.Blom,S.Bouwstra,J.H.J.Fluitman und M.Elwenspoek.
Inhalt:Kraftsensor (eine 3-Balkenstruktur) aus Silizium.
ZnO dient zur mechanischen Schwingungsanregung und zur
Schwingungsdetektion.
Sensors and Actuators,17 (1989),page 513-519,Elsevier Sequoia.

- "A Thermally-Excited Silicon Accelerometer"
von D.W.Satchell und J.C.Greenwood.
Inhalt:Herstellung eines Sensors zur Beschleunigungsmessung.
Herstellung:Anisotropes Ätzen von einem einkristallinen
Siliziumkristall.
Sensors and Actuators,17 (1989),page 241-245,Elsevier Sequoia.

- "42nd Annual Frequency Control Symposium 1988,
Titel:A Low Cost Force Sensing Crystal Resonator Applied
To Weighing" von W.C.Albert.
Inhalt:Theorie eines Kraftsensors.Aufbau einer Wägezelle.
1988 IEEE.