

①9



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

①1 CH 666 748 A5

⑤1 Int. Cl. 4: G 01 G 23/48
G 01 G 3/04
G 01 G 7/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

①2 PATENTSCHRIFT A5

②1 Gesuchsnummer: 5188/84

②2 Anmeldungsdatum: 30.10.1984

③0 Priorität(en): 09.11.1983 DE 3340512

②4 Patent erteilt: 15.08.1988

④5 Patentschrift
veröffentlicht: 15.08.1988

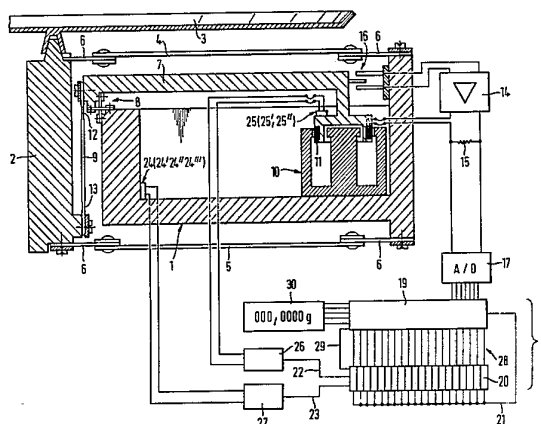
⑦3 Inhaber:
Sartorius GmbH, Göttingen (DE)

⑦2 Erfinder:
Knothe, Erich, Bovenden 1 (DE)
Melcher, Franz-Josef, Hardeggen 3 (DE)
Ober, Jürgen, Hardeggen (DE)
Berg, Christoph, Dr., Adelebsen (DE)
Dardat, Klaus, Nörten-Hardenberg (DE)
Bierich, Eduard, Göttingen (DE)
Maaz, Günther, Dr., Uslar-Wiensen (DE)

⑦4 Vertreter:
A. Braun, Braun, Héritier, Eschmann AG,
Patentanwälte, Basel

⑤4 Elektrische Waage.

⑤7 Die elektrische Waage ist mit einem Messsystem versehen, bei dem der Einfluss verschiedener Störgrößen, wie z.B. Temperatur und/oder Feuchte, auf das Messsystem korrigiert werden. Dazu werden Temperatur- und Feuchtefühler (24, 24', 24'', 24''') benutzt, aus deren Ausgangssignal Korrekturwerte errechnet werden. Die Fühlersignale werden einem Speicherbereich (20) zugeleitet, in den die momentanen Messergebnisse dieser Fühler nacheinander eingespeichert werden und dort eine vorgegebene Zeit gespeichert bleiben. Diese aus verschiedenen Zeiten stammenden Daten können dann mit vorgegebenen Gewichtungsfaktoren bewertet zur Berechnung der Korrekturen herangezogen werden. Dadurch lässt sich auch bei verschiedenem Zeitverhalten von Fühlern und Messsystem eine gute Korrektur von wechselnden Störeinflüssen erzielen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Elektrische Waage mit einem Messwertaufnehmer zur Erzeugung eines gewichtsabhängigen Signals, mit einer digitalen Signalverarbeitungseinheit, mit einem Fühler zur Erfassung von auf den Messwertaufnehmer einwirkenden Störeinflüssen und mit Mitteln zur Korrektur der aus diesen Störeinflüssen resultierenden Fehler des Messwertaufnehmers, dadurch gekennzeichnet, dass im Rahmen der digitalen Signalverarbeitungseinheit (18) ein Speicherbereich (20) vorhanden ist, dem fortlaufend digitale Daten zugeführt werden und dort für eine vorgegebene Zeit gespeichert werden, wobei diese Daten aus dem jeweiligen Ausgangssignal des Fühlers bzw. der Fühler (24', 24'', 24''', 25', 25'') und gegebenenfalls dem Ausgangssignal des Messwertaufnehmers (1...17) hergeleitet werden, und dass die digitale Signalverarbeitungseinheit die aus verschiedenen Zeiten stammenden Daten mit vorgegebenen Gewichtungsfaktoren bewertet und zur Bestimmung der Korrekturen, die am Ausgangssignal des Messwertaufnehmers anzubringen sind, benutzt.

2. Elektrische Waage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Speicherbereich (20) in Form eines Schieberegisters organisiert ist.

3. Elektrische Waage nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die digitale Signalverarbeitungseinheit (18) durch einen Mikroprozessor realisiert ist und dass für den Speicherbereich (20) ein Teil des RAM's dieses Mikroprozessors benutzt wird.

4. Elektrische Waage nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Fühler mindestens ein Temperaturfühler (24', 24'', 24''', 25'') vorhanden ist.

5. Elektrische Waage nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Messwertaufnehmer nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation ein Temperaturfühler (25'') an der Kompensationsspule (11) befestigt ist.

6. Elektrische Waage nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Temperaturfühler ein Schwinger mit temperaturabhängiger Resonanzfrequenz eingesetzt ist.

7. Elektrische Waage nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Schwinger mit temperaturabhängiger Resonanzfrequenz ein Schwingquarz mit entsprechendem Schnittwinkel benutzt wird.

8. Elektrische Waage nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die temperaturabhängige Resonanzfrequenz durch Teilerstufen heruntergeteilt wird, dass die Periodendauer dieser heruntergeteilten Impulsfolge mittels einer wenigstens näherungsweise konstanten Referenzfrequenz ausgezählt wird und dass dieses Zählergebnis ein digitales Mass für die Temperatur des Schwingers ist.

9. Elektrische Waage nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Messwertaufnehmer nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation die dem Speicherbereich (20) zugeführten Daten aus dem Ausgangssignal eines Temperaturfühlers (24''') und dem quadrierten Ausgangssignal des Messwertaufnehmers (1...17) hergeleitet werden.

10. Elektrische Waage nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Fühler mindestens ein Feuchtefühler (25') vorhanden ist.

11. Elektrische Waage nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewichtungsfaktoren, mit denen die digitale Signalverarbeitungseinheit (19) die im Speicherbereich (20) gespeicherten Daten bewertet, für die verschiedenen Korrekturen, wie z.B. Linearität, Nullpunkt oder Empfindlichkeit, verschieden vorgegeben sind.

12. Elektrische Waage nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewichtungsfaktoren, mit

denen die digitale Signalverarbeitungseinheit (19) die im Speicherbereich (20) gespeicherten Daten bewertet, zumindest teilweise temperaturabhängig vorgegeben sind.

13. Elektrische Waage nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Daten mit einer vorgegebenen Folgefrequenz dem Speicherbereich (20) zugeführt werden und dass diese Folgefrequenz niedriger ist als die Frequenz, mit der Messwerte vom Messwertaufnehmer (1...17) abgegeben werden.

14. Elektrische Waage nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Speicherbereich (20) in mindestens zwei Teilbereiche (20', 20'') unterteilt ist, und dass die Folgefrequenzen, mit denen diesen Teilbereichen neue Daten zugeführt werden, verschieden sind.

15. Elektrische Waage nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stand by-Betrieb vorgesehen ist und dass während des Stand by-Betriebes dem Speicherbereich (20) weiterhin Daten zugeführt werden.

16. Elektrische Waage nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass beim Einschalten der Waage aus den ersten, aus dem jeweiligen Ausgangssignal des Fühlers bzw. der Fühler (24', 24'', 24''', 25', 25'') und gegebenenfalls dem Ausgangssignal des Messwertaufnehmers (1...17) hergeleiteten Daten nach einem fest vorgegebenen Programm weitere Daten berechnet werden, mit denen die weiteren, noch leeren Plätze des Speicherbereichs (20) geladen werden.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung bezieht sich auf eine elektrische Waage mit einem Messwertaufnehmer zur Erzeugung eines gewichtsabhängigen Signals, mit einer digitalen Signalverarbeitungseinheit, mit einem Fühler zur Erfassung von auf den Messwertaufnehmer einwirkenden Störeinflüssen und mit Mitteln zur Korrektur der aus diesen Störeinflüssen resultierenden Fehler des Messwertaufnehmers.

Waagen dieser Art sind z.B. aus der DE-OS 3 213 016 bekannt. Dort ist vor allem die Korrektur von Temperaturfehlern beschrieben. Weiterhin ist es aus der DE-OS 3 106 534 bekannt, auch Feuchte- und Druckfühler einzusetzen, um entsprechende Feuchte- oder Druckabhängigkeiten des Messwertaufnehmers zu korrigieren.

Nachteilig an diesen bekannten Waagen ist es jedoch, dass immer nur der Momentanwert der jeweiligen Störgrösse erfasst und verrechnet werden kann. Das zeitliche Verhalten des jeweiligen Fühlers muss also dem zeitlichen Verhalten des Messwertaufnehmers angeglichen werden. Bei einem Temperaturfühler beispielsweise muss dies durch einen richtig gewählten Befestigungspunkt, richtig gewählte Wärmekapazität und richtig gewählten Wärmewiderstand zum Befestigungspunkt geschehen. Diese Anpassung des zeitlichen Verhaltens ist jedoch umständlich und auch nur in beschränktem Umfang möglich, besonders da das zeitliche Verhalten des aus vielen verschiedenen Einzelteilen aufgebauten Messwertaufnehmers sich nicht durch eine einfache mathematische Beziehung darstellen lässt. Weiterhin ist diese Anpassung immer nur für eine zu korrigierende Grösse – wie z.B. die Empfindlichkeit – optimal durchführbar, da im allgemeinen jede zu korrigierende Grösse ein anderes Zeitverhalten zeigt. Bei der Fehlerkorrektur in der digitalen Signalverarbeitungseinheit sollen aber möglichst alle Fehler korrigiert werden, also neben Empfindlichkeitsfehlern z.B. auch Nullpunktfehler und Linearitätsfehler.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Waage der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass eine einfachere

Anpassung des zeitlichen Verhaltens des Fühlers oder der Fühler an das zeitliche Verhalten des Messwertaufnehmers möglich ist und dass mit einem Fühler verschiedene Fehler des Messwertaufnehmers mit verschiedenem Zeitverhalten korrigiert werden können.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch gelöst, dass im Rahmen der digitalen Signalverarbeitungseinheit ein Speicherbereich 20 vorhanden ist, dem fortlaufend digitale Daten zugeführt werden und dort für eine vorgegebene Zeit gespeichert werden, wobei diese Daten aus dem jeweiligen Ausgangssignal des Fühlers bzw. der Fühler 24', 24'', 24''', 25', 25'' und gegebenenfalls dem Ausgangssignal des Messwertaufnehmers 1...17 hergeleitet werden, und dass die digitale Signalverarbeitungseinheit die aus verschiedenen Zeiten stammenden Daten mit vorgegebenen Gewichtungsfaktoren bewertet und zur Bestimmung der Korrekturen, die am Ausgangssignal des Messwertaufnehmers anzubringen sind, benutzt.

Dadurch stehen sowohl die momentanen Daten als auch die Daten der Vergangenheit zur Verfügung und die Anpassung an das Zeitverhalten des Messwertaufnehmers lässt sich leicht durch entsprechende Wahl der Gewichtungsfaktoren nachbilden.

Bei einem schnellen Temperaturfühler beispielsweise und einem langsam reagierenden Messwertaufnehmer werden die älteren Daten stärker berücksichtigt als die neuesten Daten, während bei einem schnell reagierenden Messwertaufnehmer vor allem die neuesten Daten berücksichtigt werden und die ältesten den Gewichtungsfaktor Null erhalten. Die Anpassung ist also durch einfaches Ändern der Gewichtungsfaktoren möglich, ohne dass die Art, der Ort oder die Befestigungsweise des Temperaturfühlers geändert werden müsste.

Die Organisation dieses Speicherbereichs kann je nach benutzter Hardware für die Elektronik gewählt werden. Vorteilhaft ist es z.B., diesen Speicherbereich in Form eines Schieberegisters zu organisieren, wobei beim Einspeichern eines neuen Datensatzes alle bisher eingespeicherten Datensätze um einen Speicherplatz weiterrücken und der letzte Datensatz gelöscht wird.

Eine weitere zweckmässige Ausführungsform ergibt sich dann, wenn die digitale Signalverarbeitungseinheit durch einen Mikroprozessor realisiert ist; dann kann für den Speicherbereich ein Teil des (internen oder externen) RAM's dieses Mikroprozessors benutzt werden. Hierbei ist es auch möglich, jeden Datensatz auf einem festen Speicherplatz zu belassen und jeweils nur den ältesten Datensatz zu löschen und durch den neuen Datensatz zu ersetzen.

Da im allgemeinen die Temperatur die wichtigste Störgrösse darstellt, ist es zweckmässig, dass als Fühler mindestens ein Temperaturfühler vorhanden ist.

Bei einem Messwertaufnehmer nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation wird in einer zweckmässigen Ausgestaltung ein Temperaturfühler an der Kompensationsspule befestigt. Dadurch können die bei wechselnden Lasten durch den entsprechend wechselnden Kompensationsstrom verursachten Temperaturänderungen sowohl besonders schnell erfasst werden als auch über die zeitliche Mittelwertbildung der im Speicherbereich gespeicherten Werte in ihren langsamen Auswirkungen auf thermisch träge Bauteile berechnet werden.

Als Temperaturfühler wird dabei zweckmässigerweise ein Schwinger mit temperaturabhängiger Resonanzfrequenz eingesetzt, da er ein leicht digitalisierbares Ausgangssignal liefert. Beispielsweise ist ein Schwingquarz mit entsprechendem Schnittwinkel solch ein Schwinger mit temperaturabhängiger Resonanzfrequenz, der sich zusätzlich durch eine sehr gute Langzeitstabilität auszeichnet.

Eine besonders preisgünstige Auswerteschaltung erhält man, wenn man die temperaturabhängige Ausgangsfrequenz des Schwingers durch Teilerstufen, wie sie in kommerziellen Uhren-IC's enthalten sind, auf grössenordnungsmässig 1 Hz herunterteilt und die Dauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen mittels einer konstanten Referenzfrequenz aus zählt; dieses Zählergebnis ist dann ein digitales Mass für die Temperatur des Schwingers.

Bei einem Messwertaufnehmer nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation ändert sich die Verlustleistung in der Spule in Abhängigkeit vom Kompensationsstrom und damit in Abhängigkeit von der Last, und zwar steigt die Verlustleistung quadratisch mit der Last. Die digitale Signalverarbeitungseinheit kann damit aus dem Lastwert, also dem Ausgangssignal des Messwertaufnehmers, die momentane Verlustleistung in der Spule errechnen. Dementsprechend sieht eine weitere zweckmässige Ausgestaltung vor, dass bei einem Messwertaufnehmer nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation die dem

Speicherbereich zugeführten Daten aus dem Ausgangssignal eines Temperaturfühlers und dem quadrierten Ausgangssignal des Messwertaufnehmers hergeleitet werden. Die Temperaturunterschiede durch die lastabhängige Verlustleistung in der Spule werden dann aus dem Ausgangssignal des Messwertaufnehmers errechnet, während der Temperaturfühler nur zusätzlich die Grundtemperatur des Messwertaufnehmers erfasst. Für beide Temperaturdaten können verschiedene Gewichtungsfaktoren benutzt werden entsprechend dem unterschiedlichen, zeitlichen und räumlichen Einfluss von Schwankungen der Grundtemperatur und von Schwankungen der Verlustleistung in der Spule.

Eine andere vorteilhafte Ausgestaltung sieht vor, dass als Fühler mindestens ein Feuchtefühler vorhanden ist. Eine Feuchte-Korrektur ist z.B. bei Messwertaufnehmern mit aufgeklebten Dehnungsmessstreifen notwendig, da der Kleber im allgemeinen je nach umgebender Feuchte verschieden viel Wasserdampf aufnimmt und seine Eigenschaften dadurch ändert. Auch bei Messwertaufnehmern nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation kann die Lackisolation der Kompensationsspule verschiedene Mengen Wasserdampf aufnehmen und so bei empfindlichen Waagen durch ihr verändertes Eigengewicht den Nullpunkt beeinflussen. Alle Feuchteeffekte zeigen eine starke zeitliche Verzögerung, da sich ein neues Wasserdampf-Gleichgewicht nur langsam einstellt. Dadurch wirkt sich die Verfügbarkeit von älteren Messdaten hier besonders vorteilhaft aus.

Um das unterschiedliche Zeitverhalten verschiedener Fehler, beispielsweise Linearitätsfehler, Nullpunktsfehler oder Empfindlichkeitsfehler, nachbilden zu können, werden vorteilhafterweise die Gewichtungsfaktoren, mit denen die digitale Signalverarbeitungseinheit die im Speicherbereich gespeicherten Daten bewertet, für die verschiedenen Korrekturen verschieden vorgegeben.

Manche Messwertaufnehmer zeigen einen Fehler, den man allgemein als «Kriechen» bezeichnet. Dabei folgt das Ausgangssignal bei einem Lastwechsel diesem zuerst nur teilweise und kriecht erst allmählich auf den stationären Endwert. Auch diesen Fehler kann man durch Abspeichern der jeweiligen Lastwerte im Speicherbereich und durch Vergleich der älteren Lastwerte mit dem aktuellen Lastwert korrigieren. Je weiter ein Lastwechsel zurückliegt, desto geringer wird er dabei bewertet. Diese Kriechfehler sind stark temperaturabhängig. Vorteilhafterweise werden daher die Gewichtungsfaktoren, mit denen die digitale Signalverarbeitungseinheit die im Speicherbereich gespeicherten Daten bewertet, zumindest teilweise temperaturabhängig vorgegeben.

Um den Speicherbedarf nicht zu gross werden zu lassen, ist es vorteilhaft, die Folgefrequenz, mit der dem Speicherbe-

reich neue Daten zugeführt werden, niedriger zu wählen als die Frequenz, mit der Messwerte vom Messwertaufnehmer abgegeben werden.

Zu demselben Zweck ist es vorteilhaft, den Speicherbereich in mindestens zwei Teilbereiche zu unterteilen und die Folgefrequenzen mit denen diesen Teilbereichen neue Daten zugeführt werden, verschieden zu wählen. Diese Teilbereiche können einmal für die Daten von verschiedenen Fühlern benutzt werden: Die Signale von sich schnell ändernden und nur kurz nachwirkenden Störeinflüssen werden häufiger abgespeichert und – bei vorgegebener Speicherkapazität – entsprechend schneller wieder gelöscht, während Signale von sich langsam ändernden und lang nachwirkenden Störeinflüssen seltener abgespeichert werden und dementsprechend für einen längeren Zeitraum zur Auswertung zur Verfügung stehen. Zum anderen können die beiden Teilbereiche auch hintereinander geschaltet sein: Alle Daten werden zuerst dem ersten Teilbereich zugeführt, der damit also die Daten der jüngsten Vergangenheit enthält; dann wird jeweils der Mittelwert der ältesten n Daten des ersten Teilbereiches mit einer um den Faktor n niedrigeren Folgefrequenz in den zweiten Teilbereich übertragen. Der zweite Teilbereich enthält also die Daten der weiter zurückliegenden Vergangenheit mit einer geringeren zeitlichen Auflösung.

Um die lückenlose Abspeicherung der Daten der verschiedenen Störeinflüsse im Speicherbereich auch bei nicht benutzter Waage sicherzustellen, ist es zweckmässig, eine Stand-by-Schaltung vorzusehen und auch während des Stand-by-Betriebes dem Speicherbereich weiterhin Daten zuzuführen.

Wird eine Waage ohne Stand-by-Schaltung wieder eingeschaltet oder wird eine Waage mit Stand-by-Schaltung von der Versorgungsspannung getrennt und wieder eingeschaltet, so dauert es eine Zeit, bis sich wieder thermisches Gleichgewicht eingestellt hat. In dieser Zeit ergibt sich häufig eine Nullpunkts- und Empfindlichkeitsdrift. Um auch diesen Fehler korrigieren zu können, ist in einer weiterführenden Ausgestaltung vorgesehen, dass beim Einschalten der Waage aus den ersten, aus dem jeweiligen Ausgangssignal der Fühler hergeleiteten Daten nach einem fest vorgegebenen Programm weitere Daten berechnet werden, mit denen die weiteren, noch leeren Plätze des Speicherbereichs geladen werden. Der Speicherbereich wird also mit Daten geladen, die nicht aus älteren Messwerten stammen, sondern gerade so berechnet werden, dass die Einschalt drift korrigiert wird. Diese Daten werden dann allmählich gelöscht und durch Messdaten ersetzt.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Figuren am Beispiel einer Waage nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation erläutert, ohne dass die Anwendung der Erfindung jedoch auf solche Waagen eingeschränkt ist. Dabei zeigt:

Fig. 1 einen Schnitt durch den mechanischen Teil der Waage und ein Blockschaltbild der Elektronik,

Fig. 2 den zeitlichen Verlauf einer Störgrösse, die daraus abgeleiteten Werte im Speicherbereich und zwei Beispiele für Gewichtungsfaktoren und

Fig. 3 ein Blockschaltbild des Speicherbereichs in einer zweiten Ausführungsform.

Die elektrische Waage in Fig. 1 besteht aus einem gehäusefesten Stützteil 1, an dem über zwei Lenker 4 und 5 mit den Gelenkstellen 6 ein Lastaufnehmer 2 in senkrechter Richtung beweglich befestigt ist. Der Lastaufnehmer trägt in seinem oberen Teil die Lastschale 3 zur Aufnahme des Wägegutes und überträgt die der Masse des Wägegutes entsprechende Kraft über ein Koppellement 9 mit den Dünnstellen

12 und 13 auf den kürzeren Hebelarm des Übersetzungshebels 7. Der Übersetzungshebel 7 ist durch ein Kreuzfederge lenk 8 am Stützteil 1 gelagert. Am längeren Hebelarm des Übersetzungshebels 7 greift die Kompensationskraft an, die durch eine stromdurchflossene Spule 11 im Luftspalt eines Permanentmagnetsystems 10 erzeugt wird. Die Grösse des Kompensationsstromes wird in bekannter Weise durch den Lagensensor 16 und den Regelverstärker 14 so geregelt, dass Gleichgewicht zwischen dem Gewicht des Wägegutes und der elektromagnetischen Kompensationskraft herrscht. Der Kompensationsstrom erzeugt am Messwiderstand 15 eine Messspannung, die einem Analog/Digital-Wandler 17 zugeführt wird. Das digitalisierte Ergebnis wird von einer digitalen Signalverarbeitungseinheit 18 übernommen. In der digitalen Signalverarbeitungseinheit ist nun ein Speicherbereich 20 vorhanden, der im gezeichneten Beispiel als Schieberegister mit zwanzig Speicherplätzen dargestellt ist. Das Schieberegister 20 wird vom übrigen Teil 19 der digitalen Signalverarbeitungseinheit, über die Leitung 21 getaktet, und bei jedem Taktimpuls wird ein neuer Datensatz über die Leitungen 22 und 23 übernommen und im ersten (in der Zeichnung linken) Speicherplatz gespeichert; gleichzeitig wird der vorher im ersten Speicherplatz gespeicherte Datensatz in den zweiten Speicherplatz übernommen, der vorher im zweiten Speicherplatz gespeicherte Datensatz wird in den dritten Speicherplatz übernommen usw. bis zum 20. Speicherplatz, dessen vorher gespeicherter Datensatz gelöscht wird.

Die dem Eingang des Schieberegisters zugeführten Daten stammen aus Fühlern 24 und 25 und werden in dazugehörigen Signalaufbereitungsbausteinen 26 und 27 aufbereitet. Bei analogen Fühlern bestehen diese Signalaufbereitungsbausteine beispielsweise aus einem Analog/Digital-Wandler mit Datenspeicher; bei Fühlern mit frequenzanalogem Ausgangssignal, wie z.B. bei den Quarz-Temperaturfühlern, können sie aus einem Zähler bestehen. Oder sie bestehen aus Untersestufen zum Herunterteilen der Messfrequenz auf ca. 1 Hz; diese niedrige Frequenz kann dann durch Auszählen der Periodendauer von der digitalen Signalverarbeitungseinheit 19 bestimmt werden. Die dem Eingang des Schieberegisters 20 zugeführten Daten können jedoch auch (über die Leitung 29) von der digitalen Signalverarbeitungseinheit aus dem Ausgangssignal des Messwertaufnehmers 1...17 ermittelt werden. Ebenso könnten die Messdaten der Fühler 24 und 25 über die Signalaufbereitungsbausteine 26 und 27 direkt der digitalen Signalverarbeitungseinheit 19 zugeführt werden und von dort zum Schieberegister gelangen, ohne dass sich die Funktionsweise ändert. Die digitale Signalverarbeitungseinheit 19 hat über die Leitungen 28 Zugriff zu den einzelnen Speicherplätzen des Schieberegisters 20. Sie kann die einzelnen Datensätze übernehmen, mit Gewichtungsfaktoren multiplizieren und aus dem Ergebnis die notwendigen Korrekturen für das Ausgangssignal des Messwertaufnehmers 1...17 errechnen und das Ergebnis in die digitale Anzeige 30 weitergeben.

Der durch diese Schaltung gegebene Funktionsablauf lässt sich anhand der Beispiele in Fig. 2 erläutern. Dort ist nur die Störgrösse Temperatur betrachtet, die von einem einzigen Temperaturfühler gemessen wird; weiter sind für das Schieberegister nur zehn Speicherplätze angenommen. Im oberen Teil von Fig. 2 ist als Kurve der angenommene zeitliche Verlauf der Temperatur aufgetragen, wobei der Zeitmassstab von rechts nach links fortschreitet. Die aktuelle Temperatur (Balken X_1) ist im ersten Speicherplatz des Schieberegisters gespeichert; die Temperatur X_2 , die vor einer Taktperiode – beispielsweise also vor einer Minute – herrschte, ist im zweiten Speicherplatz gespeichert; die Temperatur X_3 , die vor zwei Taktperioden herrschte, ist im dritten Speicherplatz gespeichert; usw. Der angenommene Kurvenverlauf zeigt

also eine Temperaturerhöhung in den letzten zwei Taktperioden und eine etwa konstante Temperatur in der Zeit davor.

Soll nun ein thermisch träges System korrigiert werden, beispielsweise in Fig. 1 die Empfindlichkeit, die im wesentlichen durch den verhältnismässig grossen und schweren Permanentmagneten 10 bestimmt wird, so wird der obere Satz Gewichtungsfaktoren aus Fig. 2 benutzt. Dabei werden die mittleren Speicherplätze stärker gewichtet und die vorderen und hinteren Speicherplätze, also die neuesten und die ältesten Daten, geringer. Damit wirkt sich die in Fig. 2 angenommene Temperaturerhöhung in den letzten zwei Taktperioden erst allmählich und zeitverzögert in der Grösse der temperaturabhängigen Korrektur aus – genauso wie sich das empfindlichkeitsbestimmende Bauteil, der Magnet, erst allmählich erwärmt.

Der untere Satz Gewichtungsfaktoren in Fig. 2 ist für ein thermisch schnell reagierendes System gedacht, beispielsweise im Messwertaufnehmer aus Fig. 1 für den Nullpunkt, der weitgehend von den Gelenkstellen 6 und den Lenkern 4 und 5 bestimmt wird. In Fig. 2 ist angenommen, dass der benutzte Temperaturfühler auf eine Temperaturänderung langsamer reagiert als der Messwertaufnehmer. Deshalb wird aus den gespeicherten Temperaturfühler-Messwerten der Vergangenheit auf den zu erwartenden nächsten Messwert extrapoliert: zu dem neuesten Messwert X_1 wird ein Wert addiert, der sich zu $\frac{3}{4}$ aus der Steigung zwischen den beiden letzten Messwerten ($X_1 - X_2$) und zu $\frac{1}{4}$ aus der Steigung zwischen den beiden letzten Messwerten $X_2 - X_3$ ergibt:

$$X_1 + \frac{3}{4}(X_1 - X_2) + \frac{1}{4}(X_2 - X_3) = \frac{1}{4}(7X_1 - 2X_2 - X_3)$$

Der untere Satz Gewichtungsfaktoren in Fig. 2 (ohne Normierungsfaktor angegeben) stellt also eine Vorausschätzung dar, die Temperaturkorrektur wird in der vorausgeschätzten Höhe durchgeführt, wie sie der Temperaturfühler erst in den nächsten (zukünftigen) Taktperioden etwa messen wird. Dies Beispiel soll zeigen, dass durch richtig gewählte Gewichtungsfaktoren in gewissem Umfang auch Fehler des Messwertaufnehmers korrigiert werden können, die bei Änderungen der Störgrösse schneller auftreten als der benutzte Fühler erkennen kann.

Die beiden Sätze Gewichtungsfaktoren in Fig. 2 sollen beispielhaft verschiedene Möglichkeiten der Anpassung des zeitlichen Verhaltens von Fühler und Messwertaufnehmer zeigen. Andere Zusammenstellungen von Gewichtungsfaktoren sind in grosser Vielzahl möglich und müssen entsprechend den speziellen Eigenschaften von Fühler und Messwertaufnehmer ermittelt und der digitalen Signalverarbeitungseinheit implementiert werden.

Genauso wie die Festlegung der Gewichtungsfaktoren waagenspezifisch erfolgen muss, muss auch die Wahl der Fühler 24 und 25 waagenspezifisch nach den Störgrössen mit grösstem Einfluss erfolgen. Die folgenden Beispiele sollen also wieder nur die Bandbreite der Möglichkeiten aufzeigen.

Beispiel 1

Am Spulenkörper 11 oder in seiner Nähe ist ein Feuchtefühler 25' angebracht, am gehäusefesten Stützteil 1 ist ein Temperaturfühler 24' angebracht. Aus den Daten des Feuchtefühlers wird der Feuchte-Einfluss der Spulenwindungen korrigiert, aus den Daten des Temperaturfühlers wird der Temperaturfehler des gesamten Messwertaufnehmers korrigiert. Dabei sind die Gewichtungsfaktoren für den Feuchte-Einfluss temperaturabhängig vorgegeben, um das temperaturabhängige Zeitverhalten der Feuchteaufnahme

und um die temperaturabhängige Grösse der Feuchteaufnahme zu berücksichtigen.

Beispiel 2

Am Spulenkörper 11 ist ein erster Temperaturfühler 25" angebracht, am gehäusefesten Stützteil ist ein weiterer Temperaturfühler 24" angebracht. Der Temperaturfühler 24" misst die mittlere Temperatur des Messwertaufnehmers, der Temperaturfühler 25" misst die Temperatur der Spule, die Differenz der beiden Temperaturen ergibt die lastabhängige Übertemperatur der Spule. Aus den abgespeicherten Werten des Temperaturfühlers 24" wird der Temperaturkoeffizient des gesamten Messwertaufnehmers korrigiert, aus der Differenz der abgespeicherten Daten der beiden Temperaturfühler wird der Einfluss des sich aus der Übertemperatur der Spule ergebenden geänderten Hebelverhältnisse am Hebel 7 und der geänderten Feldstärke des Permanentmagnetsystems 10 korrigiert.

Beispiel 3

Es ist nur ein Temperaturfühler 24''' am gehäusefesten Stützteil 1 vorhanden, dann errechnet die digitale Signalverarbeitungseinheit 19 die Verlustleistung in der Spule 11 aus dem Ausgangssignal des Messwertaufnehmers 1...17. Die Auswertung erfolgt wie im Beispiel 2.

Beispiel 4

Bei einem Messwertaufnehmer aus einem Federkörper mit aufgeklebten Dehnungsmessstreifen ist ein Temperaturfühler und ein Feuchtefühler in der Nähe des Federkörpers vorhanden. In das Schieberegister wird neben den Daten dieser beiden Fühler noch das gewichtsabhängige Ausgangssignal des Messwertaufnehmers übernommen. Aus den gespeicherten Temperaturwerten wird einmal der Temperaturfehler des Messwertaufnehmers (z.B. der Temperaturkoeffizient des Elastizitätsmoduls) korrigiert, weiter werden die Gewichtungsfaktoren für den Feuchte-Einfluss je nach Temperatur verschieden vorgegeben und zum dritten werden zur Kriechkompensation die Gewichtungsfaktoren der gespeicherten Lastwerte je nach Temperatur verschieden vorgegeben.

Der Speicherbedarf richtet sich nach der Taktfrequenz, mit der die Daten eingeschrieben und weitergeschoben werden und nach der benötigten Zeitspanne, aus der Daten zum Errechnen der Korrekturen benötigt werden. Um den Speicherbedarf nicht zu gross werden zu lassen, empfiehlt es sich, nicht für jeden neuen Messwert vom Messwertaufnehmer auch einen neuen Wert in den Speicherbereich einzuspeichern. Während die Messwerte vom Messwertaufnehmer etwa jede Sekunde neu geliefert werden, reicht es in vielen Fällen, wenn etwa jede Minute ein neuer Wert in den Speicherbereich übernommen wird.

Eine andere Möglichkeit, Speicherplatz zu sparen zeigt Fig. 3 wieder am Beispiel eines Schieberegisters. Hier besteht das Schieberegister aus einem ersten Teilbereich 20' mit 16 Speicherplätzen, in die Daten mit der vorgegebenen Taktfrequenz wie in Fig. 1 eingegeben werden. Der Takt für den zweiten Teilbereich 20" mit ebenfalls 16 Speicherplätzen wird in Fig. 3 durch einen Frequenzteiler 31 um den Faktor 4 heruntersetzt. In den zweiten Teilbereich wird jeweils der Mittelwert aus den letzten vier Speicherplätzen des ersten Teilbereiches übertragen (Mittelwertbildner 32). Da dieser Übertrag nur bei jedem vierten Taktimpuls des ersten Teilbereiches erfolgt, wird jeder Wert aus dem ersten Teilbereich genau einmal für den Übertrag in den zweiten Teilbereich berücksichtigt. Die in Fig. 3 gezeigte Anordnung der Teilbereiche des Schieberegisters erlaubt es, mit $16 + 16 = 32$ Speicherplätzen die Daten aus maximal $4 \times 16 + 16 = 80$ Takt-

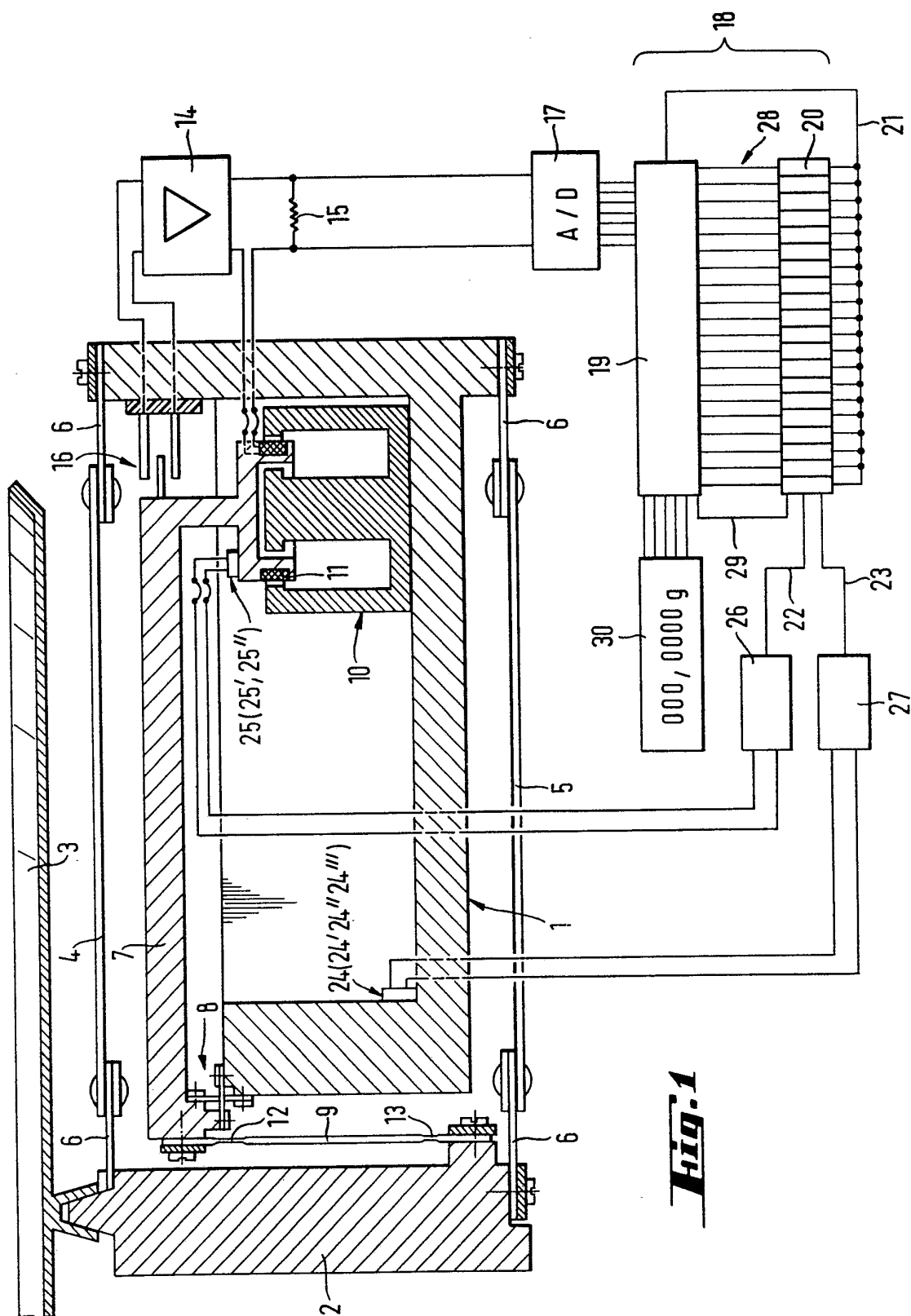
perioden des Taktes aus dem ersten Teilbereich zu speichern. Dass dabei die älteren Daten nur als Mittelwert über vier Taktperioden vorliegen, stört im allgemeinen nicht, da für die weiter zurückliegenden Zeiträume die feine zeitliche Auflösung nicht mehr so wichtig ist.

Diese eben am Beispiel eines Schieberegisters demonstrierte Teilung des Speichers lässt sich sinngemäss auch auf andere Speicherorganisationen übertragen.

Nach dem Einschalten der Waage ist der Speicherbereich zunächst leer und füllt sich erst allmählich mit Daten. Die vorgesehene, und im Vorhergehenden beschriebene, Funktionsweise ist also noch nicht möglich. Es ist deshalb zweckmässig, die Waage in bekannter Weise mit einer Stand by-Schaltung zu versehen, bei der die wesentlichen Teile der Elektronik eingeschaltet bleiben und nur die Anzeige und andere, einer erhöhten Alterung im eingeschalteten Zustand

unterliegende Bauteile abgeschaltet werden. In diesem Fall können auch im Stand by-Betrieb laufend Daten in den Speicherbereich übernommen werden und die Messwertkorrektur ist nach dem vollen Einschalten sofort hundertprozentig gewährleistet.

Ist die Waage doch einmal vollständig von ihrer Versorgungsspannung getrennt worden und wird wieder eingeschaltet, so werden zweckmässigerweise aus den ersten Messwerten der Fühler weitere Daten berechnet und in die leeren Plätze des Speicherbereichs eingespeichert. Diese berechneten Daten können zwar die individuelle Vorgeschichte der Waage vor dem Einschalten nicht wiedergeben, sie können aber so gewählt werden, dass das einschaltbedingte Einlaufen der Waage bei etwa konstanter Temperatur und Feuchte in etwa korrigiert wird.

**Fig. 1**

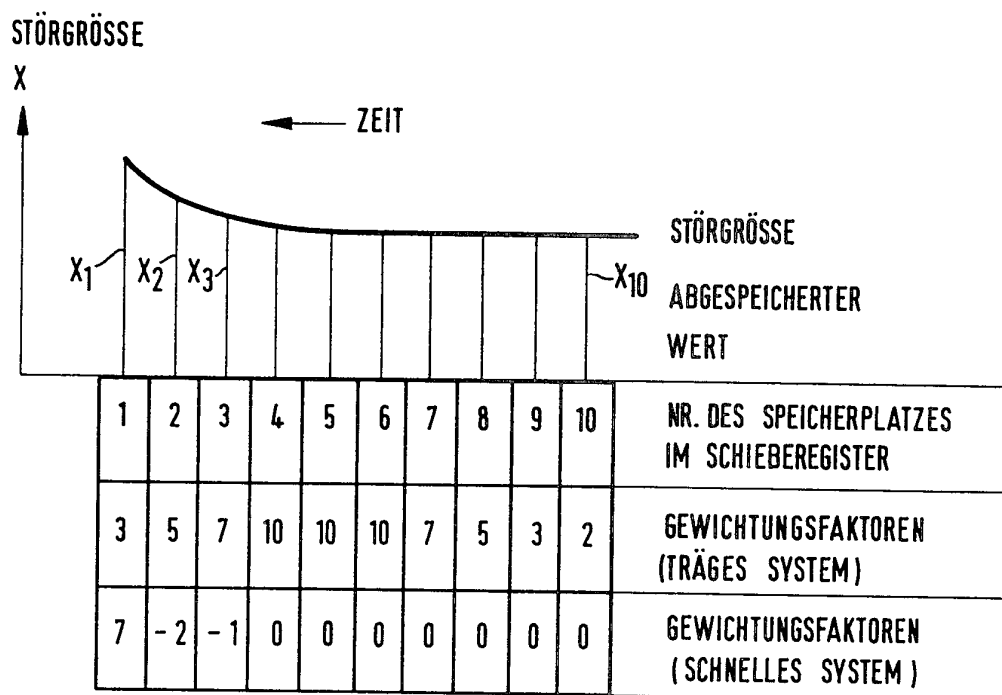


Fig. 2

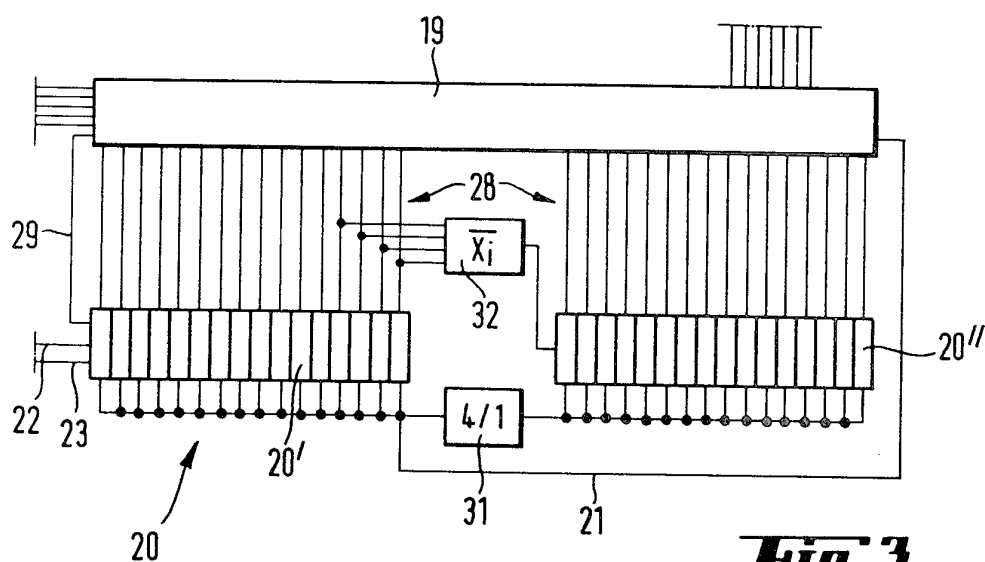


Fig. 3