Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 73 (1982)

Heft: 19

Artikel: Die Elektronik im Waagenbau

Autor: Schmid, S.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905025

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Elektronik im Waagenbau

St. Schmid

1. Einleitung

Die klassische Apotheker- und Chemikerwaage war bis in die Zeit des Zweiten Weltkrieges praktisch stets eine symmetrische Balkenwaage (Fig. 1), welche der Verwendung von losen Gewichtssteinen bedurfte. Erst die ab 1946 auf dem Weltmarkt angebotene, seriell gefertigte Substitutionswaage mit eingebautem Gewichtssatz brachte eine Wende in den Bedienungsansprüchen. Bei diesem Aufbauprinzip (Fig. 2), das normalerweise mit einem asymmetrisch gelagerten Waagbalken gestaltet wird, hängen das Wägegut und die Gewichtsstücke am gleichen Hebelarm. Bei unbelasteter Waagschale halten sich die Gewichtsstücke (G) und das konstante Gegengewicht (Gk) im Gleichgewicht. Wird die Schale mit dem Wägegut belastet, so neigt sich der Balken auf der schwereren Seite. Um das ursprüngliche Gleichgewicht wiederherzustellen, hebt der Benutzer vom Gewichtssatz *G* so viele Gewichtsstücke ab, bis sich der Waagbalken wieder nahe der Nullage einschwingt. Das Substitutionsprinzip hat sich im Mikro- und Ultramikrobereich sogar ins Elektronikzeitalter hinübergerettet.

2. Die elektronischen Wägeprinzipien

In den meisten Wägebereichen zwischen 60 kg und 0,01 mg bedient sich der Waagenbau heute elektronischer Messprinzipien. Die gebräuchlichsten sind (Fig. 3):

- Dehnungsmeßstreifen
- Schwingsaitenprinzip
- Elektromagnetische Kraftkompensation

2.1 Dehnungsmeßstreifen

Das Messelement wird als streifenförmiger elektrischer Widerstand auf einen elastischen Körper aufgeklebt. Nach dem Auflegen des Wägegutes erfolgt eine leichte mechanische Verformung dieses Körpers, der Widerstand ändert sich und über die Stromänderung wird die eine solche Verformung bewirkende Kraft gemessen.

2.2 Schwingsaitenprinzip

Eine vorgespannte Saite wird durch ein elektromagnetisches System zu Schwingungen mit fester Frequenz angeregt. Eine Zunahme der Belastung auf der Waagschale wird nun durch ein Hebelsystem so auf die schwingende Saite übertragen, dass deren Vorspannung vergrössert wird und als Folge davon die Frequenz der Schwingung zunimmt. Diese Frequenzänderung wird gemessen; sie ist ein Mass für die zu bestimmende Masse.

2.3 Elektromagnetische Kraftkompensation

In Ergänzung zu Figur 3c ist das Prinzip in Figur 4 detailliert dargestellt. Eine Kompensationsspule (4), in welcher permanent Strom fliesst, taucht in ein Dauermagnetfeld (2) ein. In unbelastetem Zustand wird mittels Stromregulierung sichergestellt, dass sich das System in der Nullage befindet; ein Positionsgeber (9) überwacht dies. Er erfasst vertikale Positionsänderungen der Schale (7) bzw. des Schalenträgers, sobald man die Waagschale belastet. Diese Information des Reglers wird benutzt, um einen Kompensationsstrom zu erzeugen, der über die Kompensationsspule (4) das Wägesystem wieder in die Nullage bringt. Dieser Strom ist lastabhängig. Sein Wert wird in digitaler Form der Resultatauswertung zugeführt, und das Gewicht leuchtet anschliessend in der 7-Segment-Anzeige der Waage auf.

Anstelle eines analogen, dem Gewicht proportionalen Gleichstroms werden Stromimpulse mit fester Frequenz und Stromstärke, aber veränderlicher Dauer durch die Kompensationsspule geschickt. Von einem Rampengenerator wird eine Sägezahnrampe erzeugt und in einem Komparator mit dem Reglersignal des Positionsgebers verglichen. Gemessen wird das Zeitverhältnis zwischen Impulsdauer und Rampenzeit. Die Impulsdauer ist gleich gross wie die Rampenzeit, wenn auf der Waagschale die maximal zulässige Höchstlast liegt. Dann folgen sich die Impulse ohne Un-

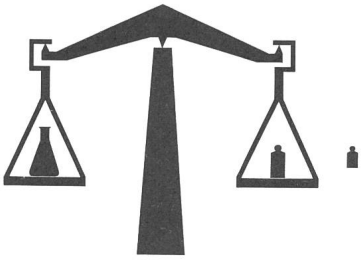

Fig. 1
Symmetrische Balkenwaage

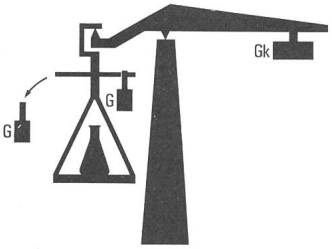

Fig. 2
Substitutionswaage mit asymmetrisch gelagertem Waagebalken

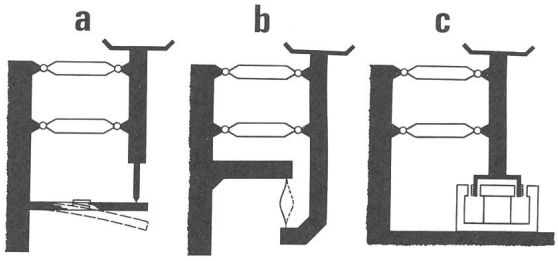

Fig. 3 Die im Waagenbau für Lasten zwischen 60 kg und 0,01 mg gebräuchlichsten Messprinzipien
Dehnungsmessstreifen (a), Schwingsaitenprinzip (b), elektromagnetische Kraftkompensation (c)

terbruch. Bei abnehmender Belastung der Waage wird die Impulsdauer immer kleiner. Um eine genügende Resultatauflösung zu erreichen, werden beispielsweise 500 einzelne Zeitverhältnismessungen summiert und angezeigt.

Die elektromagnetische Kraftkompensation ermöglicht heute Gewichtsauflösungen bis 1/3 000 000. Diese Feinheit hat ihr zum Durchbruch beim Bau von Analysen- und Präzisionswaagen verholfen.

3. Gründe für den Erfolg der Elektronik

Die international anerkannte deutsche Eichbehörde, die Physikalisch Technische Bundesanstalt in Braunschweig, hat im Mai 1974 erstmals einer kompakt gebauten Präzisionswaage (Modell Mettler PT1200) die Eichzulassung zuerkannt. Seit jenem Zeitpunkt dominiert die kompakte Bauweise und die Verwendung der elektromagnetischen Kraftkompensation (Fig. 4) den Waagenbau für die Gewichtsbestimmung zwischen 10^{-7} g und 60 kg. Ultramikro- und Mikrowaagen (Fig. 5) weisen als einzige noch heute schaltbare Gewichtssätze auf, welche die Tara zu kompensieren haben. Die eigentliche Gewichtsmessung geschieht aber auch da elektronisch. In allen anderen Gewichtsbereichen ist das Auflegen des Wägegutes und das sofortige Ablesen des Digitalresultates für den Benutzer zur Regel geworden. Weshalb dieser Durchbruch der Elektronik?

3.1 Tarieren auf Tastendruck

Wohl eines der ältesten Probleme beim Wägen hat stets die Verwendung eines Gefässes auf der Waagschale gebracht. Selbst heute verlangen mechanische Zeigerwaagen von ihrem Benutzer ein präzises Bestimmen der Tara, Aufschreiben des Tarawertes und Umdenken beim Einwägen auf einen bestimmten Zielwert. Mechanische Substitutionswaagen haben diesen Nachteil immerhin schon mit einem speziellen Tara-Drehknopf (Drehen, bis in der Skala Null erscheint) beseitigt, fordern aber doch die Aufmerksamkeit und Sorgfalt des Benutzers. Die Entwickler elektronischer Waagen haben deshalb zunächst ihre Aufmerksamkeit auf die Vereinfachung des Tariervorganges gerichtet. Eine sog. 1-Tasten-Automatik schaltet nun eine Waage nicht nur ein oder aus, sondern lässt auch bei jedem Druck Null aufleuchten. Die Elektronik speichert den Tarawert über den gesamten Messbereich, so dass beim Abheben des Gefässes mit dem Wägegut das Bruttototalgewicht ausgewiesen wird. In neueren, mikroprozessorgesteuerten Ausführungen sind auch Nettototalanzeigen möglich, die Kontrollvergleiche mit dem Rezept zulassen (Fig. 6).

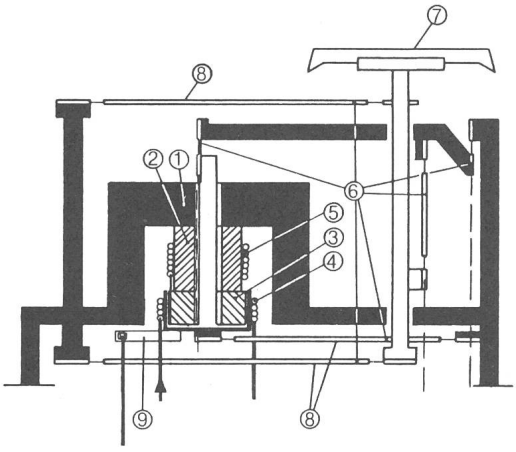

Fig. 4 Elektromagnetische Kraftkompensation: schematische Darstellung einer Wägezelle
1 Magnetjoch und Gehäuse
2 Dauermagnet
3 Polschuh
4 Kompensationsspule
5 Temperaturkompensation
6 Biegelager
7 Waagschale
8 Lenker
9 Positionsgeber

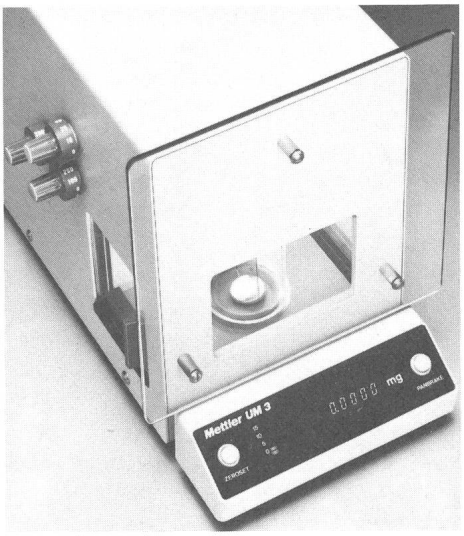

Fig. 5 Elektronische Ultramikrowaage für Messungen bis 10^{-7} g

3.2 Mehr Benutzer einer einzigen Wägestation

Die Tariermöglichkeit allein hätte der Elektronikwaage vermutlich ihren festen Platz noch nicht gesichert. Anderer-

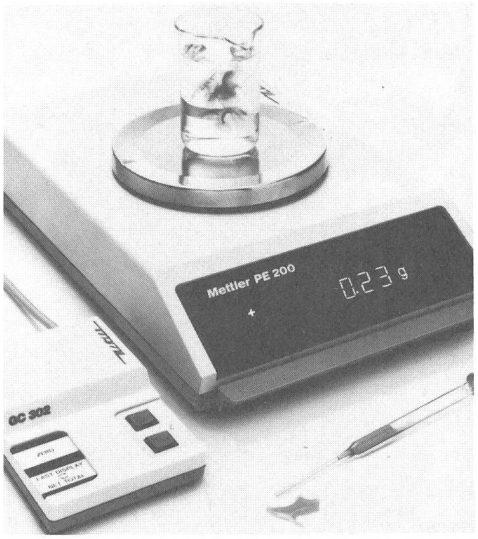

Fig. 6 Elektronische Präzisionswaage (Baujahr 1982) mit separater Funktionseinheit für den Nettototal-Abruf

seits möchte der Waagenbenutzer z.B. gerade im Labor genau einwägen, ohne sich um das Gewicht seiner just greifbaren Tara gross kümmern zu müssen. Das führte bei der Waagenentwicklung zur Zielvorgabe: abrufbarer Feinbereich. Er wird bei den inzwischen gebauten Mettler-DeltaRange®-Modellen nach dem Auflegen des Gefässes durch Tastendruck aktiviert. Statt beispielsweise einer 0,1-g-Anzeige erscheint dann 0,01 g im Ablesefeld, also eine zehnfach feinere Gewichtsauflösung. Somit sind feine Einwaagen auch in schweren Gefässen möglich.

Normalerweise weist eine elektronische Analysen- oder Präzisionswaage etwa 2 bis 3 s nach dem Auflegen des Wägegutes bereits das genaue Wägeresultat in digitaler Form aus. Die Ablesbarkeit bei diesen Waagenkategorien liegt zwischen 0,01 mg (Halbmikrowaage) und 0,1 oder 1 g (Präzisionswaage). Mechanische Ausführungen mit eingebauten Schaltgewichten benötigen bedeutend mehr Zeit für eine solch exakte Wägung. Die Elektronik hat somit nicht nur eine Vereinfachung in der Bedienung herbeigeführt, sondern eine starke Erhöhung der Wägekapazität je Wägestation. Der Benutzer hält sich nur noch relativ kurze Zeit bei der Waage auf und kann sie einer Vielzahl weiterer Benutzer zugänglich machen. Das Herumtragen der elektronischen Waage an einen anderen Einsatzort geschieht übrigens ohne irgendwelche Arretiervorkehrungen.

3.3 Automatische Datenerfassung und -auswertung

Die Elektronik hat im Waagenbau schliesslich aber auch das weite Feld der automatischen Datenauswertung geöffnet. Die Wägeresultate stehen als Digitalsignal zur Weiterverarbeitung bereit. Ein einfacher Drucker hält Zwischenresultate von Mischungen fest; ein rechnender Drucker kann das Wägeprotokoll dank eingetippten Zusatzinformationen (wie Personal-Nr., Datum, Uhrzeit, Los-Nr. usw.) wesentlich aussagekräftiger gestalten. Tischcomputer oder kleine, speziell als Zusatzgeräte entwickelte Terminals erfüllen komplexe Auswertungswünsche bei seriellen Wägevorgängen. Hier sei lediglich die Kontrolle abgepackter Massengüter erwähnt (Tee, Kaffee, Suppe, Waschmittel usw.): Die vom Förderband gezogenen Stichproben werden kurz auf die Waagschale gelegt, und bereits nach der letzten Wägung beginnt automatisch das Auflisten der Datenauswertung auf dem Protokollstreifen, das so aussehen kann:

- Maschinennummer
- Artikelnummer
- Code
- Einzelgewichte der Stichproben
- Mittelwert in g
- Standardabweichung in g
- Toleranzüber- oder unterschreitungen
- Verstellanweisung an den Maschinisten

Diese Informationen helfen dem Abfüllbetrieb beim optimalen Einstellen der Maschinenventile, gilt es doch, kostspieliges Überfüllen genauso zu vermeiden wie das rufschädigende Unterfüllen.

In jüngster Zeit werden immer mehr elektronische Waagen in ganze Datenerfassungssysteme integriert oder gar an einen sog. «Personal Computer» angeschlossen (Fig. 7). Damit ist die Waage zu einem Mittel der betrieblichen Organisation gemacht; sie misst Gewichte oder Gewichtsveränderungen, ermittelt die Stückzahlen von Massenteilen

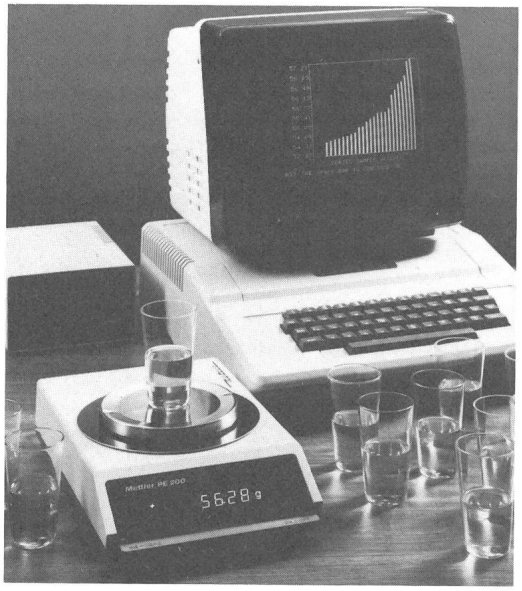

Fig. 7 Elektronische Präzisionswaage und automatische Datenauswertung der verschiedenen Wägeresultate

(von Schrauben, Muttern bis zu Elektronikkomponenten) oder übernimmt das Umrechnen von Gewichtswerten in Längeneinheiten. Alles in allem erhält der Betrieb wertvolle Basisunterlagen, die als Statistik Entwicklungen und Tendenzen aufzeigen, als Kalkulationsgrundlagen die Kostenrechnung beeinflussen können, als Materialblatt Aufschlüsse über den Materialeinsatz geben oder als Protokoll den Verlauf von Versuchsreihen dokumentieren. Der Waagenbenutzer liest in den meisten dieser Fälle das einzelne Wäge- oder Stückzählresultat nicht mehr ab – sondern *lässt* ablesen und verarbeiten.

4. Betriebliche Aspekte des Technologiewandels

Es ist für einen Hersteller mechanischer Waagen selbstredend ein komplexes Unterfangen, sein gesamtes, etwa zwanzig bis dreissig verschiedene mechanische Modelle umfassendes Produktionsprogramm im Verlaufe von nur wenigen Jahren grundlegend zu wandeln. Etwas entgegenkommend wirkt die Tatsache, dass selbst vollelektronische Ausführungen eine allerdings kleine Reihe von feinmechanischen Baugruppen aufweisen, welche auch vom bisherigen Montagepersonal kompetent bewältigt werden können. Eine dieser Baugruppen ist die eigentliche Wägezelle, wie sie Figur 4 zeigt. Besonders die Bestückung der gedruckten Schaltungen erforderte hingegen eine grundlegende Neukonzeption des einzelnen Arbeitsplatzes und dessen Eingliederung in einen Gesamt-Materialdurchlauf, bestehend aus Komponentenkontrolle beim Eingang, Einlagerung, Kommissionierung, Bestücken der Platinen, Fördern, automatisches Verlöten und schliesslich computergestütztes Kontrollieren jeder einzelnen Platine. Vor diesem Hintergrund setzen sich die verschiedenen Entwicklungsteams mit den Waagen von morgen auseinander. Es gilt, einen gangbaren Weg zu finden, welcher dem erstellten technischen Pflichtenheft und den neuesten technologischen Erkennt-

nissen auf dem Gebiete der Elektronik Rechnung trägt, eine serielle, rationelle Fertigung zulässt, die rigorosen Qualitätstests (z.B. auf Lebensdauer, Vibrationsverhalten, Klimaveränderungen usw.), aber auch die Belange eines weltumspannenden Servicenetzes berücksichtigt. Es ist bei der Schlusskontrolle einer Präzisionswaage ja völlig offen, ob diese einmal auf einem sturmgepeitschten Bohrturm in der Nordsee, im Chemieunterricht einer Volksschulklasse in Australien oder als Stückzählwaage am Lager eines japanischen Konzerns ihren Einsatz und dementsprechend eine unterschiedliche Behandlung findet.

5. Tendenzen

Die sehr weit reichenden Möglichkeiten der Mikroprozessor-Programmierung und der Aufbau hochintegrierter Schaltungen sind zwei der Herausforderungen, mit denen sich der Waagenentwickler heute verstärkt konfrontiert sieht. Beide Chancen haben in den letzten zwölf Monaten nicht nur die eigentliche Produktgestaltung sehr stark beeinflusst, sondern auch die Montagearbeit selbst. Es ist im Januar 1982 der Firma Mettler erstmals gelungen, Präzisionswaagen elektronischer Bauart zu tieferen Ansätzen zu produzieren und anzubieten, als dies bei mechanischen Modellen möglich war. Das zeigt, dass auch in unserem Land mit seinem hohen Kosten- und Lohnniveau moderne elektronische Messgeräte unter Beibehaltung von Leistung und Eigenschaften gebaut und auf dem Weltmarkt zu konkurrenzfähigen Preisen angeboten werden können. In den kommenden Jahren dürfte sich somit der bereits angelaufene Ablöseprozess Mechanik/Elektronik sowohl im Labor wie im Betrieb verstärken. Denn die Generalrevisionskosten für mechanische Ausführungen mit zehn, fünfzehn und mehr Betriebsjahren sprechen – bedingt durch die zeitaufwendige Handarbeit – rasch einmal zugunsten einer Neuanschaffung.

Und der Waagenentwickler? Er sieht sich mehr denn je einem scheinbar verwirrenden Angebot von Technologien und Erkenntnissen, Komponenten und Softwarelösungen, internationalen Eichvorschriften und Marktbedürfnissen gegenüber. Die *«Waage von morgen»* will vielseitig durchdacht sein.

Adresse des Autors
Stefan Schmid, eidg. dipl. Korrespondent, Mettler Instrumente AG, 8606 Greifensee.