



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 37 336 T2 2007.07.05**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 827 096 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G06F 17/40 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 37 336.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 306 805.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **01.09.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.03.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **14.02.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.07.2007**

(30) Unionspriorität:
705982 30.08.1996 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Invensys Systems, Inc., Foxboro, Mass., US

(72) Erfinder:
Yang, Janice Chin-Yi, East Killara NSW 2071, AU

(74) Vertreter:
**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80538 München**

(54) Bezeichnung: **Auf Gültigkeit prüfende Sensoren**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Ein Sensor generiert Messdaten. Typischerweise sind die Messdaten ein Signal, das ungefähr dem Wert einer Prozessvariablen (einer Messgröße) entspricht. In der Praxis stellt das Signal den Wert der Prozessvariablen nicht perfekt dar. Stattdessen weist das Signal auch Auswirkungen auf, die sich aus dem Sensor ergeben, (wie beispielsweise Sensorfehlfunktionen und Verzerrung) und andere Prozesseinflüsse, (einschließlich jenen, die "fehlerhaftem" Prozessverhalten zugeschrieben werden können).

[0002] US-A-5 339 680 beschreibt ein Sensorsystem des bisherigen Stands der Technik, bei dem der Ausgang eines Temperaturdetektors an ein Korrekturlement gekoppelt ist, das mit einer Übertragungsfunktion bereitgestellt wird, die das Inverse der Übertragungsfunktion des Temperaturdetektors ist. Die Nebenansprüche sind über dieses Dokument gekennzeichnet. WO-A-93 21505 beschreibt die [Fig. 1](#) bis 15 der Spezifikation.

[0003] Gemäß einem ersten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Kompensieren von Abweichungen in einer Übertragungsfunktion eines Sensors bereitgestellt, das umfasst: Empfangen einer von dem Sensor erzeugten Messung, und dadurch gekennzeichnet, dass es umfasst: Identifizieren einer gewünschten Übertragungsfunktion für den Sensor, Bestimmen einer tatsächlichen Übertragungsfunktion für den Sensor, Modifizieren der Messung auf Basis der gewünschten und der tatsächlichen Übertragungsfunktion, um eine modifizierte Messung zu erzeugen; und Bereitstellen der modifizierten Messung als einen Messwert für den Sensor.

[0004] Gemäß einem zweiten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung wird ein Sensor zum Erzeugen eines Messwertes bereitgestellt, wobei der Sensor umfasst: einen Wandler, der so konfiguriert ist, dass er eine Messung erzeugt; und dadurch gekennzeichnet, dass er umfasst: einen Sender, der so konfiguriert ist, dass er: eine gewünschte Übertragungsfunktion für den Wandler identifiziert; eine tatsächliche Übertragungsfunktion für den Wandler bestimmt; die durch den Wandler erzeugte Messung empfängt; die Messung auf Basis der gewünschten und der tatsächlichen Übertragungsfunktion modifiziert, um eine modifizierte Messung zu erzeugen; und die modifizierte Messung als einen Messwert für den Sensor bereitstellt.

[0005] Die Erfindung stellt eine Technik zum Kompensieren von Abweichungen in der Übertragungsfunktion eines Sensors bereit. Diese Variationen können auch als Sensordynamik bezeichnet werden. Bei einem idealen Sensor steht eine gewünschte Messung m_d zu einer Messgröße m über die Übertragungsfunktion $G(s)$ des Sensors in Beziehung:

$$m_d = mG(s)$$

[0006] Allerdings können Abweichungen in der Übertragungsfunktion $G(s)$ des Sensors zu einer Sensorablesung x führen, der sich von der gewünschten Messung m_d unterscheidet. Beispielsweise kann eine Kontaktverlustfehlfunktion in einem Thermoelement eine Verringerung in der Ansprechempfindlichkeit eines Messsystems verursachen, welches das Thermoelement enthält.

[0007] Die Erfindung stellt eine Technik bereit, die Abweichungen in der Übertragungsfunktion $G(s)$ des Sensors korrigiert. Die Technik verwendet Kenntnisse der tatsächlichen Übertragungsfunktion $G_a(s)$ und der gewünschten Übertragungsfunktion $G_d(s)$ des Sensors. In den meisten Fällen ist die gewünschte Übertragungsfunktion bekannt, und die tatsächliche Übertragungsfunktion kann vom Sensor aus bestimmt werden. Beispielsweise kann die tatsächliche Übertragungsfunktion eines Thermoelements unter Verwendung von Strominjektionsprüfungen bestimmt werden. Unter Verwendung der Sensorablesung x und einem Inversen der tatsächlichen Übertragungsfunktion $G_a(s)'$ erzeugt die Technik eine kompensierte Messung m_c , die der Messgröße m sehr gleich:

$$m_c = xG_a(s)',$$

wobei

$$x = mG_a(s)$$

ist.

[0008] Die kompensierte Messung m_c wird dann unter Verwendung der gewünschten Übertragungsfunktion $G_d(s)$ gefiltert, um die gewünschte Messung zu erzeugen:

$$m_d = m_c G_d(s) = (x G_a(s)') G_d(s) = (m G_a(s)) G_a(s)' G_d(s) = m G_d(s).$$

[0009] Die Erfindung umfasst auch Techniken zum Bestimmen der Unsicherheit der korrigierten Messung und zum Bestimmen der Unsicherheit von Kombinationen von zugehörigen Signalen.

[0010] Unter einem Gesichtspunkt umfasst die Erfindung im Allgemeinen ein Verfahren zum Kompensieren von Abweichungen in einer Übertragungsfunktion eines Sensors. Das Verfahren umfasst das Identifizieren einer gewünschten Übertragungsfunktion für den Sensor und das Bestimmen einer tatsächlichen Übertragungsfunktion für den Sensor. Nach dem Empfangen einer durch den Sensor erzeugten Messung modifiziert das Verfahren die Messung auf Basis der gewünschten und der tatsächlichen Übertragungsfunktion, um eine modifizierte Messung zu erzeugen. Dann stellt das Verfahren die modifizierte Messung als einen Messwert für den Sensor bereit. Es sollte verstanden werden, dass Bezugnahmen in der Spezifikation und den Ansprüchen auf die gewünschte und tatsächliche Übertragungsfunktion so gemeint sind, dass sie zeitdiskrete Entsprechungen dieser Funktionen umfassen.

[0011] Ausführungsformen der Erfindung können eines oder mehrere der folgenden Merkmale aufweisen. Die gewünschte Übertragungsfunktion kann anhand von Auslegungskriterien für den Sensor identifiziert werden. Wenn die tatsächliche Übertragungsfunktion zeitlich variiert, kann die tatsächliche Übertragungsfunktion für einen bestimmten Zeitpunkt oder Zeitraum bestimmt werden, für den ein Messwert erzeugt werden soll. Wenn beispielsweise der Sensor ein Thermoelement aufweist, kann die tatsächliche Übertragungsfunktion unter Einsatz von Strominjektionsprüfungen bestimmt werden.

[0012] Eine kompensierte Messung kann erzeugt werden, indem die Messung auf Basis eines Inversen der tatsächlichen Übertragungsfunktion modifiziert wird. Die modifizierte Messung kann durch Modifizieren der kompensierten Messung auf Basis der gewünschten Übertragungsfunktion erzeugt werden.

[0013] Das Verfahren kann des Weiteren das Generieren eines Unsicherheitsmaßes für den Messwert umfassen. Das Unsicherheitsmaß kann generiert werden, indem ein erstes Unsicherheitsmaß für die kompensierte Messung generiert wird, ein zweites Unsicherheitsmaß für die gewünschte Übertragungsfunktion generiert wird, und das erste und das zweite Unsicherheitsmaß kombiniert werden, um das Unsicherheitsmaß für den Messwert zu erzeugen. Das erste Unsicherheitsmaß für die kompensierte Messung kann generiert werden, indem ein drittes Unsicherheitsmaß für die durch den Sensor erzeugte Messung generiert wird, ein viertes Unsicherheitsmaß für das Inverse der tatsächlichen Übertragungsfunktion generiert wird, und das dritte und das vierte Unsicherheitsmaß kombiniert werden, um das erste Unsicherheitsmaß für die kompensierte Messung zu erzeugen.

[0014] Andere Merkmale und Vorteile werden aus der folgenden Beschreibung, die nur als Beispiel angegeben ist, einschließlich den Zeichnungen, und aus den Ansprüchen offenkundig.

[0015] [Fig. 1](#) ist ein Blockschaltbild eines Prozesssteuersystems mit mehreren Sensoren und Stellgliedern.

[0016] [Fig. 2](#) ist ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Sensors.

[0017] [Fig. 3](#) ist ein Blockschaltbild, das den Fluss von Information in dem Sensor von [Fig. 2](#) zeigt.

[0018] [Fig. 4](#) ist eine zusammengefasste grafische Darstellung, die drei Verfahren zeigt, die auf eine Fehlfunktion in dem Sensor von [Fig. 2](#) ansprechen.

[0019] [Fig. 5](#) ist eine zusammengefasste grafische Darstellung von verschiedenen Signalen, die durch den Sensor von [Fig. 2](#) erzeugt werden, im Vergleich zur Zeit.

[0020] [Fig. 6](#) ist ein Blockschaltbild, das den Zeitablauf des Informationsflusses in dem Sensor von [Fig. 2](#) zeigt.

[0021] [Fig. 7](#) ist ein Blockschaltbild und Schaltplan eines erfindungsgemäßen Temperatursensors.

- [0022] [Fig. 8](#) ist eine Gruppe von zusammengefassten grafischen Darstellungen eines Hilfssignals (oberes Schaubild), der unbearbeiteten Temperatur (mittleres Schaubild) und der validierten Temperatur und Unsicherheit (unteres Schaubild) im Vergleich zur Zeit für das Messgerät von [Fig. 7](#).
- [0023] [Fig. 9](#) ist eine Gruppe von zusammengefassten grafischen Darstellungen von unbearbeiteten Daten (oberes Schaubild), der unbearbeiteten Temperatur (mittleres Schaubild) und der validierten Temperatur und Unsicherheit (unteres Schaubild) im Vergleich zur Zeit für das Messgerät von [Fig. 7](#).
- [0024] [Fig. 10](#) ist eine gepaarte zusammengefasste grafische Darstellung von Hilfsdaten ([Fig. 10A](#)) und der validierten Temperatur und Unsicherheit ([Fig. 10B](#)) für das Messgerät von [Fig. 7](#).
- [0025] [Fig. 11](#) ist ein Schaltplan und Blockschaltbild eines Coriolis-Durchflussmessgeräts.
- [0026] [Fig. 12](#) ist ein Pseudocode, der Schritte zeigt, die von dem Messgerät von [Fig. 11](#) während jedes Abtastzeitraums durchgeführt werden.
- [0027] [Fig. 13](#) ist ein Pseudocode, der Schritte zeigt, die von dem Messgerät von [Fig. 11](#) beim Bestimmen der Temperatur und damit verbundener Unsicherheit durchgeführt werden.
- [0028] [Fig. 14](#) ist ein Pseudocode, der Schritte zeigt, die von dem Messgerät von [Fig. 11](#) beim Diagnostizieren einer Fehlfunktion durchgeführt werden.
- [0029] [Fig. 15](#) ist eine Gruppe von zusammengefassten grafischen Darstellungen, welche die Auswirkung eines Temperaturverlusts auf Temperatur (oberes Schaubild), Dichte (mittleres Schaubild) und Mengendurchfluss (unteres Schaubild) im Vergleich zur Zeit für das Messgerät von [Fig. 11](#) zeigen.
- [0030] [Fig. 16](#) ist ein Ablaufdiagramm einer Prozedur zum Generieren eines Signals auf Basis der Unsicherheitsanalyse.
- [0031] [Fig. 17](#) ist ein Ablaufdiagramm einer Prozedur für das Ansprechen auf die Erfassung einer Fehlfunktion.
- [0032] [Fig. 18](#) ist ein Ablaufdiagramm einer Prozedur zum Erfassen einer Kontaktverlustfehlfunktion.
- [0033] [Fig. 19A–Fig. 19D](#) sind Blockschaltbilder, die ein ideales Messsystem und einen Prozess zum Erzeugen einer modifizierten Messung veranschaulichen.
- [0034] [Fig. 20](#) ist ein Ablaufdiagramm einer Prozedur zum Generieren einer modifizierten Messung.
- [0035] [Fig. 21A](#) und [Fig. 21B](#) sind grafische Darstellungen, die Reaktionen auf einen Stufeneingang (step input) zeigen.
- [0036] [Fig. 22A](#) und [Fig. 22B](#) sind grafische Darstellungen, die Reaktionen auf einen variablen Eingang (varying input) zeigen.
- [0037] [Fig. 23A](#) und [Fig. 23B](#) sind grafische Darstellungen eines Thermoelements.
- [0038] [Fig. 24](#) ist ein Ablaufdiagramm einer Prozedur zum Generieren eines Unsicherheitsmaßes für eine modifizierte Messung.
- [0039] [Fig. 25A](#) und [Fig. 25B](#) sind grafische Darstellungen, die Reaktionen auf einen Stufeneingang ([Fig. 25A](#)) und auf einen variablen Eingang ([Fig. 25B](#)) zeigen.
- [0040] [Fig. 26](#) ist ein Ablaufdiagramm einer Prozedur zum Erzeugen des Unsicherheitsmaßes.
- [0041] [Fig. 27A](#) und [Fig. 27B](#) sind grafische Darstellungen, die ein Unsicherheitsmaß in Form von Grundvariablen ([Fig. 27A](#)) und in Form von Zwischensignalen ([Fig. 27B](#)) darstellen.
- [0042] [Fig. 28](#) ist ein Schaltbild von mehreren, parallel angeordneten Thermoelementen zum Messen der Durchschnittstemperatur.

[0043] [Fig. 29](#) ist ein Ablaufdiagramm einer Prozedur zum Generieren eines Unsicherheitsmaßes.

[0044] [Fig. 30A–Fig. 30D](#) sind grafische Darstellungen von Unsicherheitsmaßen.

[0045] [Fig. 31A–Fig. 31D](#) sind grafische Darstellungen von Unsicherheitsmaßen.

[0046] [Fig. 32A–Fig. 32D](#) sind grafische Darstellungen von Unsicherheitsmaßen.

[0047] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) überwacht eine Vielzahl von Sensoren **12** in einem Prozesssteuersystem **10** Parameter eines Prozesses **14** und stellt Signale über die überwachten Parameter für ein Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** auf einer digitalen Kommunikationsverbindung **18** bereit. Die digitale Kommunikationsverbindung **18** gestattet eine bidirektionale Kommunikation zwischen mehreren Prozessoren **16**, Sensoren **12** und Prozessstellgliedern **20**. In Reaktion auf Signale von den Sensoren **12** sendet das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** Prozesssteuersignale auf der digitalen Kommunikationsverbindung **18** an die Prozessstellglieder **20**. Danach sprechen die Prozessstellglieder **20** auf Prozesssteuersignale vom Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** an, indem Parameter des Prozesses **14** modifiziert werden.

[0048] Weil das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** beim Steuern des Prozesses **14** auf Messsignale von den Sensoren **12** angewiesen ist, müssen die Messsignale von den Sensoren **12** genau und zuverlässig sein. Ein bestimmter Sensor **12** kann typischerweise keine vollständige Genauigkeit und Zuverlässigkeit garantieren; stattdessen liefert der Sensor **12** dem Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** Angaben über die Unsicherheit, (die wiederum die Genauigkeit angibt), und die Zuverlässigkeit der Messsignale.

[0049] Unter Bezugnahme auch auf [Fig. 2](#) weist der Sensor **12** einen oder mehrere Wandler **22** auf, welche die Werte von Parametern des Prozesses **14** überwachen und Signale zu einem Sender **24** bereitstellen. Der Sender **24** tastet die Signale von den Wandlern **22** ab und erzeugt Messwerte für die Parameter, die von den Wandlern **22** überwacht werden. Der Sender **24** validiert die Messwerte und stellt die validierten Messwerte zusammen mit einer Angabe der Unsicherheit der validierten Messwerte für das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** über die digitale Kommunikationsverbindung **18** bereit. Außerdem generiert der Sender **24** Signale, welche die Zuverlässigkeit der durch den Sensor **12** bereitgestellten validierten Messwerte und den Betriebsstatus des Sensors **12** angeben, und stellt diese Signale für das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** über die digitale Kommunikationsverbindung **18** bereit.

[0050] Der Sender **24** generiert die Signale, die für das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** bereitgestellt werden, während eines Abtastzeitraums und sendet die Signale am Ende des Abtastzeitraums. Typischerweise beträgt die Dauer eines Abtastzeitraums weniger als eine Sekunde, doch kann diese Dauer je nach Anforderung durch eine bestimmte Anwendung angeglichen werden.

[0051] Wie in [Fig. 3](#) gezeigt, stellt der Sender **24** typischerweise vier Signale für das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** bereit:

- (1) VMV **26** – ein validierter Messwert eines Prozessparameters (der beste Schätzwert des Senders **24** für den Wert des gemessenen Parameters),
- (2) VU **28** – eine validierte Unsicherheit, die zu VMV **26** zugehörig ist,
- (3) MV-Status **30** – der Status von VMV **26** (die Weise, auf die VMV **26** berechnet wurde), und
- (4) Gerätestatus **32** – der Betriebsstatus des Sensors.

[0052] Wenn der Sensor **12** mehrere Prozessparameter misst, erzeugt der Sender **24** eine Version von VMV **26**, VU **28** und MV-Status **30** für jeden Prozessparameter.

[0053] Unter einigen Umständen kann der Sender **24** zusätzliche Informationen bereitstellen. Auf Anforderung durch das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** stellt der Sender **24** zum Beispiel detaillierte Diagnoseinformationen **34** über den Status des Sensors **12** bereit. Wenn eine Messung einen vorgegebenen Grenzwert überschritten hat oder dabei ist, ihn zu überschreiten, kann der Sender **24** Alarmdaten **35** senden. Typischerweise können verschiedene Alarmebenen verwendet werden, um den Schweregrad anzugeben, mit dem die Messung von dem vorgegebenen Wert abgewichen ist.

[0054] VMV **26** und VU **28** sind numerische Werte. Beispielsweise könnte VMV **26** eine Temperaturmessung sein, deren Wert mit 200 Grad angegeben wird, und VU **28**, die Unsicherheit von VMV **26**, könnte 9 Grad sein. In diesem Fall besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit (typischerweise 95%), dass die tatsächliche Temperatur, die gemessen wird, in eine Hüllkurve um VMV **26** und durch VU **28** (191 Grad bis 209 Grad) bezeichnet fällt.

[0055] Der Sender **24** generiert VMV **26** auf der Basis eines Signals, das vom Wandler **22** erzeugt wird. Zuerst leitet der Sender **24** RMV **36** ab, ein nicht validiertes Bild des gemessenen Prozessparameters, das auf dem vom Wandler **22** generierten Signal basiert. Wenn der Sender **24** keine Abweichungen im Sensor **12** erfasst, weist der Sender **24** typischerweise Sollkonfidenz (nominal confidence) in RMV **36** auf und stellt VMV **26** gleich mit RMV **36** ein.

[0056] Wenn, wie im Folgenden ausführlicher erläutert wird, der Sender **24** eine Anomalität im Sensor **12** erfasst, setzt der Sender **24** VMV **26** nicht gleich mit RMV **36**. Stattdessen setzt der Sender **24** VMV **26** auf einen Wert, den der Sender **24** für einen besseren Schätzwert des tatsächlichen Parameters als RMV **36** hält. Wenn der Sender **24** eine Fehlfunktion im Sensor **12** erfasst, die sich nur teilweise auf die Zuverlässigkeit von RMV **36** auswirkt, so dass der Sender **24** eingeschränkte Konfidenz in RMV **36** hat, leitet der Sender **24** RMV **36** typischerweise nochmals ab, indem die beim Ableiten von RMV **36** verwendeten Parameter modifiziert werden, um die Fehlfunktion zu berücksichtigen, und setzt VMV **26** gleich mit dem neuen Wert von RMV **36**. Wenn der Sender **24** alternativ eine Fehlfunktion im Sensor **12** erfasst, die angibt, dass RMV **36** in keiner Beziehung zu dem tatsächlich gemessenen Wert steht, so dass der Sender Nullkonfidenz in RMV **36** hat, setzt der Sender **24** VMV **26** auf einen Wert, der auf früherer Leistung basiert.

[0057] Unter Bezugnahme auch auf **Fig. 4** umfassen drei Beispiele von früheren Leistungswerten kurzzeitig frühere Werte (short term past values), langfristig frühere Werte und eine Kombination von lang- und kurzzeitig früheren Werten. Wenn, wie in (a) gezeigt, kurzzeitig frühere Werte verwendet werden, kann VMV dem Wert von VMV **26** entsprechen, den VMV **26** unmittelbar vor der Fehlfunktion hatte, die zum Zeitpunkt **5** auftritt. Wenn, wie in (b) gezeigt, langfristig frühere Werte verwendet werden, kann VMV **26** dem durchschnittlichen Wert von VMV **26** entsprechen. Wenn, wie in (c) gezeigt, eine Kombination von langfristig und kurzzeitig früheren Werten verwendet wird, können die langfristig und kurzzeitig früheren Werte unter Verwendung der folgenden Gleichung kombiniert werden, die jeden Wert entsprechend seiner Unsicherheit gewichtet:

$$VMV_{L*s} = \frac{VU_L^2}{VU_L^2 + VU_S^2} * VMV_S + \frac{VU_S^2}{VU_L^2 + VU_S^2} * VML_L$$

wobei VU_L und VU_S die langfristig und kurzzeitig früheren Werte für VU **28** sind, und VMV_L und VMV_S die langfristig und kurzzeitig früheren Werte für VMV **26** sind.

[0058] Der Sender **24** generiert VU **28** basierend auf einem unbearbeiteten Unsicherheitssignal RU **62**, welches das Ergebnis einer dynamischen Unsicherheitsanalyse von RMV **36** ist. Der Sender **24** führt diese Unsicherheitsanalyse während jedes Abtastzeitraums durch.

[0059] Die Unsicherheitsanalyse, die ursprünglich in "Describing Uncertainties in Single Sample Experiments", S.J. Kline und F.A. McClintock, Mech. Eng., 75, 3–8 (1953) beschrieben wurde, wurde weithin angewendet und hat den Status eines internationalen Standards für Kalibrierung erreicht. Im Wesentlichen stellt eine Unsicherheitsanalyse eine Angabe der "Qualität" einer Messung bereit. Jede Messung weist einen damit verbundenen Fehler auf, der natürlich nicht bekannt ist. Allerdings kann ein vernünftiger Grenzwert zu diesem Fehler oft durch eine einzige Unsicherheitszahl ausgedrückt werden (ANSI/ASME PTC 19.1 – 1985, Teil 1, Measurement Uncertainty: Instruments and Apparatus).

[0060] Wie von Kline und McClintock beschrieben, kann für jede beobachtete Messung M die Unsicherheit in M, W_M , wie folgt definiert werden:

$$M_{true} \in [M - W_M, M + W_M]$$

wobei M wahr ist (M_{true}) bei einer bestimmten Konfidenzebene (typischerweise 95%). Diese Unsicherheit lässt sich einfach in einer Verhältnisform als ein Anteil der Messung ausdrücken (z. B. W_M/M).

[0061] Es gibt eine Propagierungsregel (propagation rule), um die Unsicherheiten von beliebigen Funktionen von primären Messungen zu erhalten. Beispielsweise wird für eine beliebige Funktion R der Variablen X, Y und Z,

$$R = R(X, Y, Z)$$

die Unsicherheit von R angegeben durch

$$[W_R/R]^2 = [\partial R/\partial X]^2 [W_X/R]^2 + [\partial R/\partial Y]^2 [W_Y/R]^2 + [\partial R/\partial Z]^2 [W_Z/R]^2$$

[0062] Diese Quadratsummenform (sum of squares form) wird von der Taylor-Reihe abgeleitet und nimmt die Unabhängigkeit von X, Y und Z an, dass ihre relativen Unsicherheiten "klein" sind, und dass alle Unsicherheiten auf der gleichen Wahrscheinlichkeitsebene ausgedrückt werden. Für Zwecke dieser Anwendung wird angenommen, dass alle Unsicherheiten eine Wahrscheinlichkeit von 95% aufweisen.

[0063] Eine der Einsatzmöglichkeiten der Unsicherheitspropagierungsformel besteht darin, bestimmte Umstände aufzudecken, die zu einer höheren oder niedrigeren Unsicherheitsebene als erwartet führen können. Wie beispielsweise in S.J. Kline, "The Purposes of Uncertainty Analysis", ASME Journal of Fluids Engineering, Bd. 107, Nr. 2, S. 153–160, 1985 erläutert, wird, wenn R aus x und y berechnet wird unter Verwendung der Gleichung

$$R = x - y,$$

die Unsicherheit in R, w_R angegeben durch

$$w_R/R = [(x/(x - y) \cdot w_x/x)^2 + (y/(x - y) \cdot w_y/y)^2]^{1/2}.$$

[0064] Wenn $x = 1,0$, $y = 0,98$ und die Unsicherheit in beiden, x und y, 1% ist, dann ist die Unsicherheit in R:

$$w_R/R = [(1/0,02 \cdot 0,01)^2 + (0,98/0,02 \cdot 0,01)^2]^{1/2} = 0,700 = 70\%$$

[0065] Durch Vergleich, wenn R aus einer Variablen z berechnet wird unter Verwendung der Gleichung

$$R = (1/(1 + z))^{1/2},$$

wird die Unsicherheit in R angegeben durch

$$w_R/R = w_z/2(1 + z).$$

[0066] Wenn $z = 0,1$ ist, und die Unsicherheit z ist 20% ist, dann beträgt die Unsicherheit in R nur 0,91%.

[0067] Bei näherer Betrachtung sollten diese Ergebnisse nicht überraschen. In dem ersten Beispiel werden zwei Mengen von ähnlicher Größe subtrahiert, wodurch sich der relative Fehler im Ergebnis erhöht. In dem zweiten, obwohl r eine große Unsicherheit aufweist, ist sein Einfluss auf R relativ klein. Natürlich ändert sich für andere Werte von x, y und r die Auswirkung auf ihre Unsicherheiten. Die Unsicherheitsanalyse ist insofern nützlich, als sie diese Auswirkungen quantifizieren kann.

[0068] Unter erneuter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) weist VU 28 einen Nicht-Null-Wert auch unter idealen Bedingungen auf (d.h. einem einwandfreien Sensor, der in einer kontrollierten Laborumgebung arbeitet). Dies kommt daher, dass die von einem Sensor erzeugte Messung niemals völlig sicher ist, und immer einiges Fehlerpotenzial vorhanden ist.

[0069] Wenn, wie bei VMV 26, der Sender 24 keine Anormalitäten im Sensor 12 erfasst, setzt der Sender 24 VU 28 gleich mit RU 62. Wenn der Sender 24 eine Fehlfunktion im Sensor 12 erfasst, die sich nur teilweise auf die Zuverlässigkeit von RMV 36 auswirkt, führt der Sender 24 typischerweise eine neue Unsicherheitsanalyse durch, die Auswirkungen der Fehlfunktion berücksichtigt, und setzt VU 28 gleich mit den Ergebnissen dieser Analyse. Wie bei VMV 26 setzt der Sender 24 VU 28 auf einen Wert, der auf früherer Leistung basiert, wenn der Sender 24 bestimmt, dass RMV 36 in keiner Beziehung zu dem tatsächlich gemessenen Wert steht.

[0070] Fig. 4 veranschaulicht drei beispielhafte Techniken zum Korrigieren von VU 28 auf der Basis von früheren Leistungswerten. Zuerst, wie in (a) gezeigt, kann VU 28 während jedes Abtastzeitraums um die maximale beobachtete Änderungsgeschwindigkeit von VMV 26 erhöht werden. Diese Technik, die dazu neigt, zu guten Kurzzeit-Resultaten zu führen, erzeugt letztendlich unrealistische Werte für VU 28. Als Nächstes, wie in (b) gezeigt, wenn VMV 26 mit dem Langzeit-Durchschnittswert von VMV 26 gleichgesetzt wird, kann VU 28 angeben, dass VMV 26 jeden vorherigen Wert von VMV 26 annehmen kann. Wenn VMV 26 daher immer zwischen 0 und 100 fällt, und VMV 26 auf 50 gesetzt ist, wird VU 28 auf 50 gesetzt. Diese Technik neigt dazu, zu

übermäßig pessimistischen Kurzzelt-Ergebnissen zu führen, vermeidet aber die Langzeit-Probleme von Verfahren (a). Schließlich, wie in (c) gezeigt, wenn VMV **26** auf einer Kombination der langfristig und kurzzeitig früheren Werte für VMV **26** basiert, kann VU **28** wie folgt berechnet werden:

$$VU_{L*S} = \frac{VU_L * VU_S}{(VU_L^2 + VU_S^2)^{1/2}}$$

wobei VU_L und VU_S die langfristig und kurzzeitig früheren Werte für VU **28** sind.

[0071] Um sicherzustellen, dass das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** VMV **26** und VU **28** richtig verwendet, stellt der MV-Status **30** Informationen darüber bereit, wie VMV **26** und VU **28** berechnet wurden. Der Sender **24** erzeugt VMV **26** und VU **28** unter allen Bedingungen – auch wenn die Wandler **22** nicht in Betrieb sind. Oft muss das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** wissen, ob VMV **26** und VU **28** auf "live" oder historischen Daten basieren. Wenn beispielsweise das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** VMV **26** und VU **28** für die Regelung genutzt hat, und die Wandler **22** nicht in Betrieb waren, müsste das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** wissen, dass VMV **26** und VU **28** auf früherer Leistung basierten.

[0072] Der MV-Status **30** basiert auf der erwarteten Fortdauer jeder anormalen Bedingung und auf der Konfidenz des Senders **24** in RMV **36**. Die vier primären Status für den MV-Status werden gemäß Tabelle 1 generiert.

Tabelle 1

Erwartete Fortdauer	Konfidenz in RMV	MV-Status
nicht zutreffend	Soll	CLEAR
nicht zutreffend	eingeschränkt	BLURRED
kurz	Null	DAZZLED
lang	Null	BLIND

[0073] Ein MV-Status **30** CLEAR tritt auf, wenn RMV **36** innerhalb eines normalen Bereichs für vorgegebene Prozessbedingungen liegt. Ein MV-Status **30** DAZZLED gibt an, dass RMV **36** ziemlich anormal ist, dass aber erwartet wird, dass die Anormalität von kurzer Dauer ist. Typischerweise setzt der Sender **24** den MV-Status **30** auf DAZZLED, wenn eine plötzliche Änderung in dem Signal vom Wandler **22** erfolgt, und der Sender **24** nicht in der Lage ist, eindeutig festzustellen, ob diese Änderung auf eine bisher noch nicht diagnostizierte Sensorfehlfunktion oder auf eine abrupte Änderung in der Variablen zurückzuführen ist, die gemessen wird. Ein MV-Status **30** BLURRED gibt an, dass RMV **36** anormal ist, aber in sinnvoller Weise mit dem Parameter in Beziehung steht, der gemessen wird. Beispielsweise kann der Sender **24** den MV-Status **30** auf BLURRED setzen, wenn RMV **36** ein rauschiges Signal ist. Ein MV-Status **30** BLIND gibt an, dass RMV **36** völlig unzuverlässig ist, und dass erwartet wird, dass die Fehlfunktion andauert.

[0074] Zwei zusätzliche Status für den MV-Status **30** sind UNVALIDATED und SECURE. Der MV-Status **30** ist UNVALIDATED, wenn der Sender **24** keine Validierung von VMV **26** durchführt. Der MC-Status **30** ist SECURE, wenn VMV **26** aus redundanten Messungen generiert wird, in die der Sender **24** Sollkonfidenz hat.

[0075] Der Gerätestatus **32** ist ein generischer diskreter Wert, der den einwandfreien Zustand des Sensors **12**, der verwendet wird, primär durch Fehlfunktionserfassungs- und Wartungssysteme zusammenfasst. Typischerweise befindet sich der Gerätestatus **32** in einem von sechs Status, von denen jeder einen anderen Betriebsstatus für den Sensor **12** angibt. Diese Status sind: GOOD, TESTING, SUSPECT, IMPAIRED, BAD oder CRITICAL. Ein Gerätestatus **32** GOOD bedeutet, dass der Sensor **12** sich im Sollzustand befindet. Ein Gerätestatus **32** TESTING bedeutet, dass der Sensor **12** einen Selbsttest durchführt, und dass dieser Selbsttest für

jede vorübergehende Abnahme der Messungsqualität verantwortlich sein kann. Ein Gerätestatus **32 SUSPECT** bedeutet, dass der Sensor **12** eine anormale Reaktion erzeugt hat, der Sender **24** aber keine detaillierte Fehlfunktionsdiagnose hat. Ein Gerätestatus **32 IMPAIRED** bedeutet, dass der Sensor **12** von einer diagnostizierten Fehlfunktion beeinträchtigt wird, die eine geringfügige Auswirkung auf die Leistung hat. Ein Gerätestatus **32 BAD** bedeutet, dass der Sensor **12** eine schwerwiegende Fehlfunktion aufweist und Wartung erforderlich ist. Ein Gerätestatus **32 CRITICAL** bedeutet schließlich, dass der Sensor **12** eine Fehlfunktion bis zu dem Ausmaß aufweist, dass der Sensor **12** eine Gefahrensituation verursachen kann (oder verursacht hat), wie beispielsweise ein Leck, Feuer oder eine Explosion.

[0076] [Fig. 5](#) veranschaulicht ein Beispiel der Beziehung zwischen VMV **26**, VU **28**, MV-Status **30** und RMV **36**. Unter einem anderen Gesichtspunkt veranschaulicht [Fig. 5](#) ein bevorzugtes Verfahren zum Anzeigen der Beziehung zwischen VMV **26** und VU **28**, während sich beide in normalem Betrieb befinden, und wenn eine Fehlfunktion aufgetreten ist: VU **28** wird als ein getrenntes Signal und als eine Hüllkurve gezeigt, die VMV **26** umgibt (Linie **38** gibt die Summe von VMV **26** und VU **28** an, und Linie **40** gibt die Differenz zwischen VMV **26** und VU **28** an). Wenn VU **28** als eine Hüllkurve ausgedrückt wird, die VMV **26** umgibt, kann ein Benutzer durch Prüfen der Hüllkurve visuell den Bereich von wahrscheinlichen Werten des Parameters bestimmen, die von VMV **26** für jeden beliebigen angezeigten Zeitpunkt dargestellt werden.

[0077] In dem Bereich zwischen dem Zeitpunkt T1 und dem Zeitpunkt T2 ist RMV **36** ein periodisches Signal, dessen Amplitude in einen erwarteten Bereich fällt. In diesem Bereich ist VMV **26** gleich RMV **36**, der MV-Status **30** ist CLEAR, und VU **28** bleibt auf einem konstanten "normalen" Pegel, der RU **62** entspricht, der Unsicherheit unter normalen Betriebsbedingungen (wobei Linie **42** einen Nullwert für VU **28** darstellt). Für dieses Beispiel wird angenommen, dass RU **62** einen konstanten Wert aufweist.

[0078] Zum Zeitpunkt T2 beginnt RMV **36**, sich mit einer Geschwindigkeit zu erhöhen, die eine erwartete Änderungsgeschwindigkeit für RMV **36** wesentlich überschreitet. Der Sender **24** ergreift eine Reihe von Maßnahmen in Reaktion auf dieses unerklärte Phänomen. Zuerst ändert der Sender **24** den MV-Status **30** in DAZZLED. Als Nächstes hält der Sender **24**, der VMV **26** und VU **28** auf kurzzeitig früheren Leistungswerten in diesem Beispiel basiert, VMV **26** auf dem Wert, den VMV **26** genau vor dem plötzlichen Anstieg in RMV **36** zum Zeitpunkt T2 besaß. Schließlich beginnt der Sender **24**, VU **28** mit einer konstanten Geschwindigkeit zu erhöhen, die der maximalen Anstiegsgeschwindigkeit von VMV **26** im normalen Betrieb entspricht. Der im Zeitablauf progressive Anstieg in dem Wert von VU **28** spiegelt die zunehmende Unsicherheit des Werts der Messung bei fehlenden aktuellen gültigen Wandlerdaten wider, was dadurch verursacht wird, dass der Sensor **12** DAZZLED ist.

[0079] RMV **36** erhöht sich weiterhin bis zum Zeitpunkt T3. Zum Zeitpunkt T3 stoppt RMV **36** den Anstieg und bleibt auf einem konstanten Pegel. Weil der Wert von RMV **36** jetzt erwartete Werte überschreitet, ändert der Sender **24** VMV **26** oder den MV-Status **30** nicht und fährt fort, VU **28** mit einer konstanten Geschwindigkeit zu erhöhen. Zum Zeitpunkt T4 beginnt RMV **36** abzunehmen. Weil der Wert von RMV **36** erwartete Werte immer noch überschreitet, nimmt der Sender **24** keine Änderungen an VMV **26** oder dem MV-Status **30** vor und fährt fort, VU **28** mit einer konstanten Geschwindigkeit zu erhöhen.

[0080] Zum Zeitpunkt T5 beginnt RMV **36**, wie erwartet zu arbeiten. In Reaktion darauf ändert der Sender **24** den MV-Status **30** auf BLURRED und beginnt, VMV **26** mit RMV **36** zusammenzulegen, indem beispielsweise die folgende Gleichung verwendet wird:

$$VMV_{n+1} = 0,95 \cdot VMV + 0,05 \cdot RMV_{n+1}$$

wobei VMV_{n+1} der Wert von VMV **26** für die aktuelle Abtastung ist, VMV der Wert von VMV **26** ist, der in der vorherigen Abtastung generiert wurde, und RMV_{n+1} der Wert von RMV **36** für die aktuelle Abtastung ist. Als Nächstes initialisiert der Sender **24** einen Wiederherstellungs-Zeitüberschreitungs-Zeitraum. Schließlich beginnt der Sender **24**, VU **28** zu verringern, indem VU **28** mit RU **62** zusammengelegt wird, indem beispielsweise die folgende Gleichung verwendet wird:

$$VU_{n+1}^2 = 0,95^2 \cdot VU_n^2 + 0,05^2 \cdot RU_{n+1}^2$$

wobei VU_{n+1} der Wert von VU **28** für die aktuelle Abtastung ist, VU_n der Wert von VU **28** ist, der in der vorherigen Abtastung generiert wurde, und RU_{n+1} der Wert von RU **36** für die aktuelle Abtastung ist.

[0081] Zum Zeitpunkt T6 bestimmt der Sender **24**, dass der Wiederherstellungs-Zeitüberschreitungs-Zeit-

raum abgelaufen ist und ändert den MV-Status **30** in CLEAR. Weil der Sender **24** jetzt Sollkonfidenz in RMV **36** hat, setzt der Sender **24** VU **28** gleich mit RU **62**.

[0082] Wenn RMV **36** zum Zeitpunkt T5 nicht auf erwartete Pegel zurückgekehrt wäre, hätte der Sensor **12** entweder den MV-Status **30** als DAZZLED gehalten oder eine Sensorfehlfunktion diagnostiziert und den MV-Status **30** in BLIND geändert. Der MV-Status **30** kann nur für einen begrenzten "Zeitüberschreitungs"-Zeitraum DAZZLED sein. Wenn daher RMV **36** auf unerwarteten Pegeln geblieben wäre, würde der Zeitüberschreitungs-Zeitraum schließlich ablaufen, und der Sender würde den MV-Status **30** in BLIND ändern.

[0083] Wie in [Fig. 3](#) gezeigt, verwendet der Sender **24** mehrere Informationsquellen, von denen jede im Folgenden erläutert wird, beim Generieren von VMV **26**, VU **28**, MV-Status **30**, Gerätestatus **32**, Diagnoseinformation **34** und Alarmdaten **35**. Unbearbeitete Daten **44**, die grundlegenden Messinformationen, die dem Sender **24** zur Verfügung stehen, sind typischerweise ein elektrisches Bild des Ausgangs von einem oder mehreren Wandlern **22** (z.B. die Schwingfrequenz oder der Widerstand eines Wandlers **22**). Die unbearbeiteten Daten **44** enthalten das Maximum an verfügbaren Informationen über das Ansprechverhalten des Wandlers **22** und sind daher eine ergiebige Informationsquelle für statistische Prüfungen zum Erfassen von Sensorfehlfunktionen. Allerdings lässt sich die Kenntnis von erwartetem Prozessverhalten nicht einfach auf die unbearbeiteten Daten **44** anwenden und wird zweckmäßiger auf Statistiken auf Basis von RMV **36** angewendet.

[0084] Da sich RMV **36** direkt auf einen Prozessparameter bezieht, (z.B. Temperatur oder Mengendurchfluss), kann der Sender **24** das erwartete (fehlerfreie) Verhalten von RMV **36** mit dem erwarteten Verhalten des mit RMV **36** verbundenen Prozessparameters in Verbindung bringen. Der Sender **24** leitet RMV **36** von unbearbeiteten Daten **44** durch herkömmliche Verarbeitung ab. Wenn unbearbeitete Daten **44** beispielsweise dem Widerstand eines Wandlers **22** entsprechen, und RMV **36** Temperatur entspricht, leitet der Sender **24** RMV **36** basierend auf den unbearbeiteten Daten **44** unter dem Aspekt bekannter Auswirkungen von Temperatur auf den Widerstand des Wandlers **22** ab. Oft filtert der Sender **24** RMV **36**, um den Effekt von Sensorrauschen und Hochfrequenzprozessstörgrößen zu reduzieren. Wenn eine Filterung durchgeführt wird, enthält RMV **36** weniger Informationen als unbearbeitete Daten **44**.

[0085] Bis zu einem gewissen Ausmaß sind die unbearbeiteten Daten **44** und RMV **36** einander ergänzende Informationsquellen. Während unbearbeitete Daten **44** mehr Informationsinhalt als RMV **36** aufweisen, lässt sich RMV **36** leichter mit erwartetem Prozessverhalten vergleichen. Daher bieten die unbearbeiteten Daten **44** und RMV **36** jeweils nützliche Informationen für den Sender **24**.

[0086] Hilfsdaten **46** werden durch Hilfssignale im Sensor **12** bereitgestellt. Hilfssignale, obwohl sie nicht direkt mit den unbearbeiteten Daten **44** oder RMV **36** in Beziehung stehen, liefern nützliche Informationen über den einwandfreien Zustand oder die Leistung des Sensors **12**. Beispielsweise können statistische Prüfungen zum Identifizieren eines charakteristischen Sensor- oder Prozessverhaltens mit bestimmten Hilfssignalen verknüpft werden. Beispiele für Hilfssignale umfassen die elektrischen Eigenschaften von Komponenten im Sensor **12** (z.B. Signalpegel an den Eingangs- oder Ausgangsstufen von Leistungsverstärkern) und Hardware-Fehlerinformationen **50**. Die Hardware-Fehlerinformationen **50** sind eine besondere, vorverarbeitete Form von Hilfsinformationen, die durch digitale Komponenten im Sensor **12** generiert werden, wobei sie wenig oder gar keine Verarbeitung oder Interpretation benötigen. Ein Speicher-Prüfsummenfehler in einer Speicherkomponente des Senders **24** würde beispielsweise Hardware-Fehlerinformationen **50** darstellen.

[0087] Zusätzlich zu Informationen aus dem Sensor **12** oder aus dem Prozess **14** verwendet der Sender **24** Informationen aus dem Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** beim Generieren von Ausgangssignalen. Das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** ist als das "Next Level Up" ("NLU") bekannt, und Informationen aus dem Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** sind als NLU-Informationen **48** bekannt. Eine Schwierigkeit, die damit zusammenhängt, dass der Sender **24** den Ausgang des Sensors **12** validiert, besteht darin, dass der Sender **24** unzureichende Informationen haben kann, um zu einem gültigen Schluss zu kommen. Der Sender **24** kann beispielsweise unfähig sein, zwischen gewissen Arten von Sensorfehlfunktionen, (z.B. Driftfehler, die verursachen, dass sich der Ausgang des Sensors mit der Zeit für einen vorgegebenen Eingang ändert), und berechtigten Prozessänderungen zu unterscheiden. In diesen Situationen kann der Sender **24** zur Abklärung auf NLU-Informationen **48** Bezug nehmen. Das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16**, das auf zusätzliche Informationen Zugriff hat, einschließlich Daten von anderen Sensoren **12**, stellt für den Sender **24** die Informationen bereit, die zum Unterscheiden zwischen Prozessänderungen und Sensordrift erforderlich sind.

[0088] Der Sender **24** kann NLU-Informationen **48**, wie beispielsweise voraussichtliche Prozessgrenzwerte, über Standardabfragen an das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** anfordern. Alternativ kann das Da-

tensteuer- und -verwaltungssystem **16** für den Sender **24** nicht angeforderte Informationen bereitstellen, wie beispielsweise Angaben von Änderungen im Prozessverhalten, welche die Prozessparameter ändern, die durch die Wandler **22** gemessen werden. Wenn beispielsweise der Prozess **14** in einer Reihe von Phasen arbeitet, die jeweils unterschiedliche Merkmale aufweisen, kann das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** den Sender **24** informieren, wenn sich die Phase des Prozesses **14** ändert.

[0089] Die Informationen **52** der Anwendungswissensbasis gestatten es dem Sender **24**, einen "Verschleiß"-Effekt bei der Sensorleistung abzuschätzen. Die Informationen **52** der Anwendungswissensbasis beschreiben die Beziehung zwischen Signalen und Sensormerkmalen im Zeitablauf. Bei einigen Anwendungen ist bekannt, dass Sensoren unter gewissen Bedingungen rascher einem Qualitätsverlust unterliegen (z.B. bei Extremwerten ihres Betriebsbereichs). Wenn beispielsweise ein pH-Messfühler für den Normalbereich auch nur eine Stunde einem pH-Wert von mehr als etwa 12 ausgesetzt wird, kann der Messfühler alkalisch konditioniert werden und ein Ansprechen nicht mehr möglich sein, wenn die Lösung saurer wird. Die Informationen **52** der Anwendungswissensbasis umfassen auch Faktoren wie beispielsweise die Zeit, die seit der letzten Kalibrierung oder der letzten Wartung des Sensors **12** verstrichen ist.

[0090] Die Sensor/Prozess-Stimulusinformationen **54** stellen Informationen über einen bekannten Stimulus bereit, der auf den Prozess oder einen Teil eines Sensors angewendet wird. Die Sensor/Prozess-Stimulusinformationen **54** werden beim Implementieren von Prozeduren zum Prüfen des Sensors **12** verwendet. Ein bekannter Stimulus wird auf den Prozess **14** oder Sensor **12** angewendet, und die durch den Sensor **12** generierte Reaktion wird mit einer erwarteten Reaktion verglichen. Beispielsweise könnten die Sensor/Prozess-Stimulusinformationen **54** eine bekannte Kraft beschreiben, die in einen Druckwandler eingeführt wird. Die Sensor/Prozess-Stimulusinformationen **54** werden durch den Sender **24** generiert, (d.h. als Teil eines durch den Sender **24** initiierten Selbsttests), oder durch das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** als NLU-Informationen **48** gesendet. Wenn das Prüfen die Messfähigkeit des Sensors **12** unterdrückt, setzt der Sender **24** den MV-Status **30** jeder unterdrückten Messung auf DAZZLED, basiert VMV **26** und VU **28** auf früherer Leistung und setzt den Gerätestatus **32** auf TESTING.

[0091] [Fig. 3](#) zeigt des Weiteren die Funktionseinheiten des Senders **24**. Eine Diagnosestatusmaschine **56** verarbeitet alle Informationen, die für den Sender **24** verfügbar sind, und bestimmt den Diagnosestatus **58** des Sensors **12**. Der Diagnosestatus **58** ist das Kernstück der Informationen, die von der Diagnosestatusmaschine **58** beim Ableiten von VMV **26**, VU **28**, MV-Status **30** und Gerätestatus **32** verwendet werden. Da der Diagnosestatus **58** selbst für Benutzer, die Wartungsarbeiten am Sensor **12** durchführen, hilfreich sein kann, ist er die Basis der Diagnoseinformationen **34**, die auf Anforderung durch das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** ausgegeben werden.

[0092] Unter weiterer Bezugnahme auf [Fig. 6](#) führt der Sender **24** die folgenden Vorgänge während jedes Abtastzeitraums durch. Nach dem Abrufen von unbearbeiteten Daten **44** vom Wandler **22** (Schritt **72**) propagiert die Diagnosestatusmaschine **56** die unbearbeiteten Daten **44** über eine Reihe von Geräte-Gleichungen **60** zum Generieren von RMV **36** (Schritt **74**). Zur gleichen Zeit berechnet der Sender **24** dynamisch RU **62** unter Verwendung einer Unsicherheitsanalyse **64**, die auf Geräte-Gleichungen **60** und Kalibrierungsdaten **66** in Übereinstimmung mit den oben erläuterten bekannten Standards basiert (Schritt **74**). Beim Berechnen von RU **62** geht der Sender **24** davon aus, dass keine Fehlfunktion aufgetreten ist. RU **62** weist unter allen Betriebsbedingungen einen Nicht-Null-Wert auf. Im Allgemeinen erhöht sich RU **62** unter anderen als idealen Bedingungen.

[0093] Als Nächstes erhält die Diagnosestatusmaschine **56** weitere Informationen (Schritt **76**) und, basierend auf den weiteren Informationen, unbearbeiteten Daten **44**, RMV **36** und RU **62**, berechnet Statistiken oder führt Musterabgleiche aus, um zu bestimmen, ob der Sensor **12** richtig arbeitet (Schritt **78**). Basierend auf den Ergebnissen von Schritt **78** aktualisiert die Diagnosestatusmaschine **56** den Diagnosestatus **58** (Schritt **80**).

[0094] Als Nächstes modifiziert (68) die Diagnosestatusmaschine **56** RMV **36** auf Basis des Diagnosestatus **58**, um VMV **26** zu erzeugen.

[0095] Im Wesentlichen berechnet die Diagnosestatusmaschine **56** RMV **36** neu, nachdem die Parameter modifiziert worden sind, die bei der Berechnung verwendet wurden, um den Diagnosestatus **58** zu berücksichtigen, und setzt VMV **26** gleich mit dem neuen RMV **36** (Schritt **82**). Daher entspricht VMV **26** unter normalen Betriebsbedingungen, (wenn der Diagnosestatus **58** keine Modifizierung irgendwelcher Parameter erfordert), typischerweise RMV **36**.

[0096] Gleichzeitig modifiziert (70) die Diagnosestatusmaschine **56** RU **62** basierend auf dem Diagnosestatus **58**, um VU **28** zu erzeugen. Wie bei VMV **26** berechnet die Diagnosestatusmaschine **56** RU **62** neu, nachdem die Parameter modifiziert worden sind, die bei der Berechnung verwendet wurden, um den Diagnosestatus **58** zu berücksichtigen, und setzt VU **28** gleich mit dem neuen RU **62** (Schritt **82**). Daher entspricht VU **28** unter normalen Betriebsbedingungen typischerweise RU **62**. Unter anderen Bedingungen überschreitet VU **28** typischerweise RU **62**.

[0097] Als Nächstes wählt die Diagnosestatusmaschine **56** den MV-Status **30** (Schritt **84**) und den Gerätestatus **32** (Schritt **86**) basierend auf dem Diagnosestatus **58** und entweder über Berechnungen oder eine Verweistabelle. Sofern erforderlich, sendet die Diagnosestatusmaschine **56** Alarmdaten **35**, indem Alarm-Flags aktualisiert werden (Schritt **88**). Wenn das Datensteuer- und -verwaltungssystem **16** dies angefordert hat, generiert die Diagnosestatusmaschine **56** des Weiteren Diagnoseinformationen **34**, die auf dem Diagnosestatus **58** basieren (Schritt **90**).

[0098] Unter Bezugnahme auf [Fig. 7](#) umfasst ein selbstprüfender Temperatursensor **100** ein Thermoelement **102** und einen Sender **104**, der einen Prozessor **106** aufweist. Typischerweise umfasst das Thermoelement **102** zwei verschiedene, in Kontakt befindliche Metalle und erzeugt eine Spannung V_{Diff} zwischen zwei Anschlüssen **108** und **110**. V_{Diff} ist proportional zu der Differenz zwischen der Temperatur einer Abtaststelle (sensing junction) **112** und einer Vergleichsstelle (reference junction) **114**. Die Summe von V_{Diff} und V_{Comp} , einer Spannung, die zu der Differenz zwischen der Temperatur der Vergleichsstelle **114** und Null Grad proportional ist, entspricht V_{Temp} , einer Spannung, die zu der Differenz zwischen der Temperatur der Abtaststelle **112** und Null Grad proportional ist. Zum Bestimmen von V_{Temp} wird V_{Diff} durch den Verstärker **116** verstärkt, und V_{Comp} wird durch den Temperatursensor **118** generiert und durch den Verstärker **120** verstärkt.

[0099] Der Ausgang **117** des Verstärkers **116** und der Ausgang **121** des Verstärkers **120** werden dann einem Analog-Digital-Wandler ("ADC") **122** im Prozessor **106** zugeführt. Der Prozessor **106** verwendet die Verstärkerausgänge **117**, **121** und andere verfügbare Informationen zum Generieren von Diagnosestatus **58**, RMV **36** und RU **62**. Basierend auf diesen Signalen generiert der Prozessor **106** VMV **26**, VU **28**, den MV-Status **30**, den Gerätestatus **32**, Alarmdaten **35** und, sofern angefordert, Diagnoseinformationen **34**.

[0100] Unter Bezugnahme auf [Fig. 8](#) spricht ein selbstprüfender Temperatursensor **100** auf einen Leistungsverlust zu den Verstärkern **116**, **120** an, wie im Folgenden beschrieben. Während des normalen Betriebs (Zeitpunkt **0** bis **15**) ist VMV **26** gleich RMV **36**, das der Prozessor **106** basierend auf der Summe der Ausgänge **117**, **121** generiert. VU **28** ist in ähnlicher Weise gleich RU **62** und gibt die Unsicherheit von VMV **26** an. Der MV-Status **30** ist CLEAR.

[0101] Zum Zeitpunkt **15** stellt die Energieversorgung **132** ihre Funktion ein, und V_{Diff} und V_{Comp} (Ausgänge **117**, **121**) gehen beide auf Null Volt, was (für eine bestimmte Senderauslegung) zu einem RMV **36** von ungefähr minus 55°C führt. Der Prozessor **106** erfasst den Leistungsverlust, wenn die Leistungsüberwachungsvorrichtung **134**, ein digitales Hilfssignal, in Reaktion auf den Leistungsverlust von Eins auf Null umschaltet. Der Prozessor **106** setzt dann den Diagnosestatus **58**, um anzugeben, dass der Prozessor **106** Nullkonfidenz in RMV **36** hat. Demzufolge setzt der Prozessor **106** VMV **26** und VU **28** auf eine Kombination der jeweils langfristig und kurzzeitig früheren Werte für VMV **26** und VU **28**, wie oben beschrieben. Schließlich signalisiert der Prozessor **106** den Schweregrad und die erwartete Langzeitdauer der Sensorfehlfunktion, indem der MV-Status **30** auf BLIND gesetzt wird.

[0102] Wenn die Energieversorgung zum Zeitpunkt **36** wiederhergestellt wird, erfasst der Prozessor **106** die Änderung in der Leistungsüberwachungsvorrichtung **134** von Null auf Eins und setzt den MV-Status **30** auf BLURRED. Die "live" Daten von RVM **36** werden mit dem vorherigen Wert von VMV **26** zusammengelegt, wie oben beschreiben, um einen neuen Wert für VMV **26** zu ergeben. In ähnlicher Weise wird RU **62** mit dem vorherigen Wert von VU **28** zusammengelegt, um einen abnehmenden Wert für VU **28** zu ergeben. Zu diesem Zeitpunkt initialisiert der Prozessor **106** auch einen Wiederherstellungs-Zeitgeber.

[0103] Der Prozessor **106** generiert VMV **26** und VU **28**, indem frühere Werte von VMV **26** und VU **28** jeweils mit RMV **36** und RU **62** zusammengelegt werden, bis der Wiederherstellungs-Zeitgeber zum Zeitpunkt **56** abläuft. (In diesem Beispiel wurde der Wiederherstellungs-Zeitgeber auf 20 Sekunden eingestellt.) Zu diesem Zeitpunkt setzt der Prozessor **106** den MV-Status auf CLEAR, setzt VMV **26** gleich mit RMV **36**, und setzt VU **28** gleich mit RU **62**.

[0104] Unter folgender Bezugnahme auf [Fig. 9](#) tritt zum Zeitpunkt **13** eine Leerlauf-Fehlfunktion (open circuit

fault) auf, wenn das Thermoelement **102** vom Sender **104** gelöst wird. Wenn eine solche Fehlfunktion vorliegt, liegt RMV **36** um 130°C, was einem normalen Wert für den Ausgang **121** entspricht, wegen der Sättigung des Verstärkers **116** aber ein anormal hoher Wert für den Ausgang **117** ist. (Der Endwiderstand **136** verursacht die Sättigung des Verstärkers **116** bei Vorliegen einer Leerlauf-Fehlfunktion.) In Reaktion auf den anormal hohen Wert des Ausgangs **117** setzt der Prozessor **106** den Diagnosestatus **58**, um Nullkonfidenz in RMV **36** anzugeben, und setzt den MV-Status **30** auf DAZZLED. Dann generiert der Prozessor **106** VMV **26** und VU **28** basierend auf einer Kombination von langfristig und kurzzeitig früheren Werten, wie oben beschrieben.

[0105] Unter erneuter Bezugnahme auf [Fig. 7](#) verbindet der Prozessor **106** als Nächstes das Thermoelement **102** mit der Spannungsquelle **124** über den Schalter **126** und überwacht die erzeugte Spannung **130** über einen Widerstand **128**. Wegen des Leerlaufs fließt kein Strom im Widerstand **128** und die Spannung **130** beträgt Null Volt. Davon ausgehend bestätigt der Prozessor **106** die Leerlauf-Fehlfunktion und setzt den MV-Status **30** auf BLIND.

[0106] Zum Zeitpunkt **27** wird die Leerlauf-Fehlfunktion korrigiert, und der Ausgang **117** kehrt zu einem normalen Wert zurück. Der Prozessor **106** reagiert, indem der Diagnosestatus **58** gesetzt wird, um eingeschränkte Konfidenz (statt keiner Konfidenz) in RMV **36** anzugeben, der MV-Status **30** auf BLURRED gesetzt und ein Wiederherstellungs-Zeitgeber initialisiert wird.

[0107] Danach generiert der Prozessor **106** VMV **26** und VU **28**, indem frühere Werte von VMV **26** und VU **28** mit jeweils RMV **36** und RU **62** zusammengelegt werden, bis der Wiederherstellungs-Zeitgeber zum Zeitpunkt **47** abläuft, (wobei der Wiederherstellungs-Zeitgeber auf 20 Sekunden eingestellt wurde). Zu diesem Zeitpunkt setzt der Prozessor **106** den MV-Status auf CLEAR, setzt VMV **26** gleich mit RMV **36** und setzt VU **28** gleich mit RU **62**.

[0108] Unter Bezugnahme auf [Fig. 7](#) tritt eine Kontaktverlustfehlfunktion auf, wenn die Abtaststelle **122** den Kontakt mit dem Prozesselement verliert, dessen Temperatur gemessen wird. Weil eine Kontaktverlustfehlfunktion keine anormale Änderung in RMV **36** erzeugt, kann der Sensor **100** die Fehlfunktion nicht leicht erfassen.

[0109] Demzufolge verwendet der Sensor **100** Strominjektionsprüfungen, um Kontaktverlustfehlfunktionen zu erfassen. Bei einer Strominjektionsprüfung verbindet der Sensor **100** das Thermoelement **102** für eine vorgegebene Zeitdauer mit der Spannungsquelle **124** und misst die Auswirkung auf den Ausgang **117**. (Der Wert des Ausgangs **117** vor dem Verbinden des Thermoelements **102** mit der Spannungsquelle wird mit dem Wert nach dem Lösen verglichen.)

[0110] Unter Bezugnahme auf [Fig. 10](#) tritt eine Kontaktverlustfehlfunktion zum Zeitpunkt **12** auf, und die gemessene Temperatur fällt um ungefähr sieben Grad. Weil dies innerhalb normaler Betriebsparameter liegt, erkennt der Sensor **100** die Fehlfunktion nicht sofort und korrigiert stattdessen VMV **26** und behält den MV-Status **30** als CLEAR bei.

[0111] Zum Zeitpunkt **28** beginnt der Prozessor **106** eine Strominjektionsprüfung. Weil der Verstärker **116** während der Prüfung keine "live" Daten liest, setzt der Prozessor **106** den MV-Status **30** auf DAZZLED und generiert VMV **26** und VU **28** basierend auf früherer Leistung, wie oben erläutert. Zum Zeitpunkt **33** bestimmt der Prozessor **106**, dass die Fehlfunktion aufgetreten ist und setzt den MC-Status **30** auf BLURRED. (Der Prozessor **106** geht davon aus, dass, obwohl der Kontakt verloren gegangen ist, die vom Thermoelement **102** abgetastete Temperatur immer noch in etwa der tatsächlichen Temperatur entspricht.)

[0112] Zum Zeitpunkt **56** wird der Kontakt wieder hergestellt. Der Prozessor **106** interpretiert die plötzliche Änderung im Ausgang **117** jedoch als eine Spitze und setzt den MV-Status **30** vorübergehend auf DAZZLED. Wenn der Ausgang **117** auf dem erhöhten Wert bleibt, setzt der Prozessor **106** den MV-Status **30** wieder auf BLURRED zurück. (Der Prozessor **106** setzt den MV-Status **30** nicht auf CLEAR, weil der Prozessor **106** die Behebung der Fehlfunktionsbedingung nicht erfasst hat.)

[0113] Zum Zeitpunkt **66** beginnt der Prozessor **106** mit einer weiteren Strominjektionsprüfung und setzt den MV-Status **30** auf DAZZLED. Zum Zeitpunkt **72** bestimmt der Prozessor **106**, dass der Kontakt wieder hergestellt worden ist, und setzt in Reaktion den MV-Status auf BLURRED und initialisiert einen Wiederherstellungs-Zeitgeber. Zum Zeitpunkt **97** läuft der Wiederherstellungs-Zeitgeber, (der auf 25 Sekunden eingestellt war), ab, und der Prozessor **106** setzt den MV-Status auf CLEAR.

[0114] Unter Bezugnahme auf [Fig. 11](#) ist ein weiteres Beispiel eines selbstprüfenden Sensors gemäß der Erfindung ein Coriolis- Durchflussmessgerät **150**. Das Durchflussmessgerät **150** misst drei Prozessparameter: Mengendurchfluss, Dichte und Temperatur. Der Mengendurchfluss wird direkt unter Verwendung des Prinzips der Coriolis-Beschleunigung gemessen, ohne dabei auf externen Druck, Temperatur oder spezifische Schwerkraftmessungen angewiesen zu sein.

[0115] Strukturell besteht das Durchflussmessgerät **150** aus einem Strömungsrohr **152**, das durch Kabel **156** an einen Sender **154** angeschlossen ist. Das Strömungsrohr **152** weist einen Körper **158** auf, an den ein Eingangsrohr **160** und ein Ausgangsrohr **162** angeschlossen sind. Zwei parallele Rohrschleifen **164**, **166** erstrecken sich vom Körper **158** aus. Der Körper **158** enthält Durchführungen, die ein Prozessfluid vom Eingangsrohr **160** zum Anfang der Schleife **164**, vom Ende der Schleife **164** zum Anfang der Schleife **166** und vom Ende der Schleife **166** zum Ausgangsrohr **162** führen (die durchbrochenen Pfeile in [Fig. 11](#) zeigen die Fließrichtung in den Schleifen **164**, **166**).

[0116] Der Sender **154** verursacht, dass die Schleifen **164**, **166** sich drehend um ihre Symmetrieachsen Y'-Z' und Y-Z schwingen, indem gegenphasig verlaufende sinusförmige Signale zu elektromagnetischen Treibern **168**, **170** zugeführt werden. Der Sender **154** verwendet eine Rückkopplung, um die Signale zu den Treibern **168**, **170** auf der Resonanzfrequenz der Schleifen **164**, **166** zu halten. Dann erfasst der Sender **154** die Bewegung der Schleifen **164**, **166** über die Sensoren **172**, **174**, die jeweils eine Spannung erzeugen, die proportional zu der momentanen Geschwindigkeit zwischen den Schleifen **164**, **166** ist. Der Sender **154** korrigiert die Amplitude der Signale zu den Treibern **168**, **170**, um die durchschnittliche Amplitude der von den Sensoren **172**, **174** erzeugten Spannungen auf einem konstanten Pegel zu halten.

[0117] Der Sender **154** misst Mengendurchfluss, Dichte und Temperatur auf die folgende Weise. Zuerst misst der Sender **154** den Mengendurchfluss des Prozessfluids durch Überwachen der Auswirkung von Coriolis-Kräften auf die Schleifen **164**, **166**. Die auf die Abschnitte G'-H' und G-H der schwingenden Schleifen **164**, **166** wirkenden Coriolis-Kräfte verursachen Ablenkungen der Schleifen **164**, **166**. Diese Ablenkungen führen zu einer Phasenwinkeldifferenz zwischen den durch die Sensoren **172**, **174** erzeugten Spannungen, die zu dem Mengendurchfluss proportional ist. Als Nächstes bestimmt der Sender **154** die Dichte des Prozessfluids aus der Schwingfrequenz der Schleifen **164**, **166**, (die gleich der Frequenz der Signale ist, die den Treibern **168**, **170** zugeführt werden). Die Dichte des Prozessfluids ist umgekehrt proportional zum Quadrat der Treiberfrequenz. Schließlich misst der Sender **154** die Temperatur des Prozessfluids über einen Temperatursensor **176**, der sich im Körper **158** befindet. Typischerweise ist der Temperatursensor **176** eine RTD-Vorrichtung mit einem Widerstand, der temperaturabhängig ist.

[0118] Im Zusammenhang mit dem Durchflussmessgerät **150** sind die verfügbaren unbearbeiteten Daten die Frequenz **44c** eines Signals, das aus dem Temperatursensor **176** kommt, (die Frequenz ist proportional zum Widerstand des Temperatursensors **176**), die Frequenz **44b** der an die Treiber **168**, **170** angelegten Treibersignale und die Spannungsausgänge **44c** der Sensoren **172**, **174**. Aus diesen Signalen leitet der Sender **154** drei RMVs ab: die Temperatur des Prozessfluids **36a**, die Dichte des Prozessfluids **36b** und den Mengendurchfluss **36c** (abgeleitet von dem Phasenwinkel zwischen den Sensorsignalen). Außerdem führt der Sender **154** Unsicherheitsanalysen durch, um drei RUs (**62a**, **62b**, **62c**) zu erzeugen, wobei jedes die Unsicherheit eines entsprechenden RMV **36** angibt.

[0119] Nach dem Generieren der RMVs **36a-c** und der RUs **62a-c** bestimmt der Sender **154** den Diagnosestatus **58** des Durchflussmessgeräts **150**. Diese Bestimmung basiert auf den unbearbeiteten Daten **44a-c**, den RMVs **36a-c**, den RUs **62a-c** und den Hilfsdaten **46**. Basierend auf dem Diagnosestatus **58** korrigiert der Sender **154** die Parameter, die beim Berechnen der RMVs **36a-c** und RUs **62a-c** verwendet wurden, und berechnet diese Werte neu. Der Sender **154** gibt die neu berechneten RMVs **36a-c** und RUs **62a-c** dann als VMVs **26a-c** und VUs **28a-c** aus. Der Sender **154** gibt auch einen MV-Status **30a** aus, welcher der Temperatur entspricht, einen MV-Status **30b**, welcher der Dichte entspricht, und einen MV-Status **30c**, welcher dem Mengendurchfluss entspricht. Schließlich gibt der Sender **154** einen einzelnen Gerätestatus **32** aus, der dem Status des Durchflussmessgeräts **150** entspricht.

[0120] Unter erneuter Bezugnahme auf [Fig. 6](#) kann die Prozedur, die vom Sender **154** während jedes Abtastzeitraums durchgeführt wird, in Software implementiert werden.

[0121] Der in [Fig. 12](#) gezeigte Pseudocode stellt eine vereinfachte Ansicht der Prozedur bereit, die vom Sender **154** während jedes Abtastzeitraums durchgeführt wird. [Fig. 12](#) zeigt des Weiteren in Klammern die in [Fig. 6](#) durchgeführten Schritte, die den Schritten in [Fig. 12](#) entsprechen. Zuerst ruft der Sender **154** die unbe-

arbeiteten Daten **44a–c** vom Strömungsrohr **152** ab (Schritt **200**). Dann berechnet der Sender **154** die RMVs **36a–c** und RUs **62a–c** (Schritte **202–206**). Der Pseudocode zum Berechnen von RMV **36a** und RU **62a** ist in [Fig. 13](#) gezeigt und wird im Folgenden erläutert. Als Nächstes prüft der Sender **154** alle verfügbaren Informationen (Schritt **208**) und bestimmt den Diagnosestatus **58**, die MV-Status **30a–c** und den Gerätestatus **32** (Schritt **210**). Ein Teil des Pseudocodes zum Bestimmen des Diagnosestatus **58** und der MV-Status **30a–c** ist in [Fig. 14](#) gezeigt und wird im Folgenden erläutert. Basierend auf dem Diagnosestatus **58** korrigiert der Sender **154** die Parameter, die zum Berechnen von RMV **36a–c** und RU **62a–c** verwendet wurden (Schritt **212**). Der Sender **154** berechnet dann die VMVs **26a–c** und VUs **28a–c** (Schritte **214–218**) unter Verwendung der Prozedur, mit der die RMVs **36a–c** und RUs **62a–c** berechnet worden sind, und der korrigierten Parameter.

[0122] Unter Bezugnahme auf [Fig. 13](#) berechnet der Sender **154** RMV **36a** und RU **62a** wie folgt. Zuerst berechnet der Sender **154** den Widerstand "R" des Temperatursensors **176** (Schritt **250**). Dann berechnet der Sender **154** die Unsicherheit "d R" von R basierend auf einer Unsicherheitsanalyse der Gleichung, die zum Berechnen von R verwendet wurde (Schritt **252**). Als Nächstes berechnet der Sender **154** die "Temperatur" (Schritt **254**) und setzt RMV **36a** gleich mit der Temperatur. Schließlich berechnet der Sender **154** die Unsicherheit "d temperature" der Temperatur (Schritt **256**) und setzt RU **62a** gleich mit d temperature. Daher entsprechen RMV **36a** und RU **62a** als ein erster Arbeitsgang der gemessenen Temperatur und ihrer entsprechenden Unsicherheit. Wenn der Sender **154** anschließend bestimmt, dass er weniger als Sollkonfidenz in RMV **36a** und RU **62a** hat, modifiziert der Sender **154** beliebige der Parameter, Unsicherheiten und/oder unbearbeiteten Daten, (z.B. RK1, d_RK1, f_RTD), die zum Berechnen von Temperatur und d temperature verwendet wurden, um die Auswirkung einer erwarteten Fehlfunktion widerzuspiegeln. Der Sender **154** führt dann die in [Fig. 13](#) dargestellte Prozedur unter Verwendung der modifizierten Informationen erneut durch und setzt VMV **26a** und VU **28a** gleich mit den neuen Werten für Temperatur und d temperature. Wenn der Sender **154** alternativ bestimmt, dass die Fehlfunktion zu gravierend ist, kann der Sender **154** VMV **26a** und VU **28a** auf Basis historischer Daten setzen.

[0123] [Fig. 14](#) veranschaulicht die Prozedur, die vom Sender **154** verwendet wird, um einen Eingangsverlust vom Temperatursensor **176** zu erfassen und darauf zu reagieren. Der Sender **154** hält eine Variable, RTD_input_state, die den aktuellen Status des Eingangs vom Temperatursensor **176** angibt. Als einen ersten Schritt prüft der Sender **154** RTD_input_state (Schritt **300**).

[0124] Wenn RTD_input_state gleich RTD_INPUT_OK ist, was angibt, dass der Eingang vom Temperatursensor **176** während des vorherigen Abtastzeitraums normal arbeitete, prüft der Sender **154** den Widerstand des Temperatursensors **176** (Schritt **304**). Wenn der Widerstand weniger als 80 Ohm beträgt, gibt dies an, dass die Verbindung zwischen dem Sender **154** und dem Temperatursensor **176** verloren gegangen ist. In Reaktion setzt der Sender **154** RTD_input_state auf RTD_INPUT_LOST (Schritt **306**). Der Sender **154** prüft dann den Wert von RTD_spike_state, der angibt, ob der Sender **154** während der vorherigen Abtastung eine Spitze in dem Ausgang vom Temperatursensor **176** abgetastet hat (Schritt **308**). Wenn RTD_spike_state angibt, dass eine Spitze aufgetreten ist, setzt der Sender **154** RTD_input_state zurück, um keine Spitze anzugeben (Schritt **310**). (Eine Spitze ist eine weniger schwere Fehlfunktion und wird durch den Verbindungsverlust ausgelöst.)

[0125] Wenn RTD_input_state gleich RTD_INPUT_LOST ist, prüft der Sender **154** den Widerstand des Temperatursensors **176** (Schritt **314**). Wenn der Widerstand weniger als 100 Ohm beträgt (Schritt **314**), gibt dies an, dass die Verbindung mit dem Temperatursensor **176** immer noch verloren ist. (Verschiedene Widerstandswerte werden in den Schritten **304** und **314** verwendet, um intermittierendes Umschalten von RTD_input_state zu vermeiden, wenn beispielsweise der Widerstand zwischen 79 und 81 Ohm schwankt.) Wenn die Verbindung verloren ist, setzt der Sender **154** den MV-Status **30a**, welcher der Temperatur entspricht, auf BLIND (Schritt **316**) und ersetzt historische Informationen (Schritt **318**) über die Temperatur, um sie in den Schritten zur Neuberechnung (Schritte **214–218** von [Fig. 12](#)) zu verwenden. Da Dichte und Mengendurchfluss teilweise auf der Temperatur basieren, setzt der Sender **154** die MV-Status **30b–c** auf BLURRED (Schritte **320–322**). Wenn der Widerstand mehr als 100 Ohm beträgt, setzt der Sender **154** RTD_input_state auf RTD_INPUT_RECOVER, um anzugeben, dass die Verbindung wiederhergestellt ist (Schritt **326**). Zu diesem Zeitpunkt initialisiert der Sender **154** einen Wiederherstellungs-Zeitgeber, indem RTD_input_count auf gleich Null gestellt wird (Schritt **328**).

[0126] Wenn RTD_input_state gleich RTD_INPUT_RECOVER ist, legt der Sender **154** die früheren und gegenwärtigen Werte für die Temperatur zusammen, wie oben erläutert (Schritt **332**). Der Sender **154** prüft dann, ob der Wiederherstellungs-Zeitüberschreitungs-Zeitraum abgelaufen ist (Schritt **334**). Ist dies der Fall, setzt der Sender **154** RTD_input_state auf RTD_INPUT_OK (Schritt **336**). Falls nicht, setzt der Sender **154** den MV-Status **30a** auf BLURRED (Schritt **340**) und inkrementiert RTD_input_count (Schritt **342**).

[0127] **Fig. 15** veranschaulicht die Reaktion des Durchflussmessgerätes **150** auf einen Eingangsverlust vom Temperatursensor **176**. Zum Zeitpunkt **9** tritt der Eingangsverlust auf, und die nicht validierte Temperaturmessung **RMV 36a** beginnt rasch abzufallen. Zum Zeitpunkt **10** setzt der Sender **154** den Diagnosestatus **58**, um anzugeben, dass eine Spitze in dem Temperatureingang aufgetreten ist, und ändert in Reaktion den MV-Status **30a** auf **DAZZLED**, modifiziert **VMV 26a** und **VU 28a** basierend auf früherer Leistung, wie oben erläutert, und belässt die MV-Status **30b–c**, die **VMVs 26b–c** und **VUs 28b–c** unverändert, (obwohl, weil Dichte und Mengendurchfluss teilweise von der Temperatur abhängen, die **VMVs 26b–c** und **VUs 28b–c** die Änderungen an **VMV 26a** und **VU 28a** enthalten).

[0128] Zum Zeitpunkt **12** fällt der Widerstand des Temperatursensors **176** genügend tief, dass der Sender **154** den Diagnosestatus **58** setzt, um anzugeben, dass ein Temperatureingangsverlust aufgetreten ist, und ändert in Reaktion den MV-Status **30a** auf **BLIND**, basiert **VMV 26a** und **VU 28a** weiterhin auf früherer Leistung, ändert die MV-Status **30b–c** auf **BLURRED** und belässt die **VMVs 26b–c** unverändert. Weil die Unsicherheiten von Dichte und Mengendurchfluss teilweise auf der Unsicherheit der Temperatur basieren, erhöhen sich die **VUs 28b–c**, um die Erhöhung in **VU 28a** widerzuspiegeln.

[0129] Zum Zeitpunkt **48** erhöht sich der Widerstand des Temperatursensors **176** auf einen ausreichenden Pegel, so dass der Sender **154** den Diagnosestatus **58** setzt, um anzugeben, dass der Temperatureingang wiederhergestellt ist, und ändert in Reaktion den MV-Status **30a** auf **BLURRED**, initialisiert einen Wiederherstellungs-Zeitgeber, beginnt frühere und gegenwärtige Werte für **VMV 26a** und **VU 28a** zusammenzulegen und ändert die MV-Status **30b–c** in **CLEAR**.

[0130] Zum Zeitpunkt **72** läuft der Wiederherstellungs-Zeitgeber ab, und der Sender **154** setzt den Diagnosestatus **58**, um anzugeben, dass der Temperatureingang vollständig wiederhergestellt ist, und ändert in Reaktion den MV-Status **30a** in **CLEAR** und basiert **VMV 26a** und **VU 28a** auf **RMV 36a** und **RU 28a**.

[0131] Unter Bezugnahme auf **Fig. 16** implementiert ein erfindungsgemäßer Sensor **12** zusammengefasst eine Prozedur **350**. Der Sensor empfängt ein Datensignal, das sich auf den Wert einer Variablen bezieht (Schritt **352**), und schätzt auf Basis des Datensignals eine Messung der Variablen (Schritt **354**). Danach generiert der Sensor ein erstes Ausgangssignal (Schritt **356**), das zu der geschätzten Messung der Variablen in Beziehung gesetzt werden kann. Schließlich führt der Sensor eine Unsicherheitsanalyse an dem ersten Ausgangssignal durch (Schritt **358**) und generiert ein zweites Ausgangssignal, das auf der Unsicherheitsanalyse basiert (Schritt **360**).

[0132] Unter Bezugnahme auf **Fig. 17**, und wie oben erläutert, kann ein erfindungsgemäßer Sensor auf das Erfassen einer Fehlfunktion gemäß einer Prozedur **400** ansprechen. Zuerst bestimmt der Sensor, ob das Auftreten einer Fehlfunktion im Ursprung einer Messung erfasst worden ist (Schritt **405**). Beispielsweise, wie in **Fig. 18** gezeigt und oben erläutert, kann der Sensor, wenn der Sensor einen Temperaturwandler enthält, eine Kontaktverlustfehlfunktion unter Verwendung einer Prozedur **500** erfassen. Der Sensor speichert einen Ausgang des Temperaturwandlers (Schritt **505**) und schließt den Temperaturwandler für eine vorgegebene Zeitspanne an eine Spannungsquelle an (Schritt **510**). Nachdem die vorgegebene Zeitspanne abgelaufen ist, vergleicht der Sensor den gespeicherten Ausgang mit dem gegenwärtigen Ausgang des Temperaturwandlers (Schritt **515**) und gibt an, dass eine Kontaktverlustfehlfunktion erfasst worden ist, die auf dem Vergleich basiert (Schritt **520**).

[0133] Wenn, unter erneuter Bezugnahme auf **Fig. 17**, das Auftreten einer Fehlfunktion erfasst worden ist (Schritt **405**), erzeugt der Sensor einen ersten Schätzwert der Messung (Schritt **410**). Der erste Schätzwert kann ein Mittelwert der Messung während eines Zeitintervalls sein, das einen kurzzeitig früheren Wert der Messung enthält. Beispielsweise kann das Zeitintervall einen Wert der Messung unmittelbar vor dem Auftreten der Fehlfunktion enthalten. Der Sensor erzeugt auch eine Unsicherheitsmessung für den ersten Schätzwert (Schritt **415**). Zunächst kann das Unsicherheitsmaß angeben, dass die Messung jeden Wert haben kann, der für die Messung während des Zeitintervalls beobachtet worden ist. Der Sensor kann auch eine Einschränkung der Zuverlässigkeit des ersten Schätzwerts aufgrund einer Zeitdifferenz zwischen dem gegenwärtigen Zeitpunkt und einem Zeitpunkt am Ende des Zeitintervalls berücksichtigen. Insbesondere kann der Sensor das Unsicherheitsmaß für den ersten Schätzwert korrigieren, indem die Zeitdifferenz zwischen dem gegenwärtigen Zeitpunkt und dem Zeitpunkt am Ende des Zeitintervalls mit einem Maximalwert, der zwischen dem gegenwärtigen Zeitpunkt und dem Zeitpunkt am Ende des Zeitintervalls beobachtet wurde, mit einer maximalen beobachteten Änderungsgeschwindigkeit der Messung multipliziert wird. Der Sensor erzeugt dann einen zweiten Schätzwert (Schritt **420**) und ein dazugehöriges Unsicherheitsmaß (Schritt **425**) unter Verwendung des oben beschriebenen Ansatzes für den ersten Schätzwert und das Unsicherheitsmaß. Der zweite Schätzwert kann

auf langfristig früheren Werten der Messung basieren.

[0134] Der Sensor kombiniert die mehreren Schätzwerte der Messung, um einen kombinierten Schätzwert für die Messung zu erzeugen (Schritt **430**). Der Sensor kann die Schätzwerte kombinieren, indem die Schätzwerte gemäß ihren zugehörigen Unsicherheitsmaßen gewichtet werden. Insbesondere kann der Sensor den ersten Schätzwert mit dem zweiten Unsicherheitsmaß zum Quadrat, das durch eine Summe aus dem zweiten Unsicherheitsmaß zum Quadrat und dem ersten Unsicherheitsmaß zum Quadrat dividiert wird, multiplizieren und ein Ergebnis dieser Multiplikation zu einem Ergebnis der Multiplikation des zweiten Schätzwerts mit dem zweiten Unsicherheitsmaß zum Quadrat, das durch eine Summe aus dem zweiten Unsicherheitsmaß zum Quadrat und dem ersten Unsicherheitsmaß zum Quadrat dividiert wird, addieren:

$$ESTCOM = \frac{U12}{U12 + U22} * EST1 + \frac{U22}{U12 + U22} * EST2 .$$

[0135] Der Sensor kombiniert auch die Unsicherheitsmaße für jeden der mehreren Schätzwerte, um ein Unsicherheitsmaß für den kombinierten Schätzwert für die Messung zu erzeugen (Schritt **435**). Der Sensor kann dies erreichen durch Multiplizieren des zweiten Unsicherheitsmaßes mit dem ersten Unsicherheitsmaß und durch Dividieren eines Ergebnisses der Multiplikation durch eine Quadratwurzel aus einer Summe aus dem zweiten Unsicherheitsmaß zum Quadrat und dem ersten Unsicherheitsmaß zum Quadrat:

$$UCOM = \frac{U1 * U2}{(U12 + U22) 1/2}$$

[0136] Schließlich stellt der Sensor den kombinierten Schätzwert für die Messung als einen Wert für die Messung zu einem gegenwärtigen Zeitpunkt (Schritt **440**) und das Unsicherheitsmaß für den kombinierten Schätzwert als eine Angabe der Gültigkeit des Werts der Messung des gegenwärtigen Zeitpunkts (Schritt **455**) bereit.

[0137] Der Sensor kann auch eine Fehlfunktion korrigieren, nachdem er die Fehlfunktion identifiziert hat. Wenn, unter Bezugnahme auf [Fig. 19A](#), der Sensor **100** ein ideales Messsystem **1000** wäre, dann würde eine gewünschte, von dem System **1000** erzeugte Messung and **1015** mit einer Messgröße m **1020** durch eine gewünschte Übertragungsfunktion $G_d(s)$ **1025** in Beziehung stehen. Ein tatsächliches Messsystem, wie es beispielsweise in [Fig. 19B](#) gezeigt wird, kann jedoch Abweichungen in seiner Übertragungsfunktion $G_a(s)$ **1030** in Bezug auf die gewünschte Übertragungsfunktion $G_d(s)$ aufweisen. Diese Abweichungen können den tatsächlichen Sensorausgang x **1035**, (der auch als die unkompensierte Messung m_u bezeichnet wird), in Bezug auf die gewünschte Messung m_d **1015** verzerren. Wenn die gewünschte Übertragungsfunktion $G_d(s)$ beispielsweise ein Tiefpassfilter ist ([Fig. 19A](#)), können Abweichungen in dem tatsächlichen System verursachen, dass die tatsächliche Übertragungsfunktion $G_a(s)$ eine niedrigere Grenzfrequenz aufweist als diejenige der gewünschten Übertragungsfunktion $G_d(s)$. Obwohl etwas Filtern erforderlich sein kann, um Messungsrauschen zu entfernen, kann die reduzierte Grenzfrequenz niedriger sein als die erforderliche Messbandbreite. Dies kann dazu führen, dass Hochfrequenzsignalkomponenten gedämpft werden, und eine merkliche zeitliche Verzögerung in die Messung eingeführt wird. Wenn die Systemauslegung diese zeitliche Verzögerung nicht berücksichtigt, kann sich die Regelleistung verschlechtern, und ein Regelkreis, der den Sensor **100** verwendet, kann instabil werden.

[0138] Unter Bezugnahme auf [Fig. 20](#) implementiert der Prozessor **106** eine Prozedur **1100**, um die Auswirkungen von Abweichungen zwischen tatsächlichen und gewünschten Übertragungsfunktionen zu berücksichtigen. Zunächst bestimmt der Prozessor **106** die zeitdiskrete Entsprechung der gewünschten Übertragungsfunktion $G_d(s)$ **1025** des Sensors **100** (Schritt **1105**). Diese Funktion wird typischerweise in den Leistungsspezifikationen des Sensors definiert. Als Nächstes bestimmt der Prozessor die zeitdiskrete Entsprechung der tatsächlichen Übertragungsfunktion $G_a(s)$ **1030** des Sensors **100** (Schritt **1110**). Wenn der Sensor **100** beispielsweise ein Thermoelement ist, bestimmt der Prozessor **106** die tatsächliche Übertragungsfunktion unter Verwendung von Strominjektionsprüfungen.

[0139] Nach dem Bestimmen der Übertragungsfunktionen erhält der Prozessor **106** die Sensorablesung x **1035** vom Sensor **100** (Schritt **1115**). Unter Bezugnahme auch auf [Fig. 19C](#) berechnet der Prozessor **106** dann das Inverse $G_a'(s)$ **1045** der tatsächlichen Übertragungsfunktion $G_a(s)$ **1030** (Schritt **1120**). Es ist zu beachten,

dass $G_a'(s)$ nicht das exakte mathematische Inverse der tatsächlichen Übertragungsfunktion $G_a(s)$ ist, weil die Kompensation, die das exakte Inverse verwendet, zu instabilen kompensierten Sensorablesungen führen kann. Stattdessen ist $G_a'(s)$ das finite Impulsansprechverhaltens-Inverse von $G_a(s)$ mit abgestimmter Verstärkung. Unter Verwendung der inversen Übertragungsfunktion $G_a'(s)$ **1045** negiert der Prozessor **106** die Auswirkung der tatsächlichen Übertragungsfunktion des Sensors, um eine kompensierte Messung m_c **1050** zu erhalten (Schritt **1125**):

$$m_c = xG_a'(s).$$

[0140] Die kompensierte Messung m_c **1050** ist die Messung, die generiert würde, wenn der Sensor eine infinite Bandbreite hätte. Da die Sensorablesung x **1035** lautet: $x = mG_a(s)$ entspricht die kompensierte Messung m_c **1050** der Messgröße m **1020**:

$$m_c = xG_a'(s) = mG_a(s)G_a'(s) \approx m.$$

[0141] Danach verwendet der Prozessor **106** ein Filter $G_f(s)$ **1055** ([Fig. 19D](#)) mit einer Übertragungsfunktion, die gleich der gewünschten Übertragungsfunktion $G_d(s)$ ist, zum Filtern der kompensierten Messung m_c **1050**, um einen Schätzwert m_e **1060** der gewünschten Messung **and 1015** zu generieren (Schritt **1130**):

$$m_e = m_c G_f(s).$$

[0142] Die [Fig. 21A](#) und [Fig. 21B](#) zeigen die Implementierung einer Prozedur für ein System, das eine tatsächliche Übertragungsfunktion mit einer Verzögerung von 0,07 Sekunden, Eckfrequenzen von 0,1768 und 0,2274 Hz aufweist:

$$G_a(s) = \frac{e^{-0,07s}}{(1 + 0,7s)(1 + 0,9s)}$$

[0143] Unter Ignorieren der Verzögerung und unter der Annahme einer Abtastgeschwindigkeit von 10 Hz kann die zeitdiskrete Halte-Entsprechung nullter Ordnung (zero-order-hold equivalent) der tatsächlichen Übertragungsfunktion unter Verwendung von Standard-Regeltheorie-Techniken ausgedrückt werden als:

$$G_a(z^{-1}) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} = \frac{0,0072957 z^{-1} + 0,0067035 z^{-2}}{1 - 1,7617 z^{-1} + 0,7757 z^{-2}}.$$

[0144] Davon ausgehend kann die kompensierte Messung m_c für eine Abtastung k unter Verwendung der finiten Impulsansprechverhaltens-Inversen der zeitdiskreten Entsprechung ausgedrückt werden als:

$$m_c(k) = \frac{x(k) + a_1 x(k-1) + a_2 x(k-2)}{b_1 + b_2} = \frac{x(k) - 1,7617x(k-1) + 0,7757x(k-2)}{0,0072957 + 0,0067035}.$$

[0145] [Fig. 21A](#) zeigt das Ansprechverhalten des Systems auf eine Messgröße m , die ein rauschverfälschter verzögerter Stufeneingang (noise-corrupted delayed step input) **1200** ist, der folgenden Wert aufweist:

$$m = H(t - 0,5) + 0,1N(t)$$

wobei $H(t)$ ein Stufeneingang von Einheitsgröße (unit magnitude) zum Zeitpunkt $t = 0$ ist, und $N(t)$ ein Zufallsrauschen mit normalem Verlauf und Einheitsgröße ist. Das System spricht auf den Stufeneingang **1200** an, indem eine Sensorablesung x erzeugt wird, die als eine nicht kompensierte Messung m_u **1205** identifiziert wird. Die kompensierte Messung m_c **1210** wird aus der nicht kompensierten Messung unter Verwendung der oben bereitgestellten Gleichung berechnet.

[0146] [Fig. 21A](#) zeigt, dass die kompensierte Messung m_c **1210** dem Stufeneingang **1200** viel ähnlicher ist als die nicht kompensierte Messung m_u **1205**. Insbesondere ist die nicht kompensierte Messung m_u **1205** viel langsamer als der Stufeneingang **1200**. Allerdings weist die nicht kompensierte Messung m_u **1205** weniger

Rauschen auf als der Stufeneingang **1200** und die kompensierte Messung m_c **1210**. Dies ist zu erwarten, weil das Hochfrequenzrauschen in dem Stufeneingang **1200** durch das relativ langsame Ansprechen des Wandlers herausgefiltert wird, der die nicht kompensierte Messung m_u **1205** erzeugt.

[0147] **Fig. 21B** zeigt die Unterschiede zwischen der nicht kompensierten Messung m_u **1205**, einem Schätzwert m_e **1215** der gewünschten Messung und der tatsächlich gewünschten Messung and **1210**. Die gewünschte Sensor-Übertragungsfunktion $G_d(s)$ des Systems ist ein Filter erster Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 0,5 Hz:

$$G_d(s) = \frac{1}{1 + 0,32s} .$$

[0148] Diese Grenzfrequenz ist wesentlich höher als die Eckfrequenzen der tatsächlichen Übertragungsfunktion $G_a(s)$.

[0149] Die zeitdiskrete Entsprechung der gewünschten Übertragungsfunktion $G_d(s)$ bei einer Abtastgeschwindigkeit von 10 Hz kann ausgedrückt werden als:

$$G(z^{-1}) = \frac{(c_1 z^{-1})}{1 + d_1 z^{-1}} = \frac{0,2684z^{-1}}{1 - 0,7316z^{-1}} .$$

[0150] Davon ausgehend kann der Schätzwert m_e **1215** der gewünschten Messung für eine Abtastung k ausgedrückt werden als:

$$m_e(k) = c_1 m_c(k-1) - d_1 m_d(k-1) = 0,2482m_c(k-1) + 0,7316m_d(k-1).$$

[0151] Daraus ergibt sich ein Schätzwert m_e **1215**, welcher der gewünschten Messung and **1220** nahe kommt.

[0152] Die **Fig. 22A** und **Fig. 22B** zeigen das Ansprechverhalten des Systems auf eine Messgröße m , die ein variabler Eingang **1250** ist. Der variable Eingang **1250** weist folgenden Wert auf:

$$m = 10 \sin(2\pi 0,05t) + 5 \sin\left(2\pi 0,3t + \frac{2\pi}{10}\right) + 0,1N(t) ,$$

wobei $N(t)$ ein Zufallsrauschen von normalem Verlauf und Einheitsgröße ist. Eine primäre Signalkomponente des variablen Eingangs **1250** liegt bei einer Frequenz von 0,3 Hz, was über der Grenzfrequenz der tatsächlichen Übertragungsfunktion liegt. Demgemäß wird diese Signalkomponente in der nicht kompensierten Messung m_u **1255** gedämpft, was darin zu beträchtlicher Verzerrung führt. Im Gegensatz dazu wird der größte Teil der Signalkomponente in der kompensierten Messung m_c **1260** wiederhergestellt, so dass die kompensierte Messung mehr dem variablen Eingang **1250** ähnelt. **Fig. 22B** zeigt die Unterschiede zwischen der nicht kompensierten Messung m_u **1255**, dem Schätzwert m_e **1270** der gewünschten Messung und der gewünschten Messung and **1275**.

[0153] Die Durchführbarkeit der Kompensationstechnik wird durch die Tatsache veranschaulicht, dass in beiden **Fig. 21B** und **Fig. 22B**, die geschätzte Messung m_e der gewünschten Messung and mehr ähnelt als die nicht kompensierte Messung m_u .

[0154] Die Technik der Erfindung kann unter einer Reihe von Umständen eingesetzt werden. Beispielsweise, wie in **Fig. 23A** gezeigt, kann ein Thermoelement **1300** in einem Wärmebehälter **1305** positioniert werden, der mit Silikonöl **1310** gefüllt ist. Wenn der Wärmebehälter **1305** die gleiche Temperatur aufweist wie der Prozess, der von Interesse ist, ist die Reaktion des Thermoelemente **1300** auf Änderungen in der Prozesstemperatur von einer zweiten Ordnung, wobei Zeitkonstanten durch die Wärmeübertragungseigenschaften der Berührungsfläche von Thermoelement/Silikonöl und die Berührungsfläche von Silikonöl/Wärmebehälter beherrscht werden. Wenn, wie in **Fig. 23B** gezeigt, das Silikonöl **1310** aus dem Wärmebehälter **1305** entweicht oder anderweitig verloren geht, werden die Wärmeübertragungseigenschaften des Thermoelements **1300** weniger effizient. Dies bewirkt, dass die Zeitkonstanten in dem Thermoelement-Ansprechverhalten sich erhöhen, und die Sensorablesung x **1035** träge wird. Ein selbstprüfender Sensor kann diese Trägheit ausgleichen, indem die

oben erläuterten Techniken verwendet werden.

[0155] Sobald die geschätzte Messung m_e generiert worden ist, kann die Unsicherheit δ des Schätzwerts quantifiziert werden. Unter Bezugnahme auf [Fig. 24](#) implementiert der Prozessor **106** eine Prozedur **1400**, um Unsicherheiten des Eingangssignals sowie die Ungenauigkeiten zu berücksichtigen, die durch die Technik eingeführt werden, und propagiert jede Unsicherheitskomponente entsprechend.

[0156] Wie oben angemerkt, kann die kompensierte Messung m_c aus der Sensorablesung x geschätzt werden, indem die finite Impulsansprechverhaltens-Inverse der zeitdiskreten Halte-Entsprechung nullter Ordnung der tatsächlichen Übertragungsfunktion verwendet wird:

$$m_c(z^{-1}) = \frac{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}}{b_1 + \dots + b_n} x(z^{-1}) .$$

[0157] Von diesem Ausdruck ausgehend weist die Unsicherheit δ der kompensierten Messung m_c zwei Hauptkomponenten auf. Die erste Komponente lässt sich der Unsicherheit des Eingangssignals und zu der Ungenauigkeit der Kompensationskoeffizienten in der zeitdiskreten Entsprechung der Übertragungsfunktion zuordnen. Der Prozessor **106** berechnet die erste Komponente (Schritt **1405**) unter Verwendung einer Standard-Unsicherheitspropagierungsformel:

$$\begin{aligned} (\delta m_{c1}(k))^2 &= \sum_{i=0}^n \left(\frac{\delta m_c(k)}{\delta x(k-i)} \delta x(k-i) \right)^2 + \sum_{i=0}^n \left(\frac{\delta m_c(k)}{\delta a_i} \delta a_i \right)^2 + \sum_{i=0}^n \left(\frac{\delta m_c(k)}{\delta b_i} \delta b_i \right)^2 \\ &= \frac{1}{(b_1 + \dots + b_n)^2} \left\{ \sum_{i=0}^n [a_i \delta x(k-i)]^2 + \sum_{i=0}^n x[(k-i) \delta a_i]^2 + \sum_{i=0}^n [m_c(k) \delta b_i]^2 \right\} \end{aligned}$$

wobei δ die Unsicherheit der Variablen angibt, vor der es steht.

[0158] Die zweite Komponente der Unsicherheit ergibt sich aus der zeitdiskreten Übertragungsfunktion, die eine Halte-Entsprechung nullter Ordnung ist, deren Pole sich alle am Ursprung (origin) befinden. Der Prozessor **106** berechnet diese Komponente (Schritt **1410**) als:

$$\delta m_{c2}(k) = n m_c(k) - [x(k-1) + x(k-2) + \dots + x(k-n)].$$

[0159] Unter Verwendung der zwei Komponenten bestimmt der Prozessor **106** die Gesamt-Unsicherheit in der kompensierten Messung für eine Abtastung k (Schritt **1415**) als:

$$\delta m_c(k) = \sqrt{(\delta m_{c1}(k))^2 + (\delta m_{c2}(k))^2}$$

[0160] Schließlich bestimmt der Prozessor **106** die Unsicherheit der geschätzten Messung m_e unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der kompensierten Messung m_c und der Koeffizienten der diskreten Entsprechung der gewünschten Übertragungsfunktion (Schritt **1420**). Für eine Abtastung k kann die geschätzte Messung ausgedrückt werden als:

$$m_e(k) = \sum_{i=1}^n c_i m_c(k-i) + \sum_{i=1}^n d_i m_e(k-i) .$$

[0161] Aus diesem Ausdruck bestimmt der Prozessor **106** die Unsicherheit der geschätzten Messung m_e als:

$$\begin{aligned}
(\delta m_e(k))^2 &= \sum_{i=0}^n \left(\frac{\partial m_e(k)}{\partial m_c(k-i)} \delta m_c(k-i) \right)^2 + \sum_{i=0}^n \left(\frac{\partial m_e(k)}{\partial m_e(k-i)} \delta m_e(k-i) \right)^2 \\
&= \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial m_e(k)}{\partial c_i} \delta c_i \right)^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial m_e(k)}{\partial d_i} \delta d_i \right)^2 \\
&\quad - \sum_{i=1}^n [c_i \delta m_c(k-i)]^2 + \sum_{i=1}^n [d_i \delta m_e(k-i)]^2 \\
&\quad + \sum_{i=1}^n [m_c(k-i) \delta c_i]^2 + \sum_{i=1}^n [m_e(k-i) \delta d_i]^2
\end{aligned}$$

[0162] Für das oben unter Bezugnahme auf die [Fig. 21A](#) und [Fig. 21B](#) erläuterte System ist die erste Komponente der Unsicherheit der kompensierten Messung m_c :

$$\begin{aligned}
(\delta m_{c1}(k))^2 &= \frac{1}{(b_1 + b_2)^2} \left\{ [a_1 \delta x(k-1)]^2 + [a_2 \delta x(k-2)]^2 + (x(k-1) \delta a_1)^2 \right. \\
&\quad \left. + (x(k-2) \delta a_2)^2 + (m_c(k) \delta b_1)^2 + (m_c(k) \delta b_2)^2 \right\}
\end{aligned}$$

[0163] Die zweite Komponente der Unsicherheit der kompensierten Messung m_c ist:

$$\delta m_{c2}(k) = 2m_c(k) - [x(k-1) + x(k-2)].$$

[0164] Dementsprechend ist die Unsicherheit der geschätzten Messung m_e :

$$(\delta m_c(k))^2 = (c_1 \delta m_c(k-1))^2 + (d_1 \delta m_e(k-1))^2 + (m_c(k-1) \delta c_1)^2 + (m_c(k-1) \delta d_1)^2.$$

[0165] Die Unsicherheiten der geschätzten Messungen m_e für den Stufeneingang **1200** und den variablen Eingang **1250** sind jeweils in den [Fig. 25A](#) und [Fig. 25B](#) gezeigt. Die Schattierung gibt die Unsicherheit δ an. Der Einfachheit halber wird die Unsicherheit des Eingangssignals ignoriert, und es wird angenommen, dass die Filterkoeffizienten exakt sind. Die [Fig. 25A](#) und [Fig. 25B](#) zeigen, dass die Unsicherheitsschätzungstechnik den Frequenzinhalt des Sensorsignals berücksichtigt und eine höhere Unsicherheit erzeugt, wenn das Eingangssignal eine signifikante Hochfrequenzkomponente aufweist, wie in den [Fig. 25A](#) und [Fig. 25B](#) gezeigt wird.

[0166] In einigen Fällen kann es sein, dass der Prozessor **106** die Unsicherheit berücksichtigen muss, die mit dazugehörigen Signalen verbunden ist. Beispielsweise können die von einigen Sensoren erzeugten Messungen Kombinationen von verschiedenen Signalen aufweisen, die von gemeinsamen Variablen beeinflusst werden. Dies kann zu Problemen führen, weil die Propagierung von Unsicherheit in Standard-Unsicherheitsanalysen nur gültig ist, wenn die Variablen unabhängig sind.

[0167] Unter Bezugnahme auf [Fig. 26](#) implementiert der Prozessor **106** eine Prozedur **1600**, um die Unsicherheit eines Ergebnisses R zu berücksichtigen, das eine Funktion von abhängigen Variablen ist. Zuerst definiert der Prozessor das Ergebnis R (Schritt **1605**) als:

$$R = R(M_1, \dots, M_n),$$

wobei jedes der Signale M_n eine Funktion von gemeinsamen Variablen c und unabhängigen Variablen v ist:

$$M_i = M_i(c, v_i),$$

wobei

$$c = (c_1, c_2, \dots, c_p)$$

und

$$v_i = (v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^{q_i})^T.$$

[0168] Der Prozessor berechnet dann die Unsicherheit des Ergebnisses R.

[0169] In einer ersten Technik berechnet der Prozessor die Unsicherheit in Form von Grundvariablen (Schritt **1610a**) als:

$$\begin{aligned} (\delta R)^2 &= \left(\frac{\partial R}{\partial c_1} \right)^2 (\delta c_1)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial c_2} \right)^2 (\delta c_2)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial c_p} \right)^2 (\delta c_p)^2 \\ &+ \left(\frac{\partial R}{\partial M_1} \right)^2 (\delta M_1)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial M_2} \right)^2 (\delta M_2)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial M_n} \right)^2 (\delta M_n)^2 \end{aligned}$$

wobei δM_i die Unsicherheit in M_i ist, wenn die Unsicherheiten der gemeinsamen Variablen c_p ignoriert werden. Dies zeigt, dass die Unsicherheiten der gemeinsamen Variablen aus dem Endergebnis berechnet werden können, während die Unsicherheiten der unabhängigen Variablen unter Berücksichtigung der Zwischensignale berechnet werden können.

[0170] In einer zweiten Technik berechnet der Prozessor die Unsicherheit in Form von Zwischensignalen (Schritt **1610b**) als:

$$\begin{aligned} (\delta R)_2 &= \left(\frac{\partial R}{\partial M_1} \right)^2 (\delta M_1)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial M_2} \right)^2 (\delta M_2)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial M_n} \right)^2 (\delta M_n)^2 \\ &+ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1 \atop (i \neq j)}^n \left(\frac{\partial R}{\partial M_i} \cdot \frac{\partial M_i}{\partial c_1} \right) \left(\frac{\partial R}{\partial M_j} \cdot \frac{\partial M_j}{\partial c_1} \right) (\delta c_1)^2 + \dots \\ &+ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1 \atop (i \neq j)}^n \left(\frac{\partial R}{\partial M_i} \cdot \frac{\partial M_i}{\partial c_p} \right) \left(\frac{\partial R}{\partial M_j} \cdot \frac{\partial M_j}{\partial c_p} \right) (\delta c_p)^2 \end{aligned}$$

[0171] In dieser Technik sind zusätzliche Unsicherheitsausdrücke erforderlich, um die Korrelation zwischen den gemeinsamen Variablen zu berücksichtigen.

[0172] Die Prozedur **1600** kann unter Bezugnahme auf das folgende Beispiel veranschaulicht werden, in dem:

$$M_1 = ax + y, M_2 = bx + z$$

ist, wobei x die einzige gemeinsame Variable und y und z unabhängige Variablen sind. Angenommen, das Ergebnis des ersten Schritts (Schritt **1605**) lautet:

$$R = \alpha M_1 + \beta M_2$$

[0173] Die Anwendung der ersten Technik führt zu:

$$(\delta R)^2 = (\alpha a + \beta b)^2 (\delta x)^2 + \alpha^2 x^2 (\delta a)^2 + \beta^2 x^2 (\delta b)^2 + \alpha^2 (\delta y)^2 + \beta^2 (\delta z)^2.$$

[0174] Die Anwendung der zweiten Technik führt zu dem gleichen Wert.

[0175] Die [Fig. 27A](#) und [Fig. 27B](#) veranschaulichen dieses Ergebnis, wenn α und β beide 0,5 sind, x einen Mittelwert von 5 und eine Varianz von 0,01 aufweist, y und z gleichmäßig zwischen $\pm 0,005$ schwanken, die

Unsicherheit von x , y oder z zu einem bestimmten Zeitpunkt 1% des Werts dieser Variablen zu diesem Zeitpunkt beträgt, und die Werte von a und b angenommen werden als:

$a = 3$, $b = 5$ für das erste Verfahren und

$a = 3$, $b = -5$ für das zweite Verfahren.

[0176] In dem ersten Beispiel, wie in [Fig. 27A](#) gezeigt, wirkt die gemeinsame Variable im Gleichtakt (in common mode) auf die Signale M_1 und M_2 , weil a und b das gleiche Vorzeichen aufweisen. In dem zweiten Beispiel, wie in [Fig. 27B](#) gezeigt, wirkt die gemeinsame Variable im Gegentakt (differential mode), weil a und b entgegengesetzte Vorzeichen aufweisen. Beim Vergleich der Unsicherheiten wird das Ergebnis **R 1700** durch die durchgezogene Linie dargestellt, die Unsicherheit, die unter Verwendung der oben erläuterten Techniken berechnet wurde, wird durch die Schattierung **1705** dargestellt, und die Unsicherheit, die unter Verwendung von Standardtechniken berechnet wurde, wird durch die Abgrenzungen **1710** dargestellt. Bei dem in [Fig. 27B](#) gezeigten Beispiel neigen jedwede Ungenauigkeiten in den Ablesungen dazu, sich aufzuheben, so dass die Unsicherheit **1705** kleiner als die Unsicherheit **1710** ist, die unter Verwendung von Standardtechniken geschätzt wird.

[0177] Die oben erläuterte Technik kann unter einer Reihe von Umständen verwendet werden. Beispielsweise zeigt [Fig. 28](#) mehrere parallel angeordnete Thermoelemente **1800** zum Messen einer räumlich durchschnittlichen Temperatur. Die Anschlüsse aller Thermoelemente **1800** können zusammen in einem Anschlusskasten **1805** untergebracht sein, so dass nur eine Messung der Vergleichsstellentemperatur (reference junction temperature) **1810** erforderlich ist. Ein Mehrpunktschalter **1815** kann verwendet werden, um die verschiedenen Kanäle abwechselnd abzufragen, um die Temperaturablesungen an den verschiedenen Stellen zu erhalten, aus denen die Durchschnittstemperatur berechnet wird. Die vorgeschlagenen Techniken zur Unsicherheitsberechnung berücksichtigen die Korrelation der verschiedenen Kanäle und korrigieren die Unsicherheit der Durchschnittsablesungen entsprechend.

[0178] Unter Bezugnahme auf [Fig. 29](#) kann der Prozessor **106** eine Prozedur **1900** zum Kombinieren ähnlicher Signale implementieren, um einen gewichteten Durchschnitt R mit minimaler Unsicherheit zu erzeugen. Der Prozessor kombiniert ähnliche Signale M_n , um das gewichtete Durchschnittsergebnis zu ergeben:

$$R = \alpha_1 M_1 + \alpha_2 M_2 + \dots + \alpha_n M_n$$

wobei

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n = 1.$$

[0179] Wenn die Signale M_1 bis M_n alle unabhängig sind, kann der i -te Koeffizient dargestellt werden als:

$$\alpha_i = \frac{1}{(\delta M_i)^2} \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{(\delta M_j)^2}}$$

wobei δM_i die Unsicherheit in M_i ist. Allerdings trifft dieser Ausdruck nicht zu, wenn die Signale gemeinsame Variablen enthalten. Wenn dementsprechend die Signale die Form aufweisen:

$$M_i = f(c) + f_i(v_i)$$

wobei

$$c = (c_1, c_2, \dots, c_p)^T,$$

und

$$v_i = (v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^{q_i})^T,$$

bestimmt der Prozessor die Kombinationskoeffizienten, die zu minimaler Unsicherheit führen (Schritt **1905**),

als:

$$\alpha_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{(\delta M_{c_j})^2}}$$

wobei δM_{c_i} die Unsicherheit in M_{c_i} ist, wenn die gemeinsamen Variablen c ignoriert werden. Der Prozessor erhält dann das gewichtete Durchschnittsergebnis (Schritt **1910**) und bestimmt die sich daraus ergebende Unsicherheit in dem gewichteten Durchschnittsergebnis (Schritt **1915**) als:

Ein Beispiel dieser Technik wird im Folgenden bereitgestellt. Zwei abhängige Variablen:

$$(\delta W)^2 = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{(\delta M_j)^2}} + \left[\left(\frac{\partial f}{\partial c_1} \right)^2 (\delta c_1)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c_2} \right)^2 (\delta c_2)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial c_p} \right)^2 (\delta c_p)^2 \right]$$

$$M_1 = x + y, M_2 = x + z$$

werden gewichtet, um das Ergebnis zu ergeben:

$$R = \alpha_1 M_1 + \alpha_2 M_2$$

wobei

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1.$$

[0180] Die Grundvariablen x , y , z und ihre dazugehörigen Unsicherheiten sind:

$$x = 0,2 + 0,1N(t), \delta x = 0,02 + 0,01N(t),$$

$$y = 2,1 + 0,2N(t), \delta y = 0,2 + 0,1N(t), \text{ und}$$

$$z = 2,2 + 0,2N(t), \delta z = 0,25 + 0,1N(t).$$

[0181] Die Quadrate der Unsicherheiten der Signale M_n , wobei die Unsicherheiten der gemeinsamen Variablen c ignoriert werden, sind

$$(\delta M_{c1})^2 = (\delta y)^2 \text{ und } (\delta M_{c2})^2 = (\delta z)^2$$

[0182] Davon ausgehend ergeben sich die optimalen Kombinationskoeffizienten durch:

$$\alpha_1 = \frac{(\delta z)^2}{(\delta y)^2 + (\delta z)^2}; \quad \alpha_2 = \frac{(\delta y)^2}{(\delta y)^2 + (\delta z)^2}.$$

wobei das entsprechende Quadrat der Unsicherheit des gewichteten Durchschnittsergebnisses R lautet:

$$(\delta W)^2 = \left[\frac{1}{(\delta M_{c1})^2} + \frac{1}{(\delta M_{c2})^2} \right]^{-1} + (\delta x)^2 = \frac{(\delta y)^2 (\delta z)^2}{(\delta y)^2 + (\delta z)^2} + (\delta x)^2$$

[0183] Die [Fig. 30A–Fig. 30D](#) zeigen die Ergebnisse für das oben beschriebene Simulationsbeispiel. Die [Fig. 30A](#) und [Fig. 30B](#) zeigen die Signale M_1 **2000** und M_2 **2005** und ihre zugehörigen Unsicherheiten **2010**. [Fig. 30C](#) zeigt den Koeffizienten α_1 **2015**. [Fig. 30D](#) zeigt das gewichtete Durchschnittsergebnis R **2020** mit der dazugehörigen Unsicherheit **2025**. Es ist ersichtlich, dass die Unsicherheit des gewichteten Durchschnittsergebnisses δR **2035** kleiner ist als die Unsicherheiten **2010** der beiden Signale M_1 und M_2 .

[0184] Das Ergebnis der obigen Diskussion kann dahingehend verallgemeinert werden, dass es die Kombination aller abhängigen Signale abdeckt. Wenn das Quadrat der Unsicherheit des Ergebnisses R eine Funktion des Vektors von Kombinationskoeffizienten ist, wie beispielsweise:

$$(\delta R)^2 = F(\alpha)$$

wobei

$$a = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n]^T,$$

dann können die optimalen Kombinationskoeffizienten bestimmt werden durch Lösen der Gleichungen:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial \alpha_1} \right) = \left(\frac{\partial f}{\partial \alpha_2} \right) = \dots = \left(\frac{\partial f}{\partial \alpha_n} \right)$$

und

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1.$$

[0185] Angenommen, es sind zwei abhängige Variablen vorhanden:

$$M_1 = ax + y, M_2 = bx + z$$

wobei $a = 0,8$ und $b = 1,2$ ist. Diese Variablen können kombiniert werden, um das Ergebnis zu ergeben:

$$R = \alpha M_1 + a M_2.$$

[0186] Während die Unsicherheiten von a und b beide $0,02$ sind, sind die Grundvariablen x , y , z und ihre dazugehörigen Unsicherheiten:

$$x = 0,2 + 0,1N(t), \alpha x = 0,02 + 0,01N(t),$$

$$y = 2,3 + 0,2N(t), \alpha y = 0,2 + 0,08N(t), \text{ und}$$

$$z = 2,1 + 0,2N(t), \alpha z = 0,2 + 0,16N(t).$$

[0187] Vorher wurde gezeigt, dass das Quadrat der Unsicherheit in dem Ergebnis R lautet:

$$(\delta R)^2 = (\alpha_1 a + \alpha_2 b)^2 (\delta x)^2 + \alpha_1^2 x^2 (\delta a)^2 + \alpha_2^2 x^2 (\delta b)^2 + \alpha_1^2 (\delta y)^2 + \alpha_2^2 (\delta z)^2,$$

so dass:

$$\frac{\partial(\delta R)^2}{\partial\alpha_1} = 2a(\alpha_1 a + \alpha_2 b)(\delta x)^2 + 2a_1 [x^2 (\delta\alpha)^2 + (\delta z)^2],$$

$$\frac{\partial(\delta R)^2}{\partial\alpha_2} = 2b(\alpha_1 a + \alpha_2 b)(\delta x)^2 + 2a_2 [x^2 (\delta b)^2 + (\delta z)^2]$$

wobei

$$\alpha_1 = \frac{x^2 (\delta b)^2 + b(b-a)(\delta x)^2 + (\delta z)^2}{[(\delta a)^2 + (\delta b)^2]x^2 + (a-b)^2 (\delta x)^2 + (\delta y)^2 + (\delta z)^2}$$

und

$$\alpha_2 = \frac{x^2 (\delta a)^2 + a(b-a)(\delta x)^2 + (\delta y)^2}{[(\delta a)^2 + (\delta b)^2]x^2 + (a-b)^2 (\delta x)^2 + (\delta y)^2 + (\delta z)^2}$$

[0188] Die Ergebnisse dieser Simulation sind in den [Fig. 31A–D](#) dargestellt. Die [Fig. 31A](#) und [Fig. 31B](#) zeigen die Signale M_1 **2100** und M_2 **2105** und ihre zugehörigen Unsicherheiten **2110**. Die [Fig. 31C](#) und [Fig. 31D](#) zeigen den Kombinationskoeffizienten **2115** und das Ergebnis R **2120** und die dazugehörige Unsicherheit δR **2125** im optimalen Fall. Aus den [Fig. 31A–Fig. 31D](#) ist ersichtlich, dass die Kombinationskoeffizienten berücksichtigt worden sind, dass das Signal M_2 **2105** im Allgemeinen eine höhere Unsicherheit aufweist als das Signal M_1 **2100**, (weil $\delta z > \delta y$), und daher eine größere Gewichtung auf das Signal M_1 **2100** gelegt wurde. Des Weiteren ist die Gesamt-Unsicherheit **2125** in dem Ergebnis R kleiner als beide Unsicherheiten der Signale M_1 **2100** und M_2 **2105**.

[0189] Die oben beschriebene Technik kann beispielsweise angewendet werden, wenn der Sensor **100** mehrere Wandler umfasst, die überlappende Bereiche von Prozessablesungen messen, und der Temperaturkompensationskoeffizient, der für jeden Wandler erforderlich ist, leicht unterschiedlich ist. Wenn nur ein Temperatursensor in dem Sender verwendet wird, können die Ablesungen von den verschiedenen Wandlern unter Verwendung der vorgeschlagenen Formel kombiniert werden, um die beste geschätzte Messung mit minimaler daraus resultierender Unsicherheit zu ergeben. Beispielsweise könnte das Verfahren angewendet werden, wenn a und b Temperaturkombinationskoeffizienten für die verschiedenen Ablesungen sind, und x die von dem Wandler bestimmte Temperatur ist.

[0190] Wenn keine Einschränkungen in Bezug auf die relativen Werte der verschiedenen Parameter bestehen, dann können einige der optimalen Koeffizienten außerhalb des Bereich 0 bis 1 liegen, was zu dem Ergebnis R führt, das außerhalb der Unsicherheitsbegrenzungen beider Signale M_1 und M_2 liegt. Dies wird in dem folgenden Beispiel gezeigt, wobei $a = 0,8$ und $b = 1,2$ ist und

$$x = 0,2 + 0,1N(t), \quad \alpha x = 0,2 + 0,01N(t),$$

$$y = 1,0 + 0,02N(t), \quad \alpha y = 0,02 + 0,008N(t), \quad \text{und}$$

$$z = 0,8 + 0,2N(t), \quad \alpha z = 0,020 + 0,16N(t).$$

[0191] In den [Fig. 32A–Fig. 32D](#) ist ersichtlich, dass, obwohl das Ergebnis R eine sehr kleine Unsicherheit aufweist (um 0,11), das Ergebnis mit einem Mittelwert von ungefähr 4,8 außerhalb des Bereichs beider Signale M_1 **2200** und M_2 **2205** liegt. Daher ist das kombinierte Ergebnis bedeutungslos. Für den Fall von:

$$M_1 = ax + y \quad \text{und} \quad M_2 = bx + z,$$

zeigt die Analyse, dass, damit die Technik von Bedeutung ist, die Bedingungen

$$(\alpha M_1)^2 = a^2(\alpha x)^2 + x^2(\alpha a)^2 + (\alpha y)^2 ab(\alpha x)^2, \text{ und}$$

$$(\alpha M_2)^2 = b^2(\alpha x)^2 + x^2(\alpha b)^2 + (\alpha y)^2 ab(\alpha x)^2$$

erfüllt werden müssen.

[0192] Weitere Ausführungsformen liegen innerhalb des Umfang der folgenden Ansprüche.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kompensieren von Abweichungen in einer Übertragungsfunktion eines Sensors (**12**), das umfasst:

Empfangen einer von dem Sensor erzeugten Messung, und **dadurch gekennzeichnet**, dass es umfasst:

Identifizieren einer gewünschten Übertragungsfunktion für den Sensor;

Bestimmen einer tatsächlichen Übertragungsfunktion für den Sensor;

Modifizieren der Messung, um eine modifizierte Messung zu erzeugen, indem zunächst die Messung mit einer von der tatsächlichen Übertragungsfunktion hergeleiteten Übertragungsfunktion modifiziert wird, um eine kompensierte Messung zu erzeugen, und dann die kompensierte Messung mit der gewünschten Übertragungsfunktion modifiziert wird; und

Bereitstellen der modifizierten Messung als einen Messwert für den Sensor.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die gewünschte Übertragungsfunktion anhand von Auslegungskriterien für den Sensor identifiziert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die tatsächliche Übertragungsfunktion zeitlich variiert und der Schritt des Bestimmens der tatsächlichen Übertragungsfunktion Bestimmen der tatsächlichen Übertragungsfunktion für einen speziellen Zeitpunkt oder einen Zeitraum umfasst, für den ein Messwert erzeugt werden soll.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei der Sensor (**12**) ein Thermoelement umfasst und der Schritt des Bestimmens der tatsächlichen Übertragungsfunktion den Einsatz von Strominjektionsprüfungen umfasst.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Schritt des Modifizierens der Messung das Modifizieren der Messung auf Basis eines Inversen der tatsächlichen Übertragungsfunktion zum Erzeugen der kompensierten Messung umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der Schritt des Modifizierens der Messung Modifizieren der kompensierten Messung auf Basis der gewünschten Übertragungsfunktion zum Erzeugen der modifizierten Messung umfasst.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, das des Weiteren Generieren eines Unsicherheitsmaßes für den Messwert umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6 und 7, wobei der Schritt des Generierens eines Unsicherheitsmaßes Generieren eines ersten Unsicherheitsmaßes für die kompensierte Messung, Generieren eines zweiten Unsicherheitsmaßes für die gewünschte Übertragungsfunktion und Kombinieren des ersten sowie des zweiten Unsicherheitsmaßes zum Erzeugen des Unsicherheitsmaßes für den Messwert umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Schritt des Generierens des ersten Unsicherheitsmaßes für die kompensierte Messung umfasst:

Generieren eines dritten Unsicherheitsmaßes für die von dem Sensor erzeugte Messung;

Generieren eines vierten Unsicherheitsmaßes für das Inverse der tatsächlichen Übertragungsfunktion; und

Kombinieren des dritten und des vierten Unsicherheitsmaßes, um das erste Unsicherheitsmaß für die kompensierte Messung zu erzeugen.

10. Sensor (**12**) zum Erzeugen eines Messwertes, wobei der Sensor umfasst:

einen Wandler (**22**), der so konfiguriert ist, dass er eine Messung generiert; und dadurch gekennzeichnet, dass er umfasst:

einen Sender (**24**), der so konfiguriert ist, dass er:

eine gewünschte Übertragungsfunktion für den Wandler (**22**) identifiziert;
eine tatsächliche Übertragungsfunktion für den Wandler bestimmt;
die durch den Wandler generierte Messung empfängt;
die Messung modifiziert, um eine modifizierte Messung zu erzeugen, indem er zunächst die Messung mit einer von der tatsächlichen Übertragungsfunktion hergeleiteten Übertragungsfunktion modifiziert, um eine kompensierte Messung zu erzeugen, und dann die kompensierte Messung mit der gewünschten Übertragungsfunktion modifiziert; und
die modifizierte Messung als einen Messwert für den Sensor (**12**) bereitstellt.

11. Sensor nach Anspruch 10, wobei der Sender (**24**) die gewünschte Übertragungsfunktion anhand von Auslegungskriterien für den Sensor identifiziert.

12. Sensor nach Anspruch 10 oder 11, wobei die tatsächliche Übertragungsfunktion zeitlich variiert und der Sender (**24**) die tatsächliche Übertragungsfunktion für einen speziellen Zeitpunkt oder Zeitraum bestimmt, für den der Messwert erzeugt werden soll.

13. Sensor nach Anspruch 10, 11 oder 12, wobei der Wandler (**22**) ein Thermoelement umfasst und der Sender die tatsächliche Übertragungsfunktion unter Verwendung von Strominjektionsprüfungen bestimmt.

14. Sensor nach Anspruch 10, 11, 12 oder 13, wobei der Sender (**24**) die Messung auf Basis eines Inversen der tatsächlichen Übertragungsfunktion modifiziert, um die kompensierte Messung zu erzeugen.

15. Sensor nach einem der Ansprüche 10 bis 14, wobei der Sender die Messung auf Basis der gewünschten Übertragungsfunktion modifiziert, um die modifizierte Messung zu erzeugen.

16. Sensor nach einem der Ansprüche 10 bis 15, wobei der Sender des Weiteren so betrieben werden kann, dass er ein Unsicherheitsmaß für den Messwert generiert.

17. Sensor nach Anspruch 14, wobei der Sender (**24**) ein erstes Unsicherheitsmaß für die kompensierte Messung generiert, ein zweites Unsicherheitsmaß für die gewünschte Übertragungsfunktion generiert und das erste sowie das zweite Unsicherheitsmaß kombiniert, um den Messwert zu erzeugen.

18. Sensor (**12**) nach Anspruch 14 und 17, wobei der Sender (**24**) das erste Unsicherheitsmaß generiert, indem er ein drittes Unsicherheitsmaß für die Messung generiert, ein viertes Unsicherheitsmaß für das Inverse der tatsächlichen Übertragungsfunktion generiert und das dritte sowie das vierte Unsicherheitsmaß kombiniert, um das erste Unsicherheitsmaß für die kompensierte Messung zu erzeugen.

Es folgen 31 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

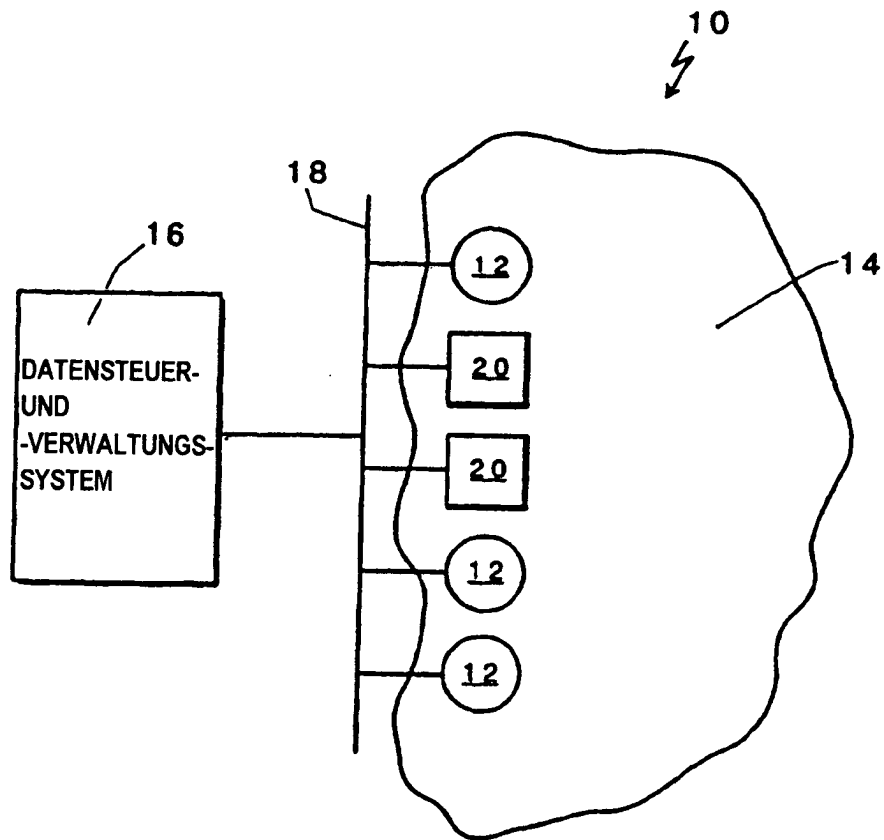


FIG. 1

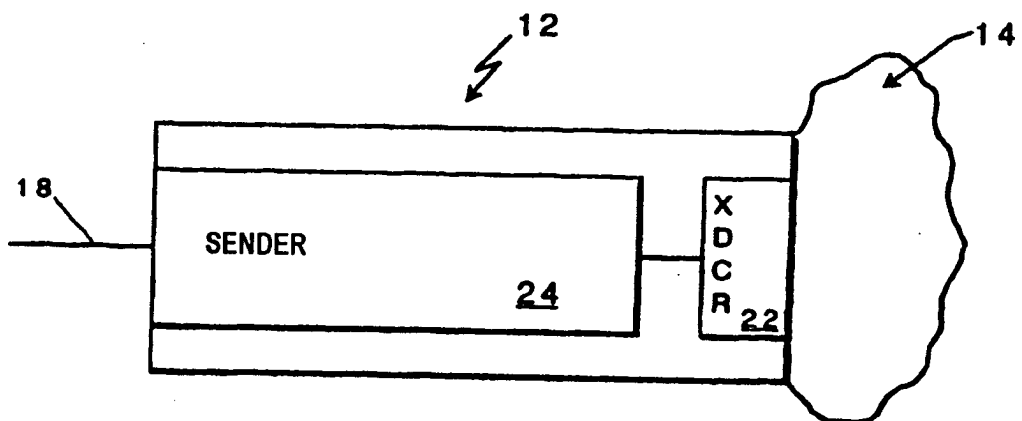


FIG. 2

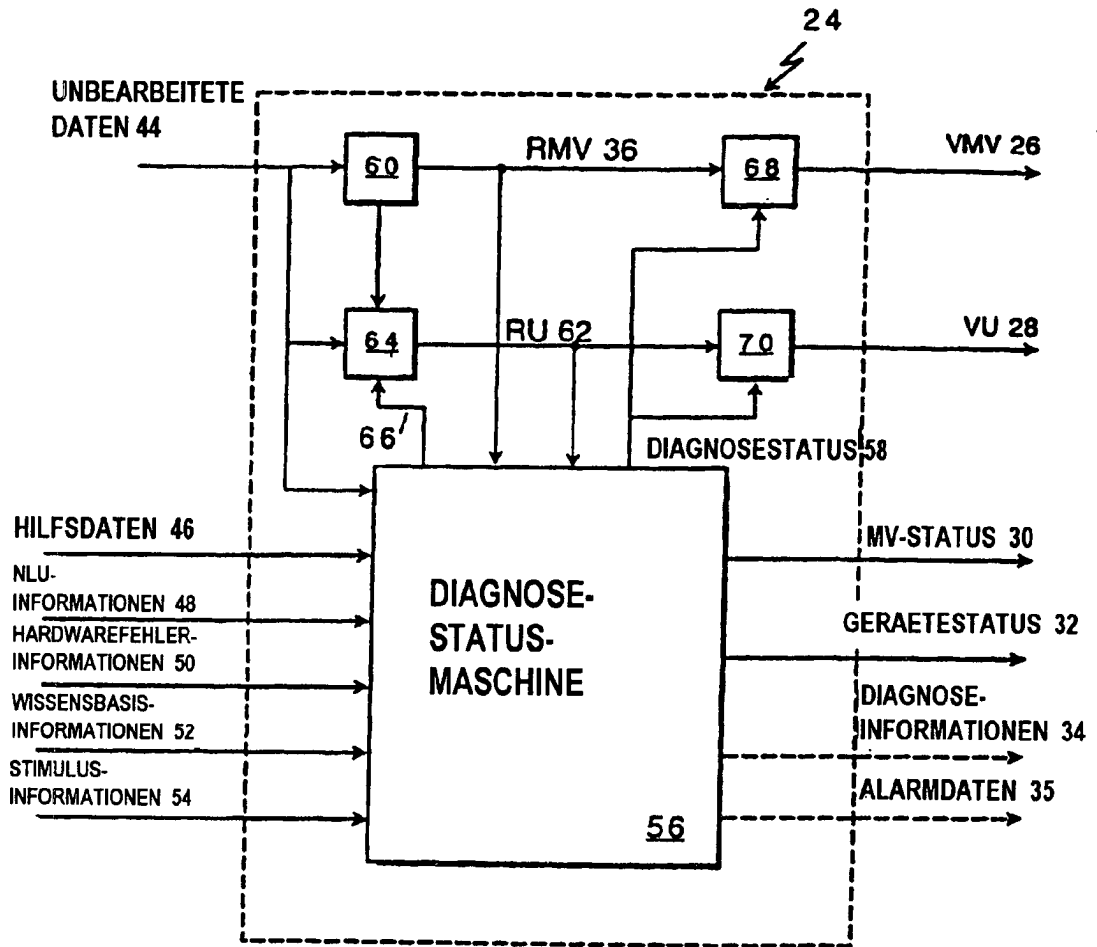
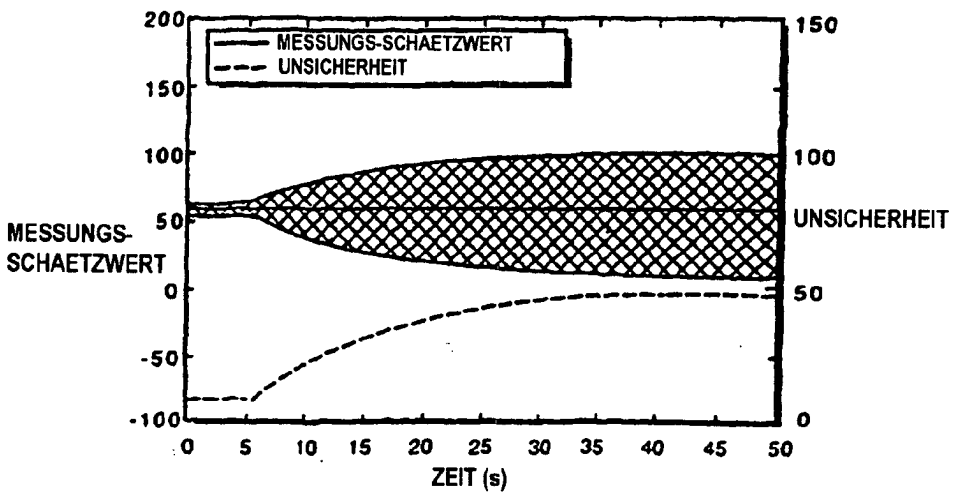
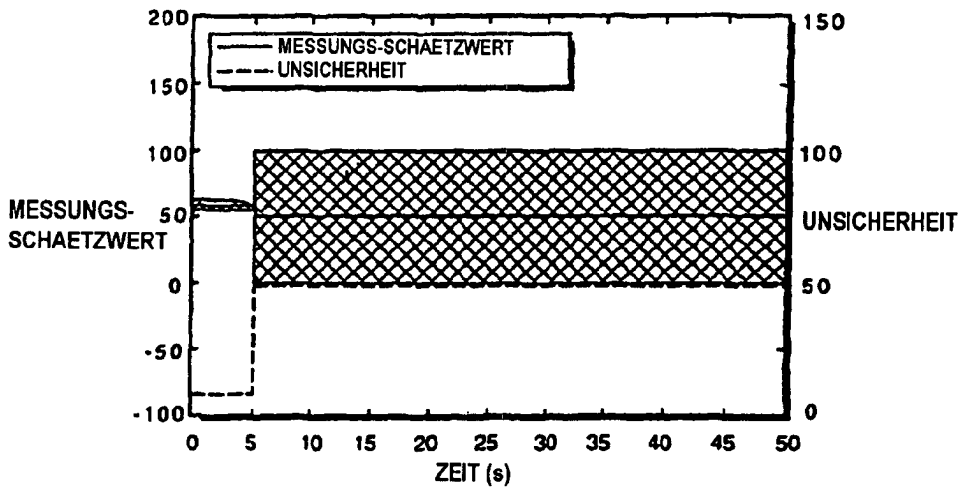
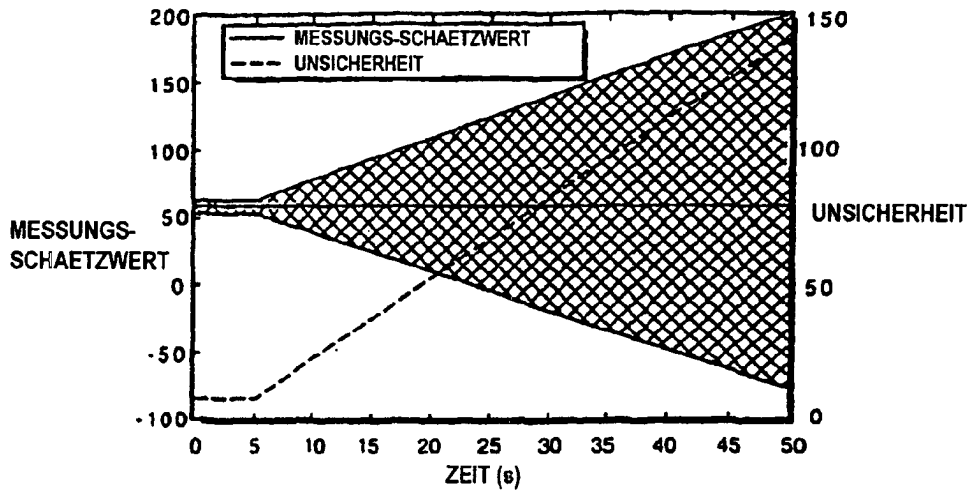


FIG. 3



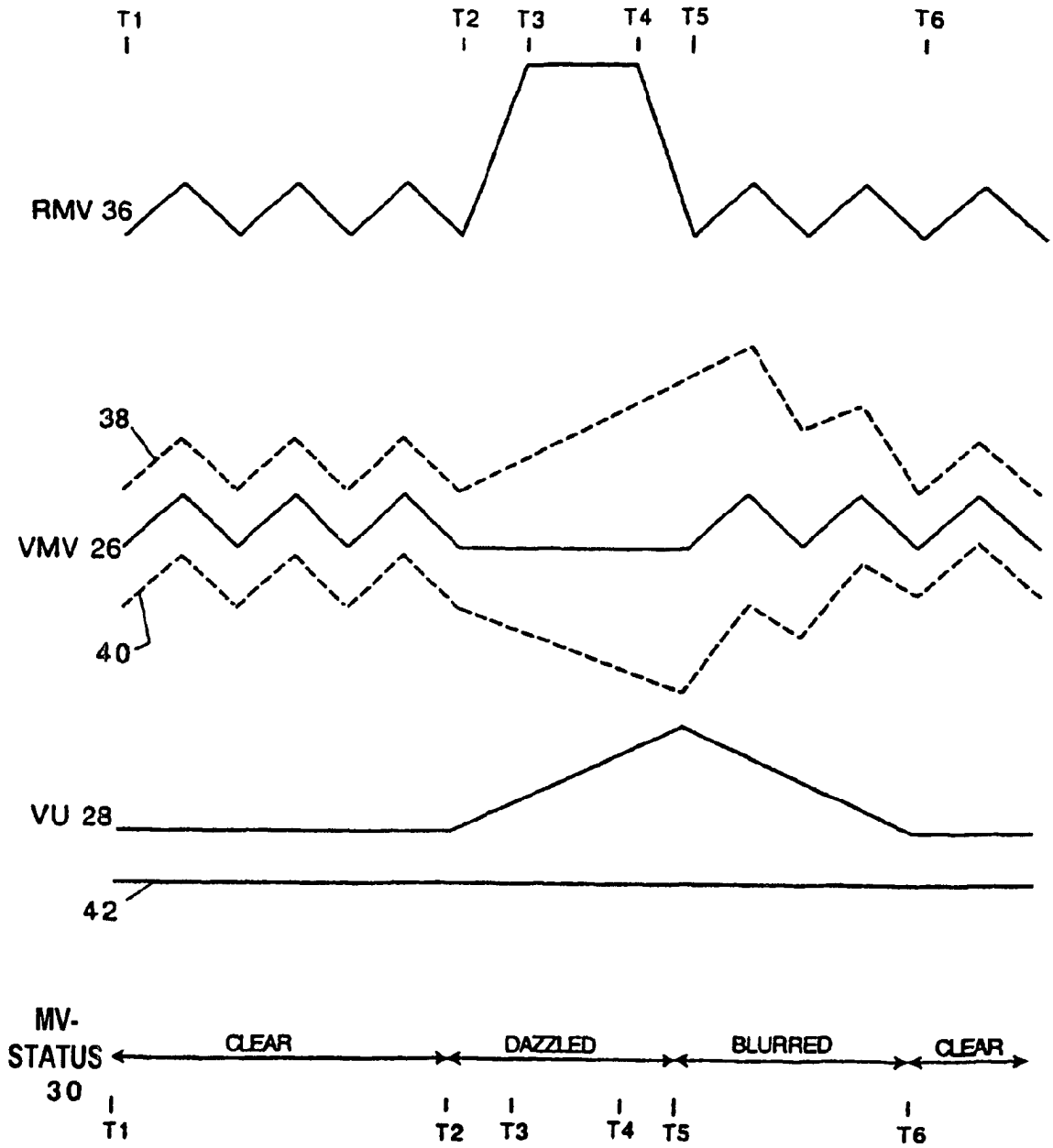


FIG. 5

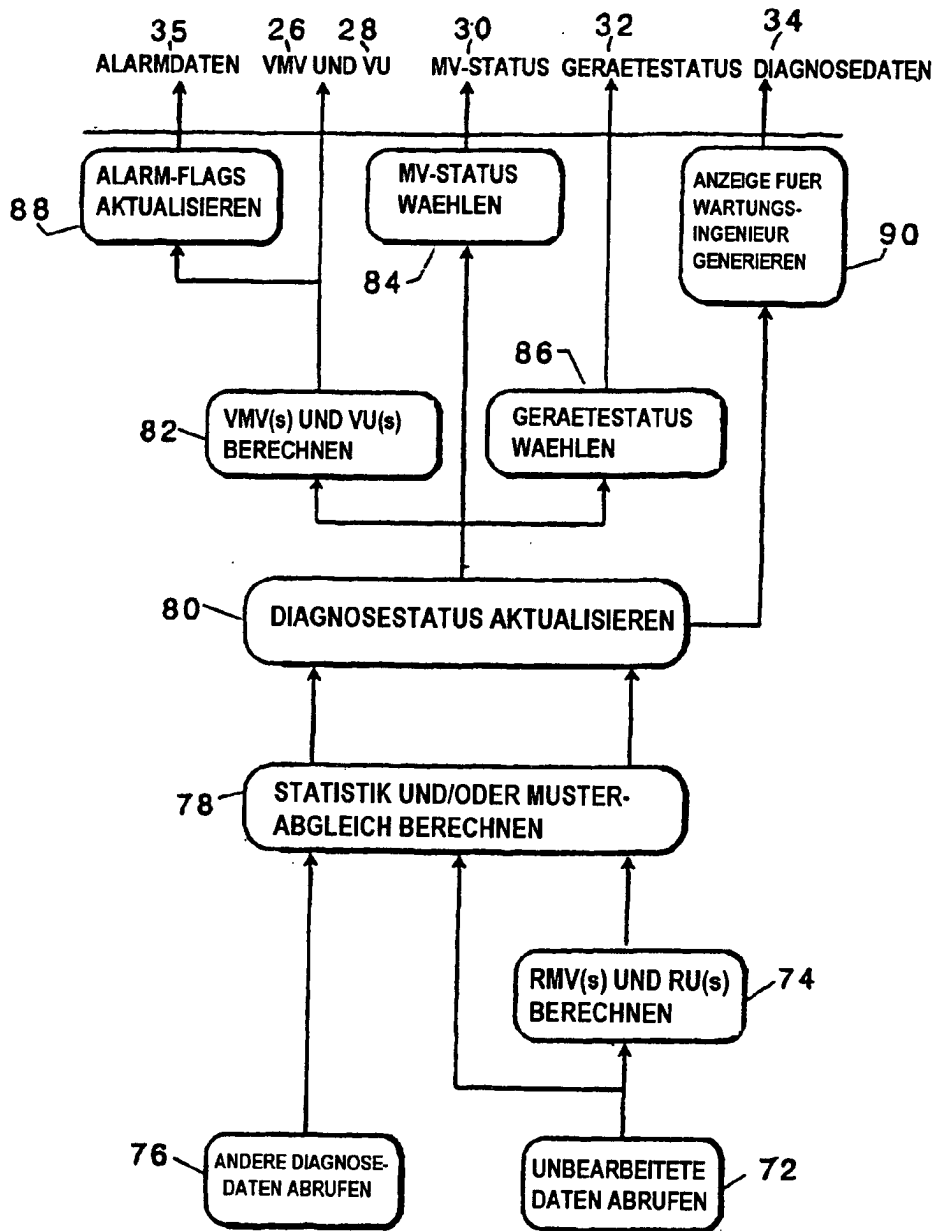


FIG. 6

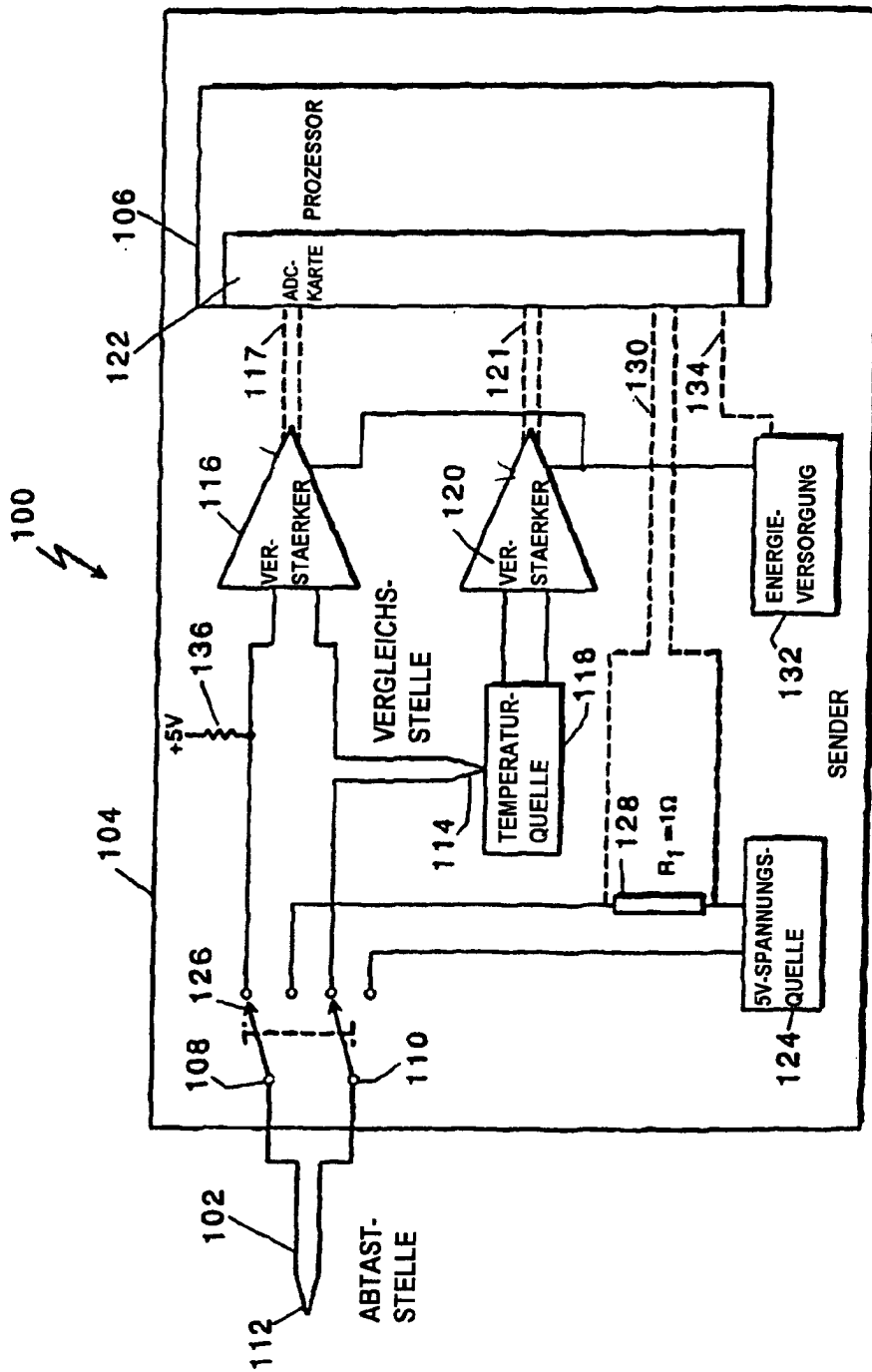


FIG. 7

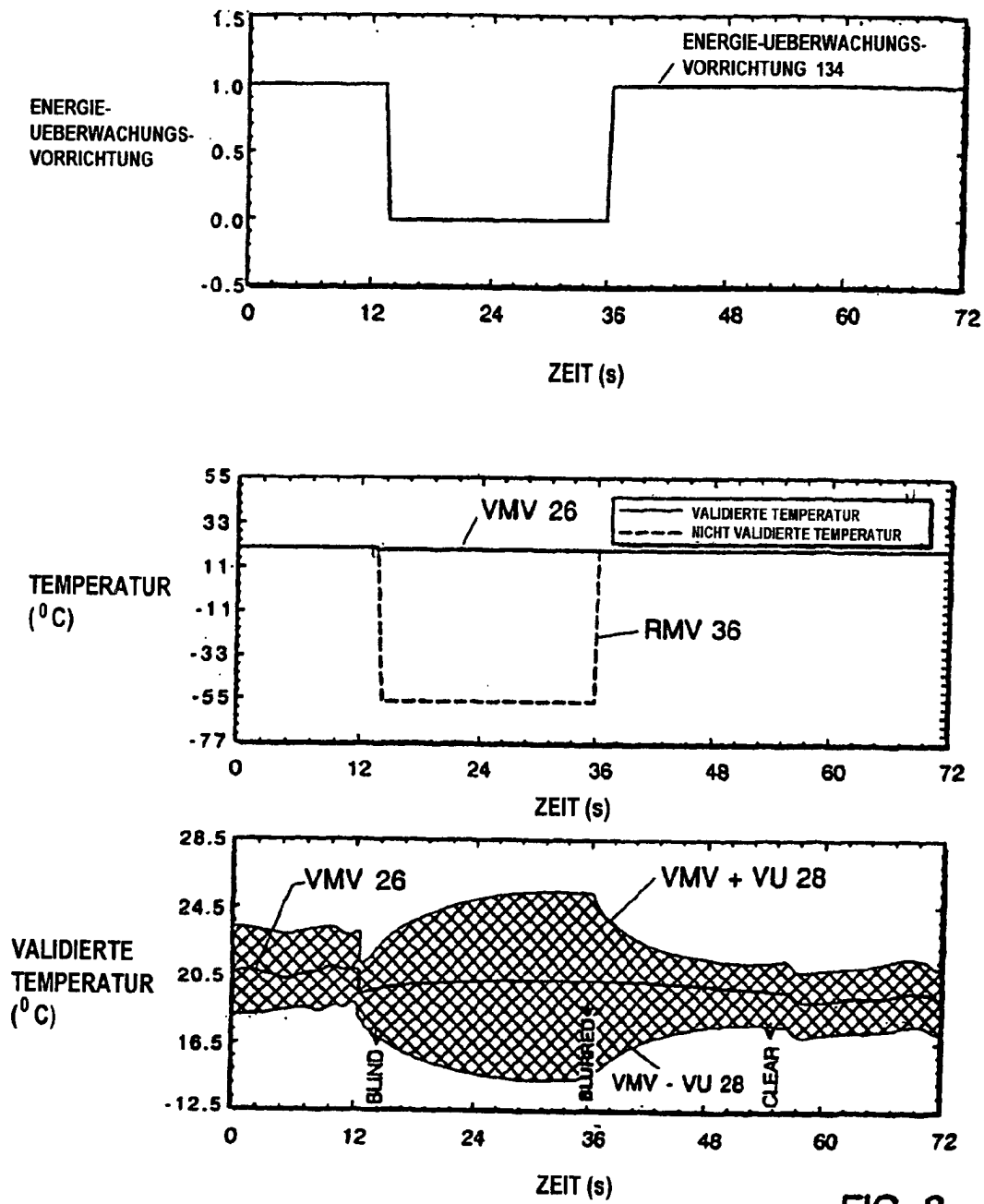


FIG. 8

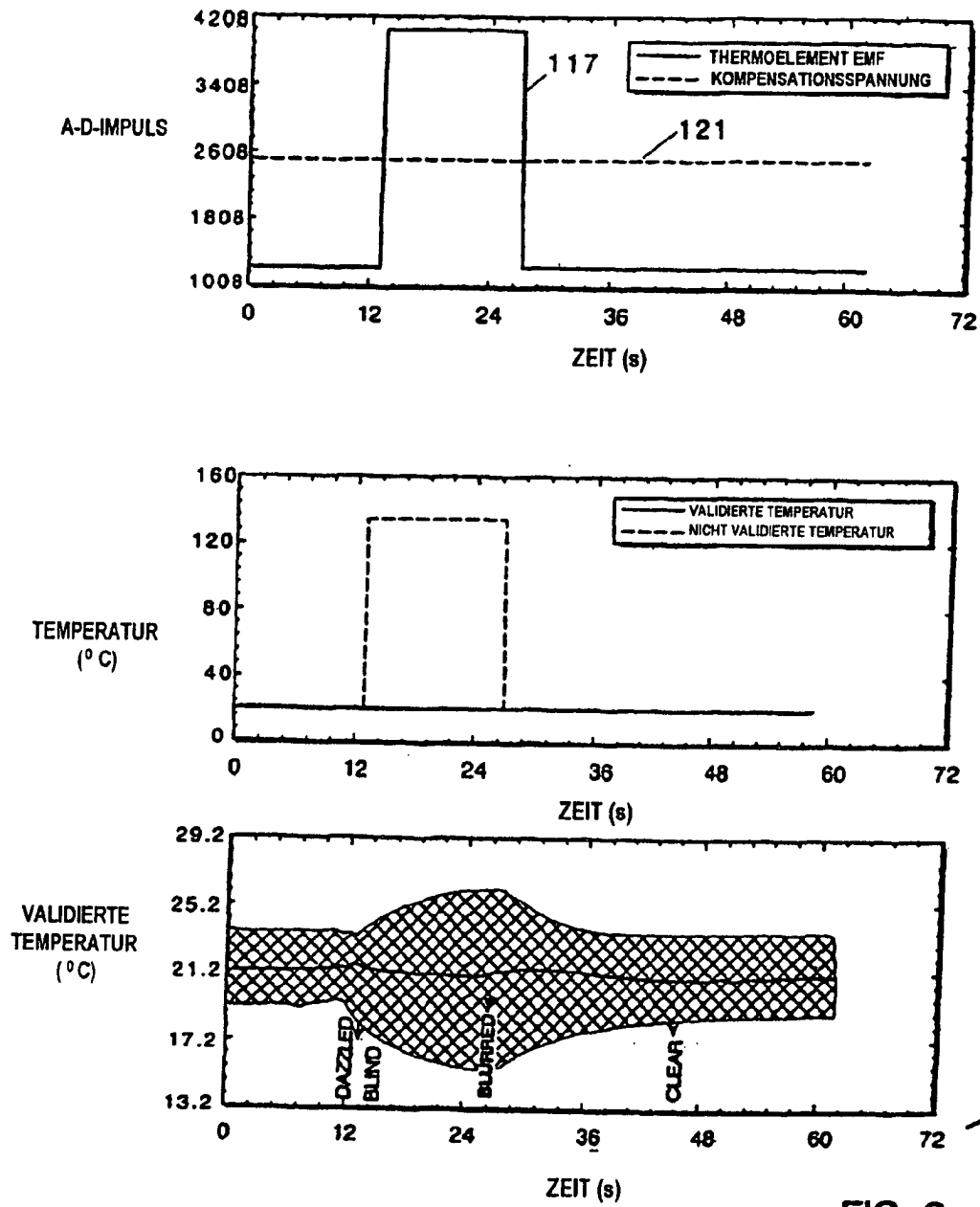


FIG. 9

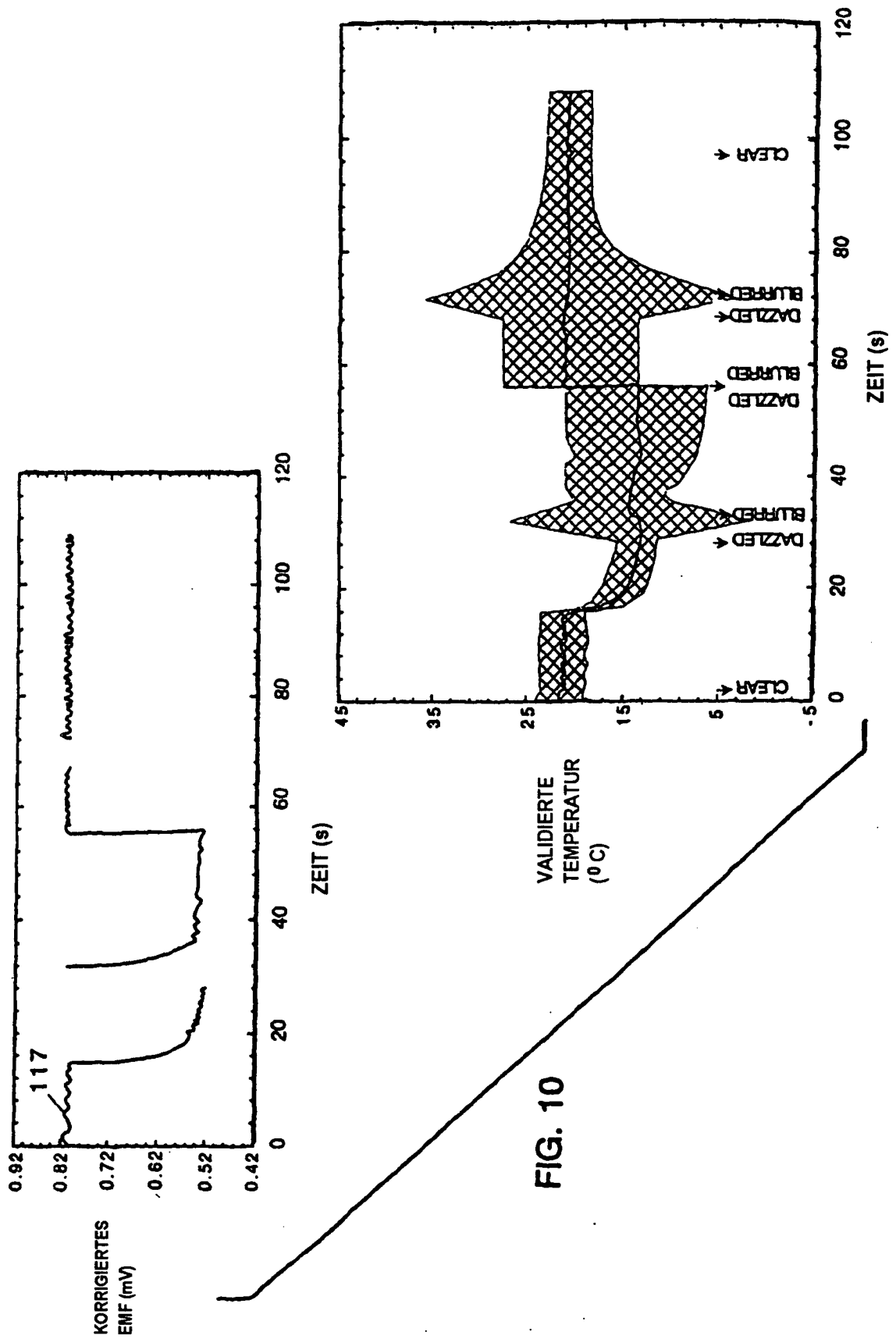


FIG. 10

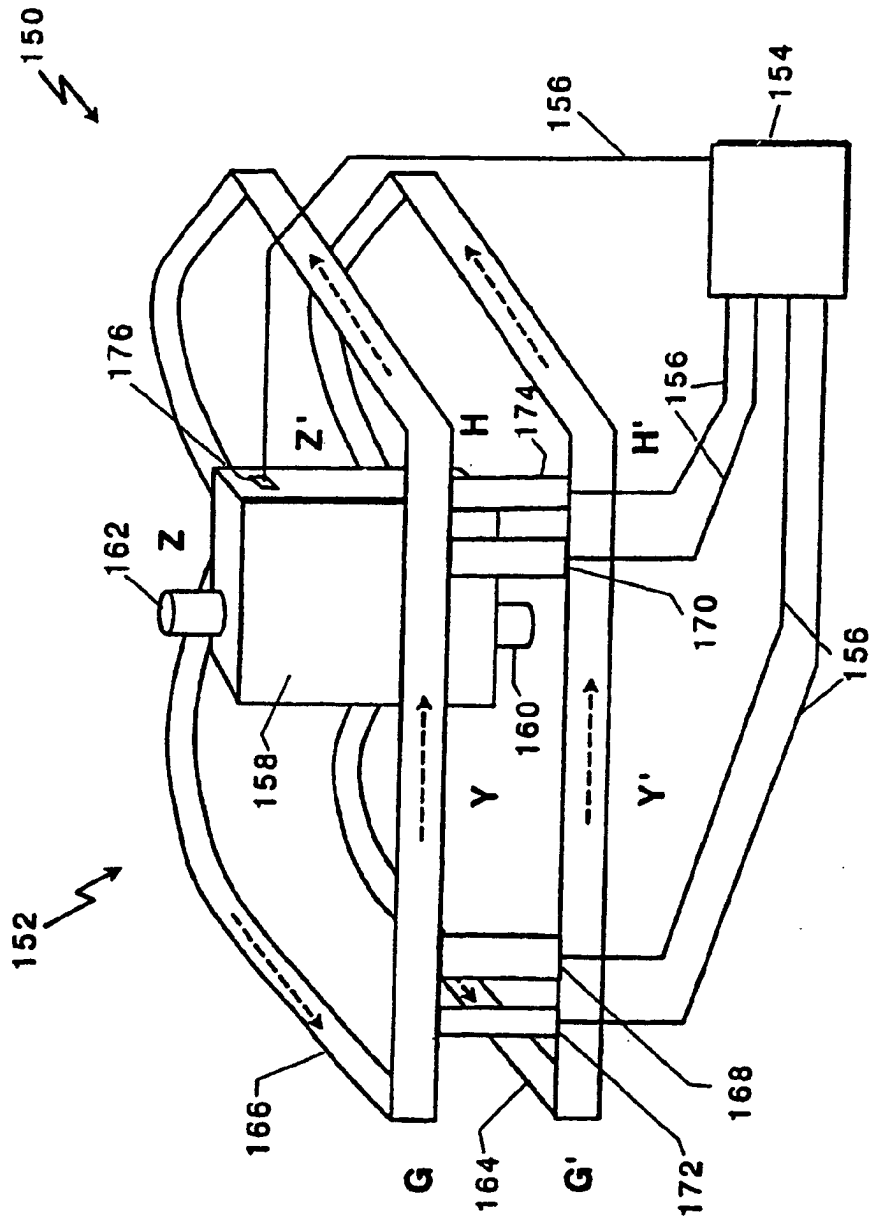


FIG. 11

<u>SCHRITT (SCHRITT FIG. 6)</u>	<u>AKTIVITAET</u>
200 (72)	UNBEARBEITETE DATEN ABRUFEN
202 (74)	RMV UND RU TEMPERATUR BERECHNEN
204 (74)	RMV UND RU DICHTER BERECHNEN
206 (74)	RMV UND RU MENGEN DURCHFLUSS BERECHNEN
208 (74)	ALLE EINGAENGE BERUECKSICHTIGEN
210 (78, 80, 84, 86)	DIAGNOSE STELLEN
212 (80)	ALLE EINGAENGE KORRIGIEREN
214 (82)	VMV UND VU TEMPERATUR BERECHNEN
216 (82)	VMV UND VU DICHTER BERECHNEN
218 (82)	VMV UND VU MENGEN DURCHFLUSS BERECHNEN

FIG. 12

Schritt	Aktivität
250	$R = (RK1 * tran_temp + RK2) * f_RTD + RK3 * tran_temp - RK4$ <p>(RK1-4 sind Kalibrierungskonstanten, tran_temp ist die Temperatur des Senders 154 und f_RTD ist die Frequenz des Signals, das aus dem RTD-Temperatursensor 176 kommt.)</p>
252	$d_R = \text{sqrt} ($ $\text{sqr} (tran_temp * f_RTD * d_RK1) +$ $\text{sqr} (f_RTD * d_RK2) +$ $\text{sqr} (tran_temp * d_RK3) +$ $\text{sqr} (d_RK4) +$ $\text{sqr} ((RK1 * f_RTD + RK3) *$ $d_tran_temp) +$ $\text{sqr} ((RK1 * tran_temp + RK2) *$ $d_f_RTD))$ <p>[d_x ist die Unsicherheit von x.]</p>
254	$\text{Temperatur} = \text{RTD_A} * R * R + \text{RTD_B} * R + \text{RTD_C}$
256	$d_temperature = (2,0 * \text{RTD_A} * R + \text{RTD_B}) * d_R$

FIG. 13

Schritt	Aktivität
300	RTD_input_state prüfen
302	wenn RTD_INPUT_OK
304	wenn RTD_resistance > 80,0
306	RTD_input_state = RTD_INPUT_LOST
308	wenn RTD_spike_state <> RTD_SPIKE_OFF
310	RTD_spike_state = RTD_SPIKE_OFF
312	wenn RTD_INPUT_LOST
314	wenn RTD_resistance < 100,0
316	MV-Status Temperatur = BLIND
318	Historische Temperatur ersetzen
320	MV-Status Dichte = BLURRED
322	MV-Status Mengendurchfluss = BLURRED
324	sonst
326	RTD_input_state = RTD_INPUT_RECOVER
328	RTD_input_count = 0
330	wenn RTD_INPUT_RECOVER
332	Frühere und gegenwärtige Temperatur zusammenlegen
334	wenn RTD_input_count = 90
336	RTD_input_state = RTD_INPUT_OK
338	sonst
340	MV-Status Temperatur = BLURRED
342	RTD_input_count inkrementieren

FIG. 14

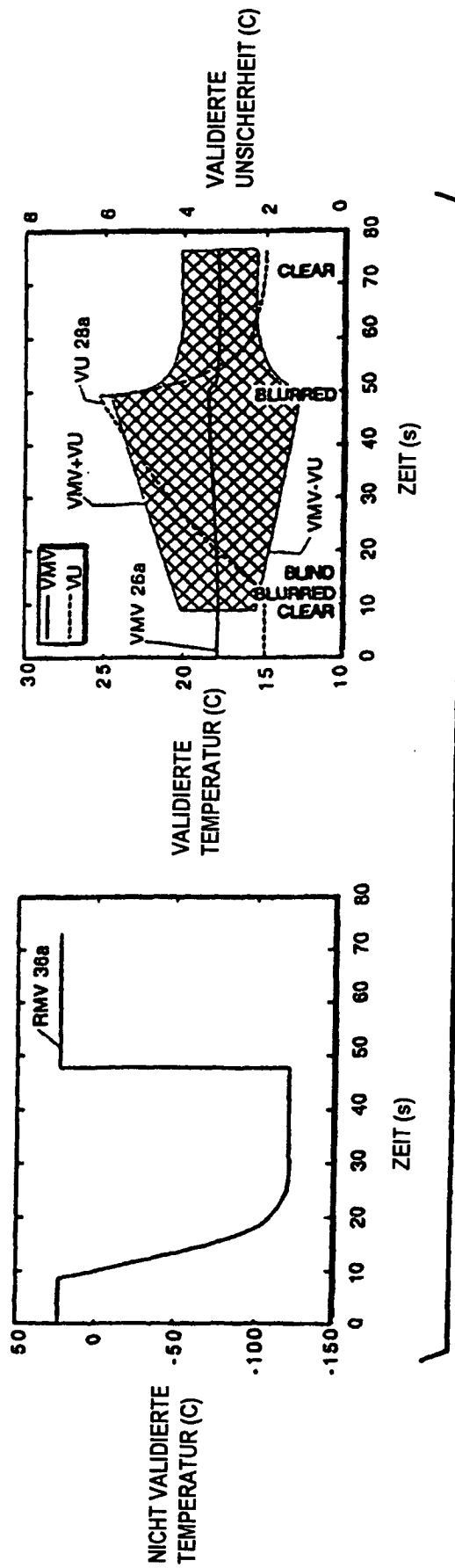


FIG. 15a

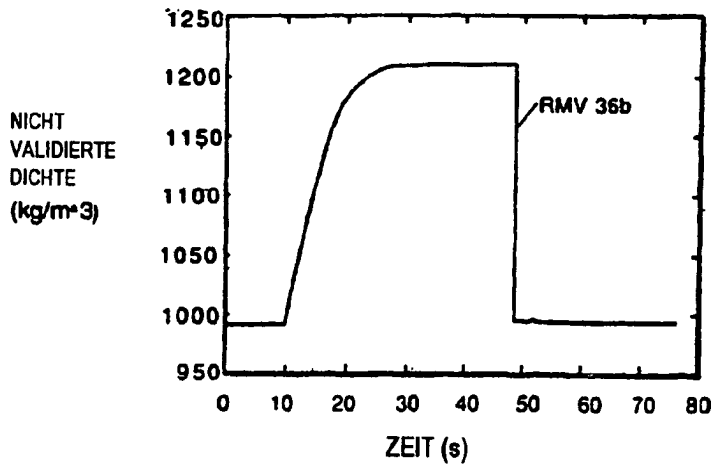
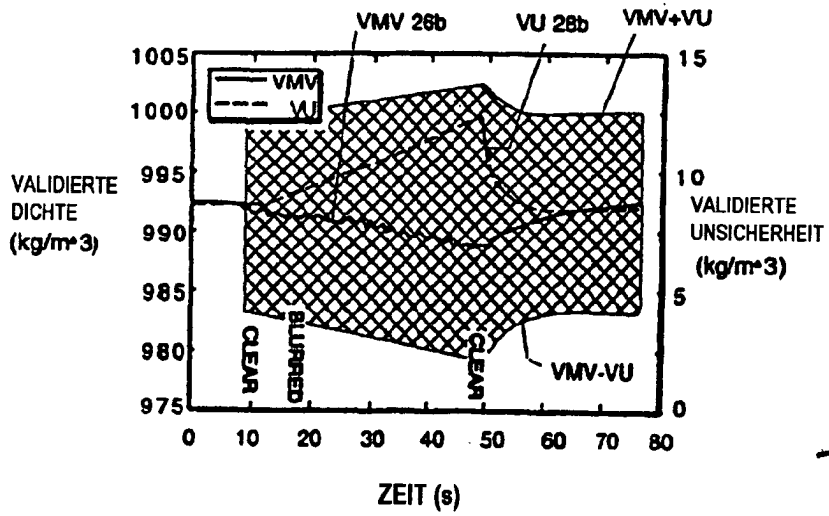


FIG. 15b



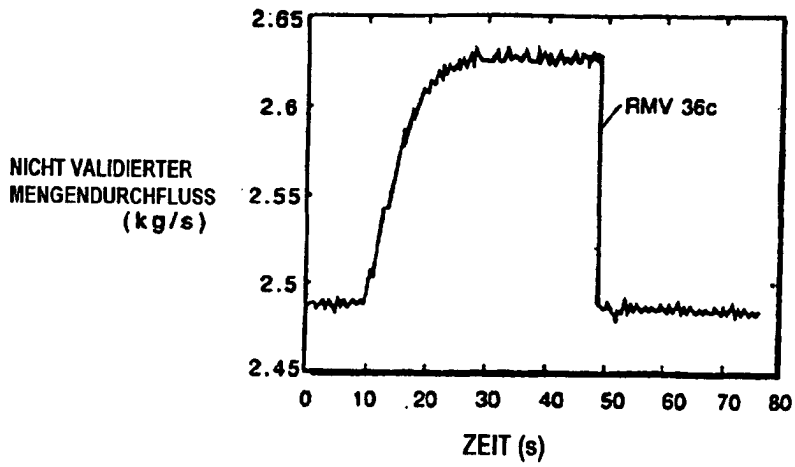
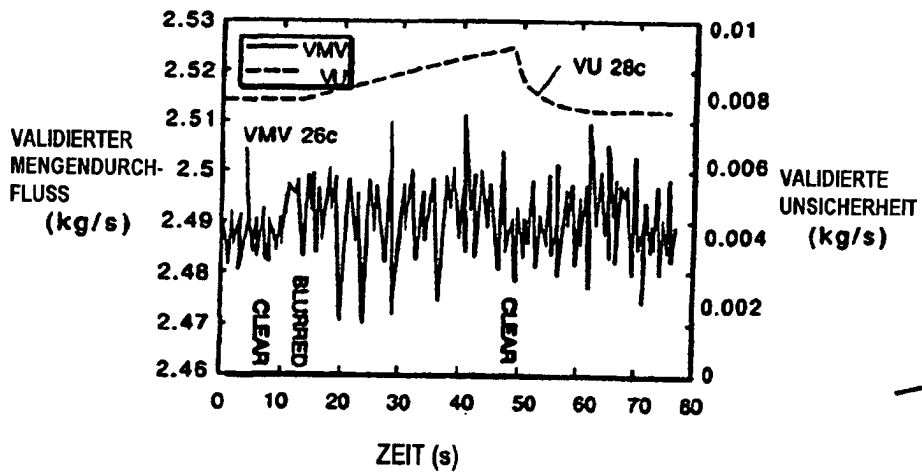


FIG. 15c



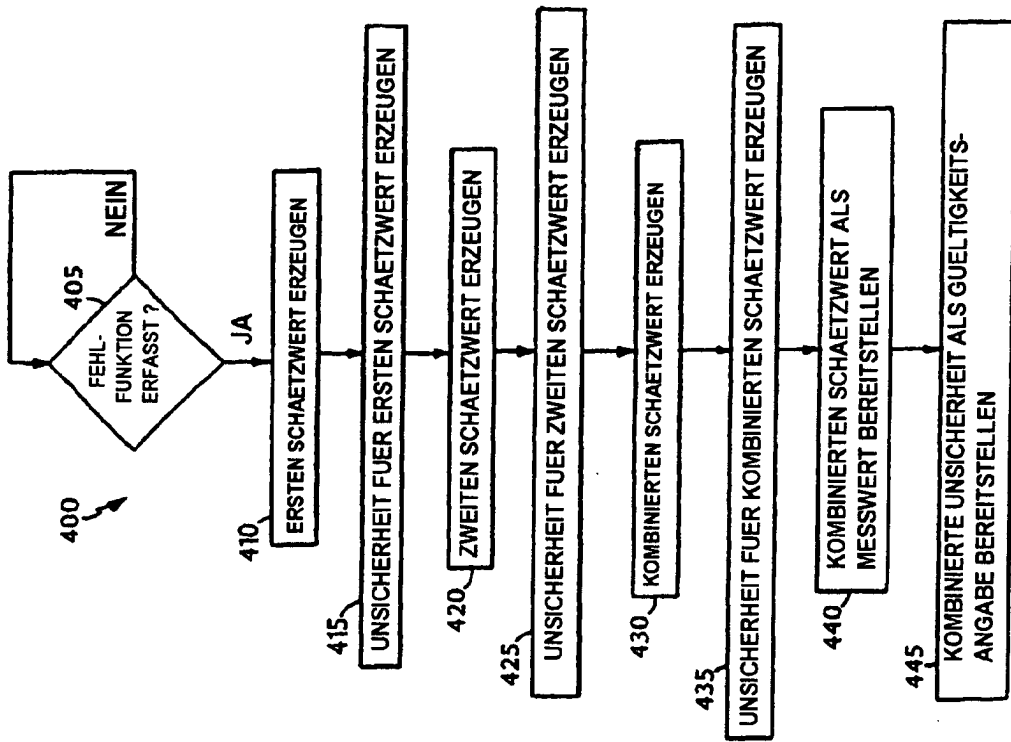


FIG. 18

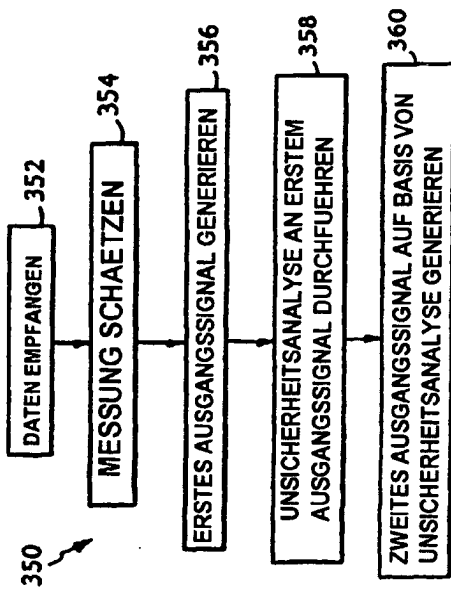


FIG. 16

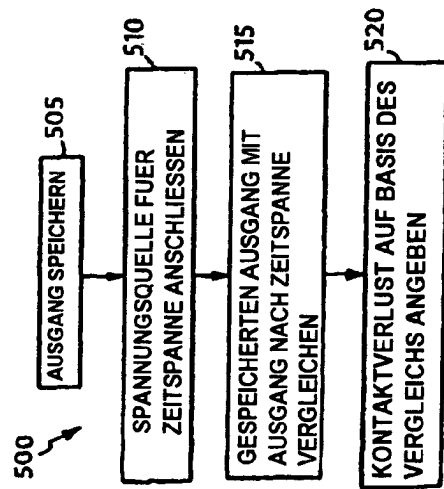


FIG. 17

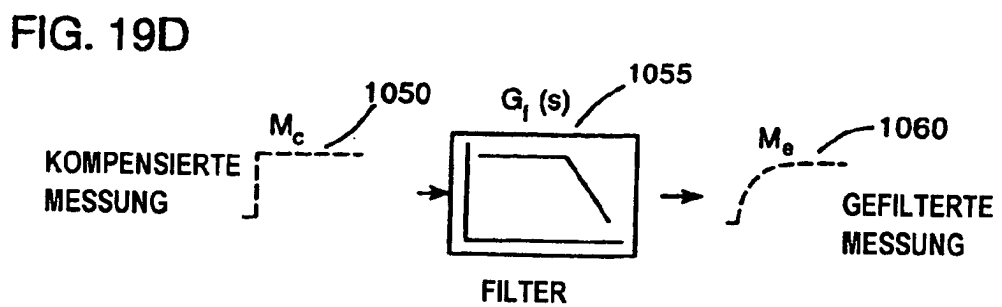
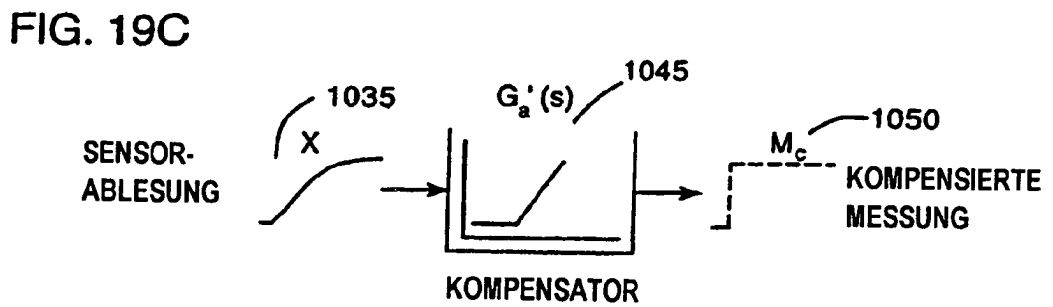
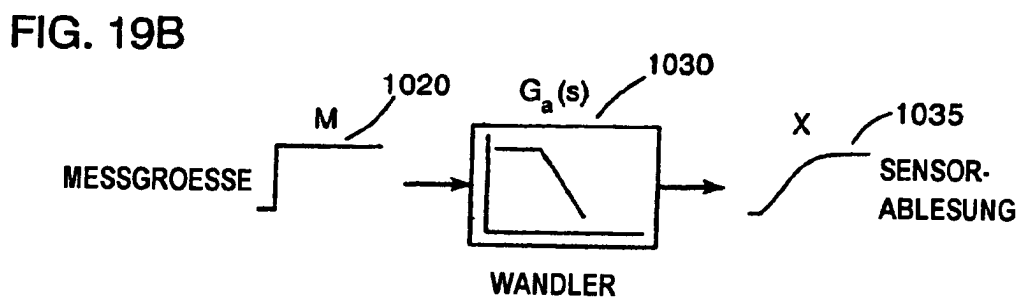
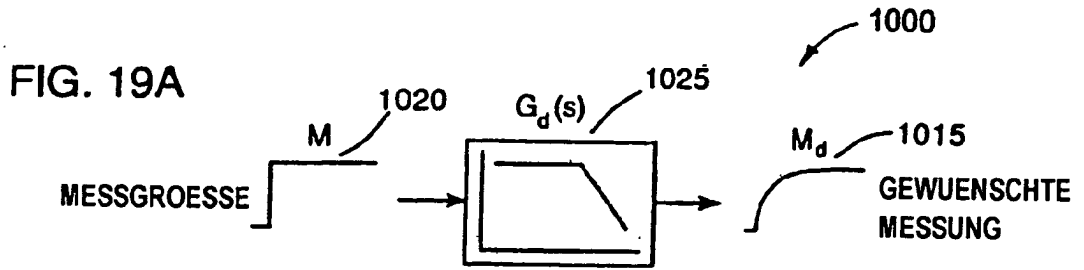


FIG. 20

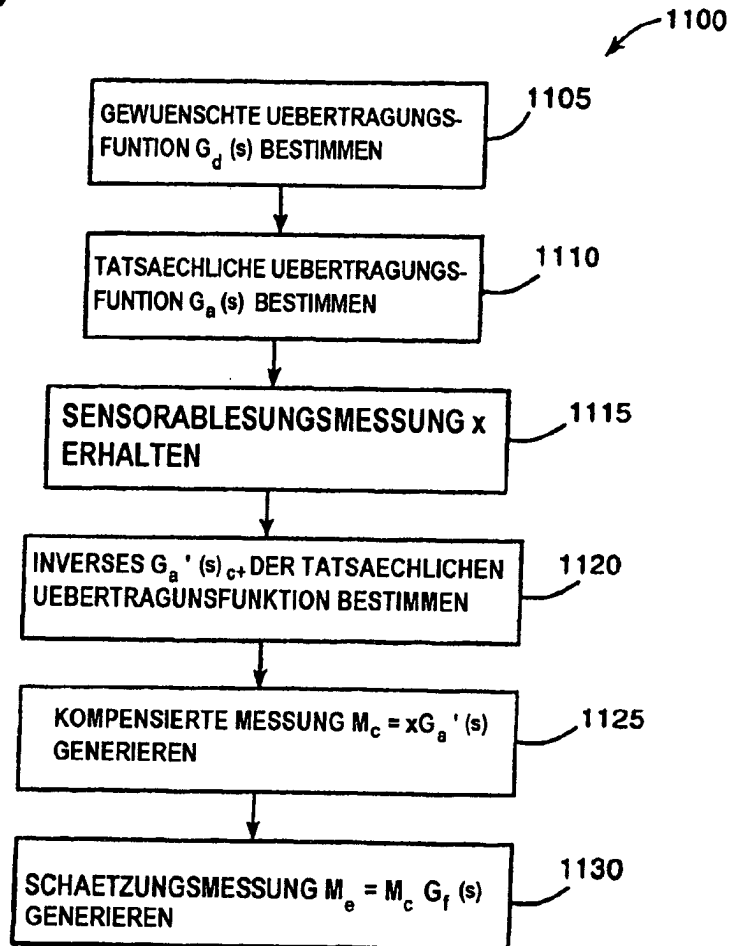


FIG. 21A

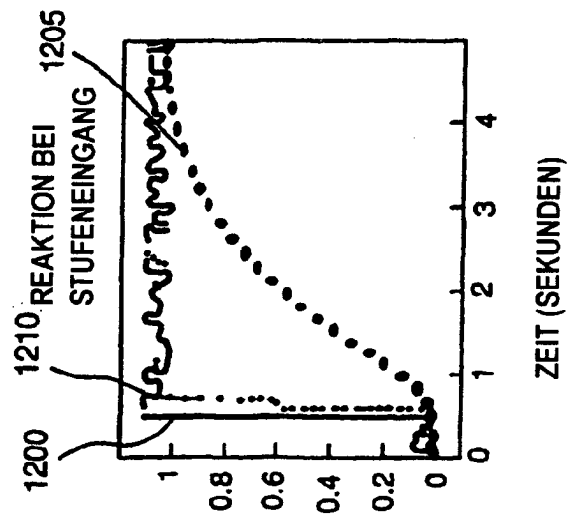


FIG. 21B

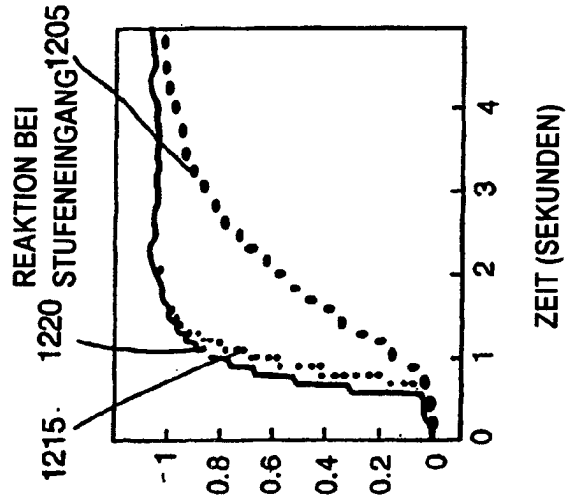


FIG. 22A

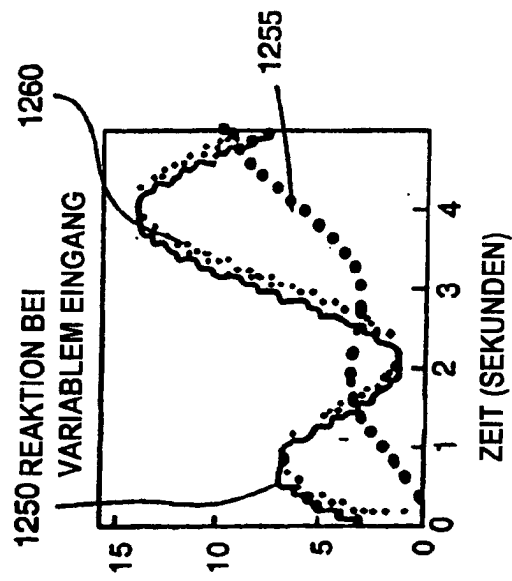
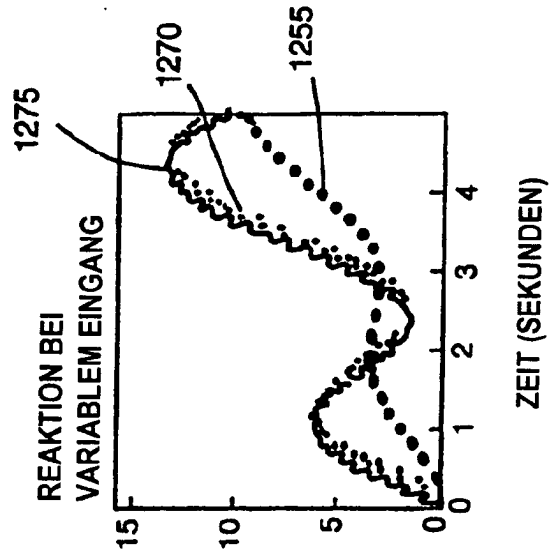


FIG. 22B



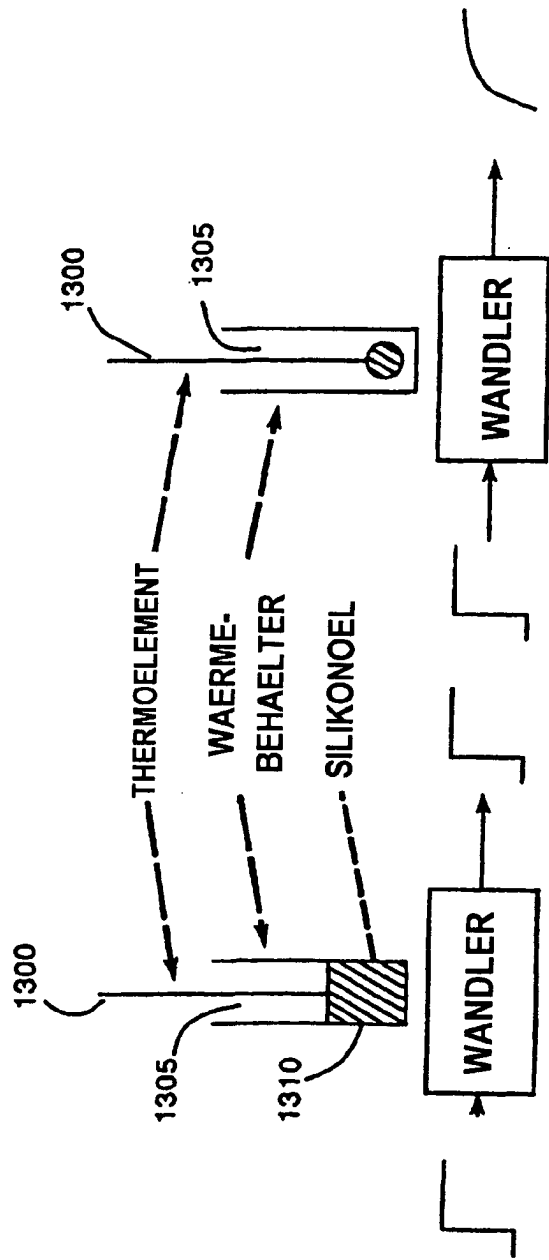


FIG. 23B

FIG. 23A

FIG. 24

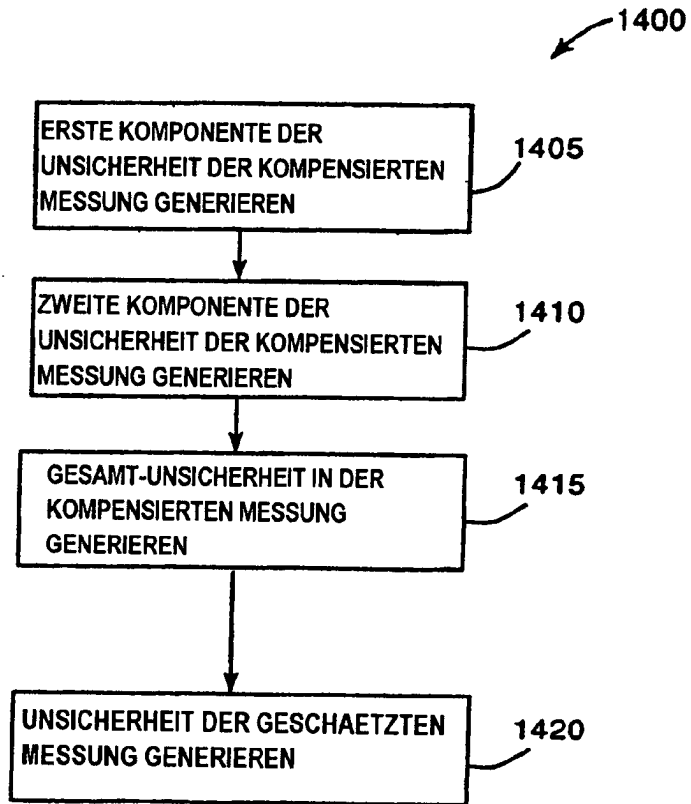


FIG. 25A

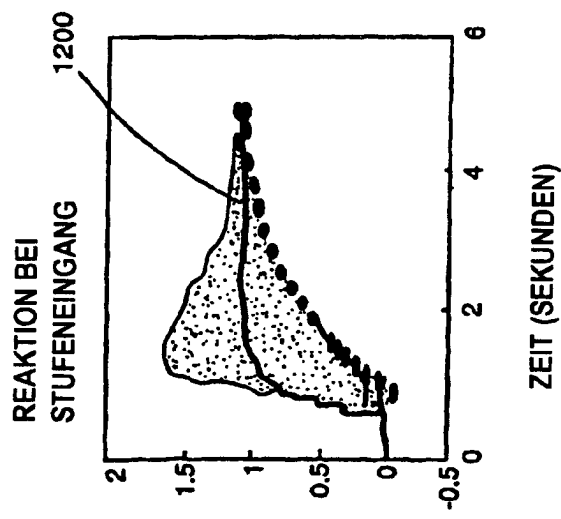


FIG. 25B

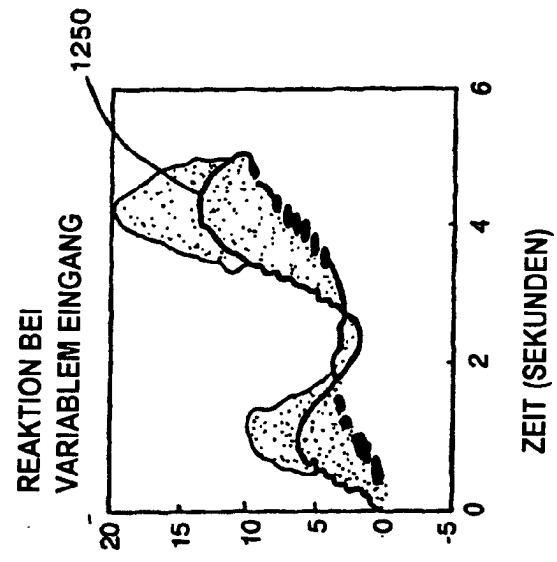


FIG. 26

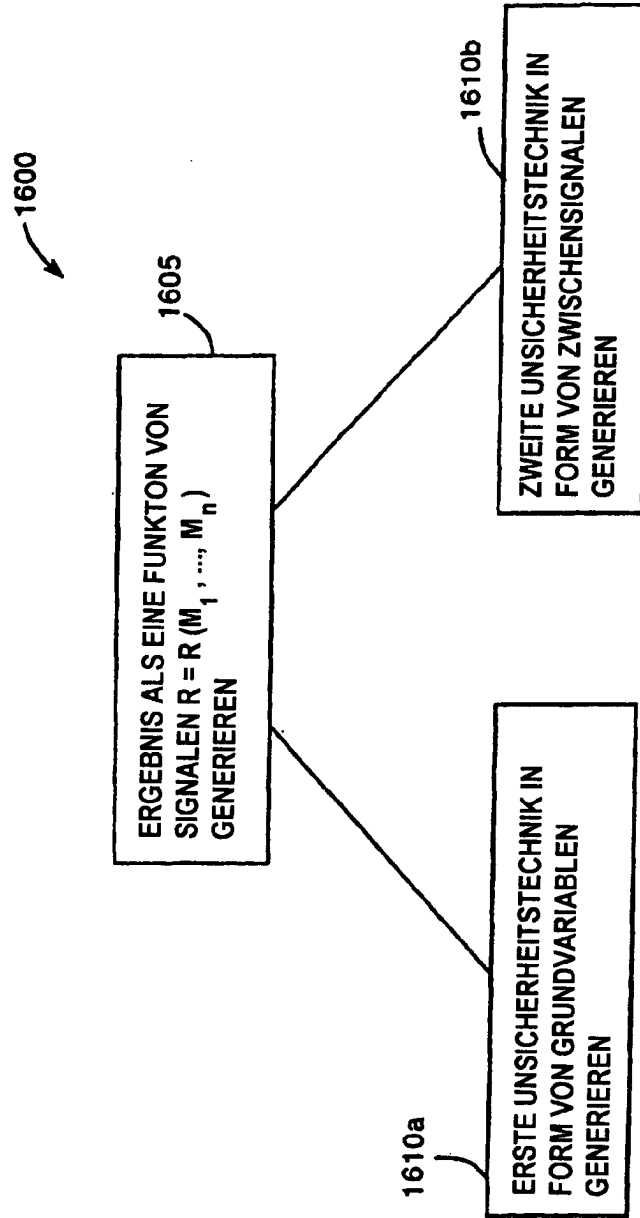


FIG. 27B

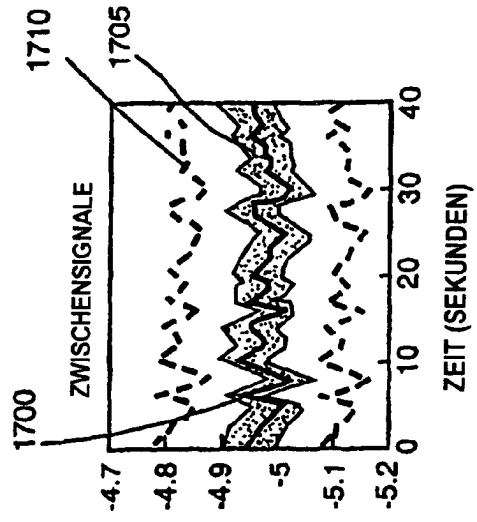


FIG. 27A

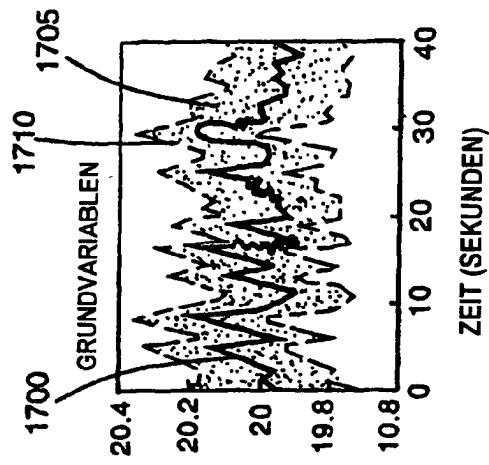


FIG. 28

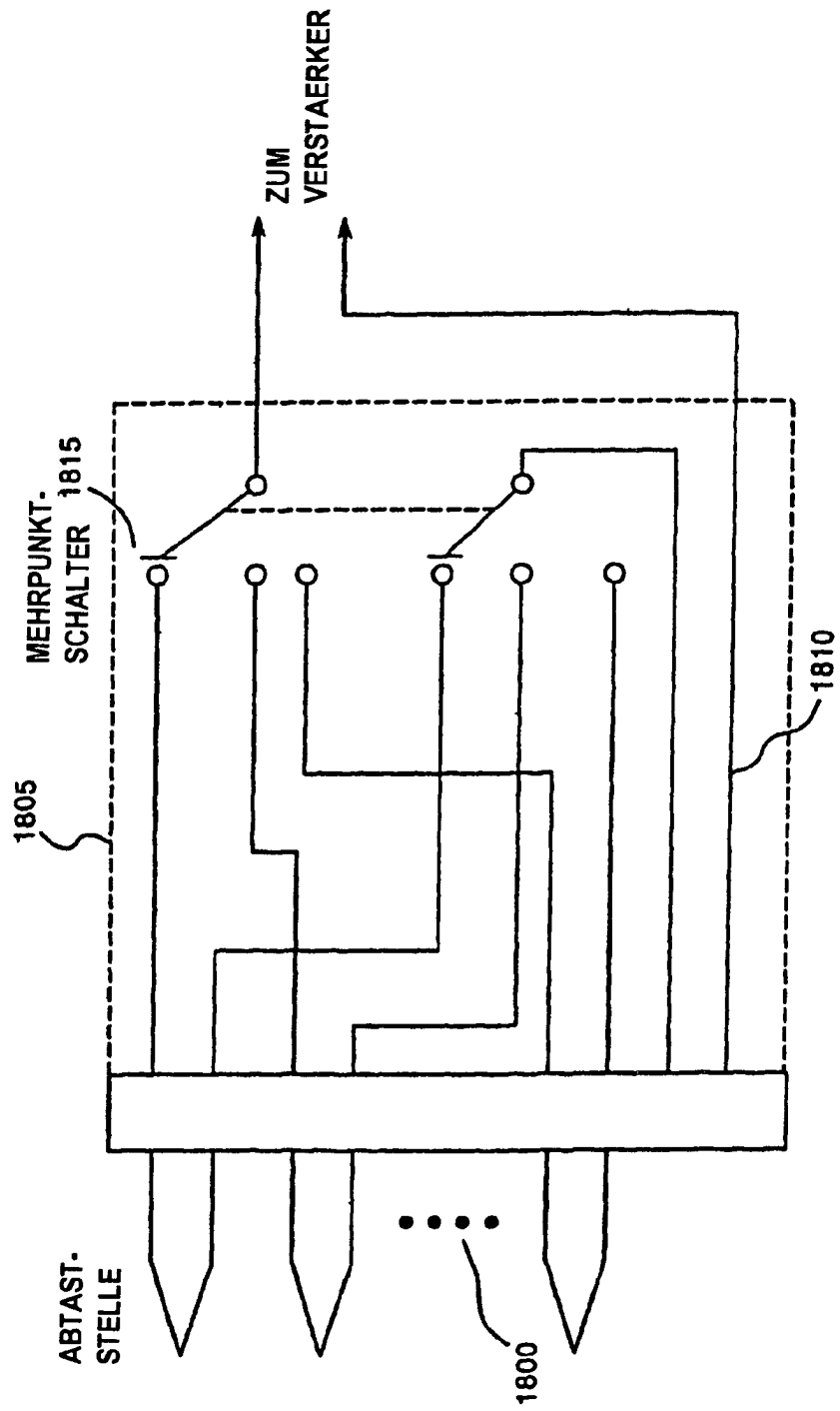


FIG. 29

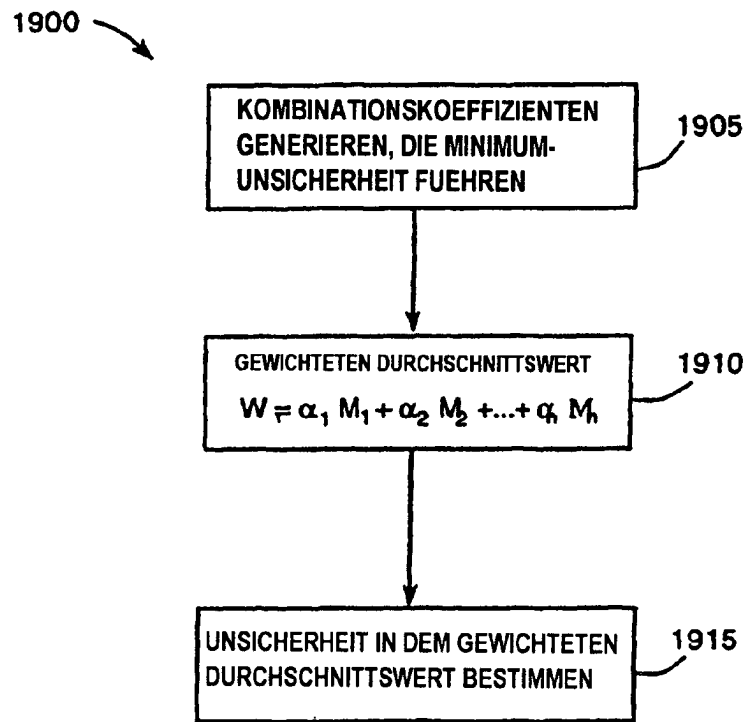


FIG. 30A

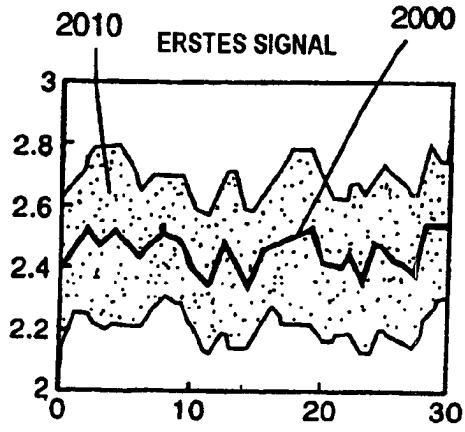


FIG. 30B

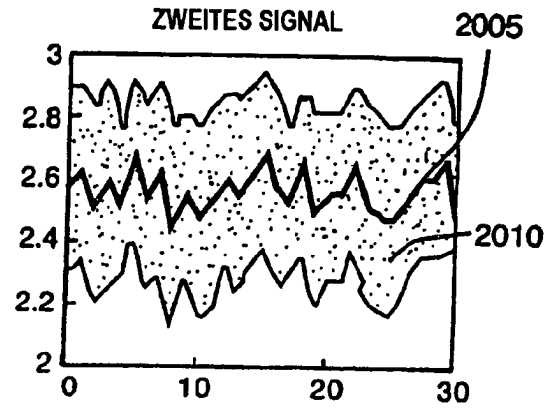


FIG. 30C

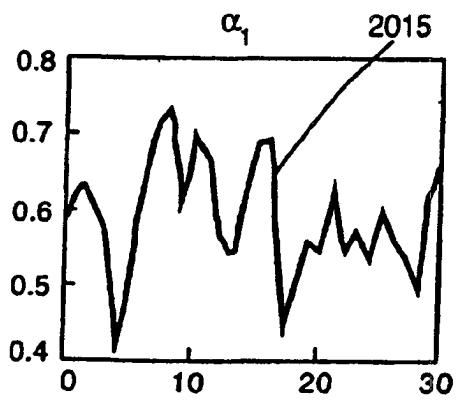


FIG. 30D

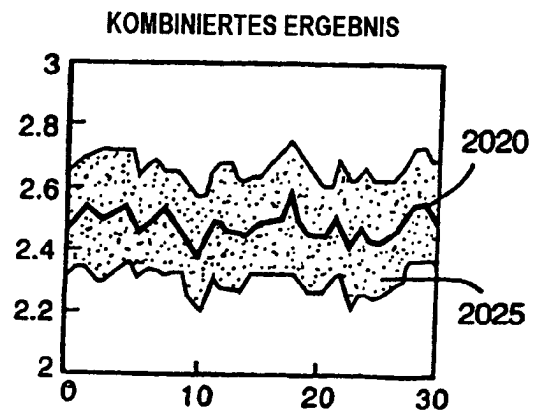


FIG. 31A

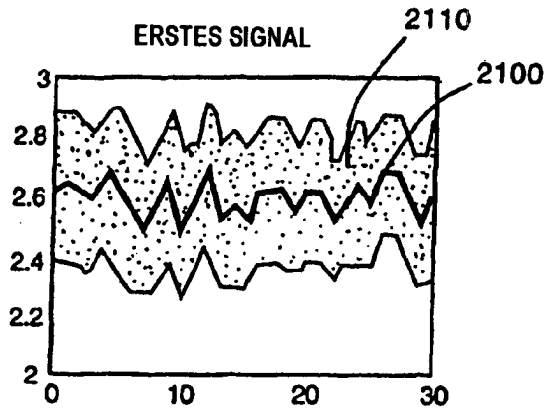


FIG. 31B

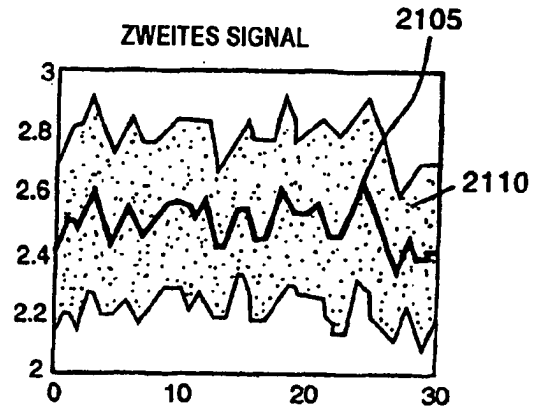


FIG. 31C

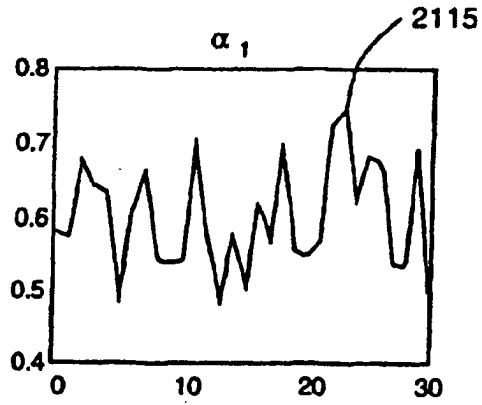


FIG. 31D

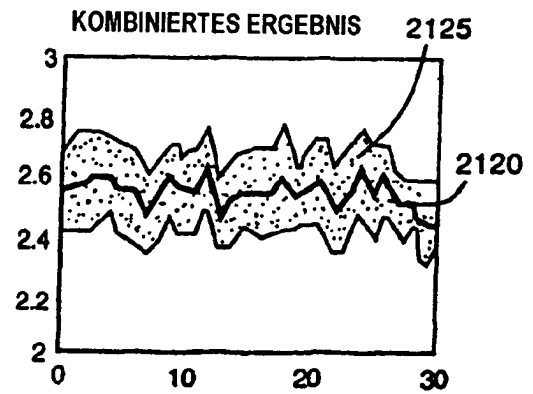


FIG. 32A

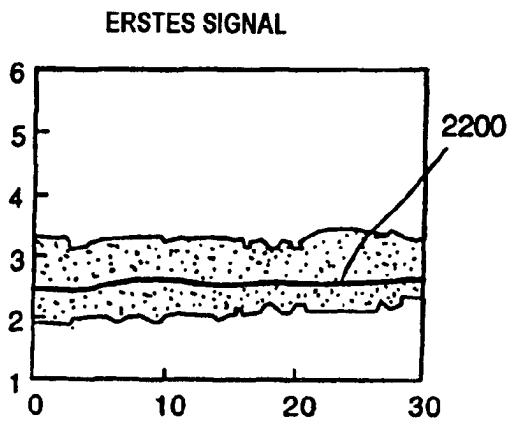


FIG. 32B

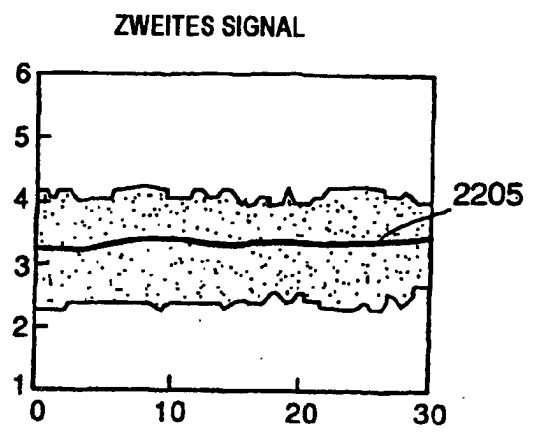


FIG. 32C

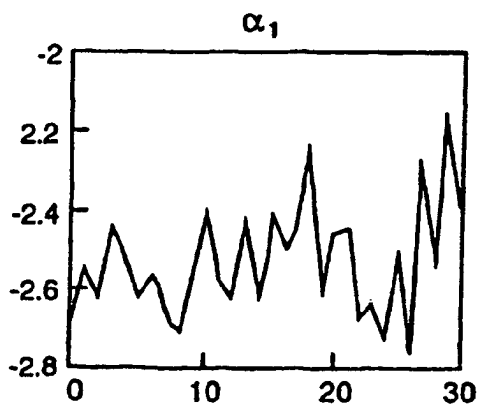


FIG. 32D

