

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
07. März 2024 (07.03.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2024/046534 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation: *G01D 5/48* (2006.01) *G01D 3/032* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2023/200168
- (22) Internationales Anmeldedatum: 16. August 2023 (16.08.2023)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2022 121 751.5  
29. August 2022 (29.08.2022) DE
- (71) Anmelder: **BALLUFF GMBH** [DE/DE]; Schurwaldstr. 9, 73765 Neuhausen (DE).
- (72) Erfinder: **ZOLTÁN, Kantor**; Ady Endre u. 17., 8248 Nemesvámos (HU). **ATTILA, Szabó**; Nefelejcs u. 12., 8043 Iszszakzentgyörgy (HU). **KÖNIG, Tobias**; Stuttgarter Straße 51, 73734 Esslingen (DE).
- (74) Anwalt: **JAKELSKI & ALTHOFF PATENTANWÄLTE PARTG MBB**; Mollenbachstraße 37, 71229 Leonberg (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETECTING SHOCK AND VIBRATION STATES IN A MAGNETOSTRICTIVE TRANSDUCER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUR ERKENNUNG VON SCHOCK- UND VIBRATIONSZUSTÄNDEN IN EINEM MAGNETOSTRIKTIVEN WANDLER

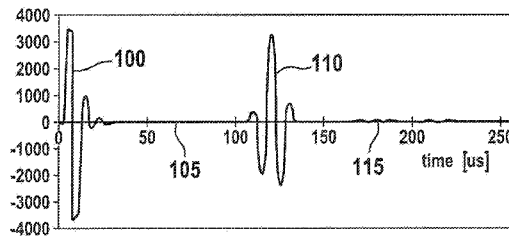


Fig. 1a

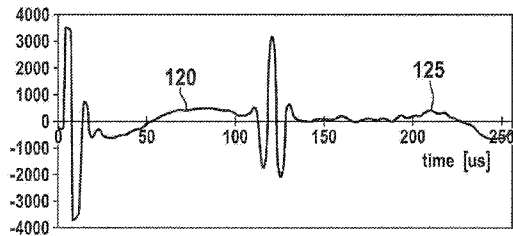


Fig. 1b

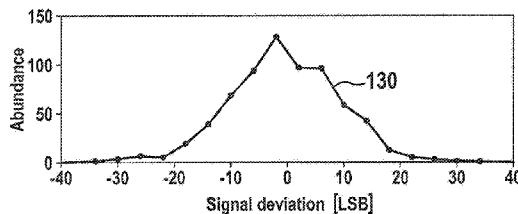


Fig. 1c

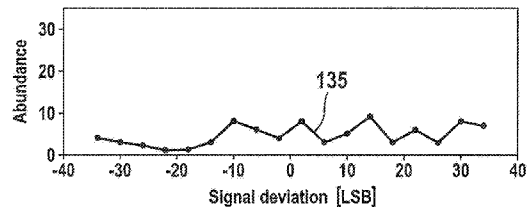


Fig. 1d

(57) Abstract: In the method described here and in the device for operating an electromagnetic, in particular magnetostrictive, sensor or transducer (500), in particular a position measuring system (500, 505), a mechanical shock and/or vibration state arising, for instance, during the operation of the sensor/transducer (500), or a vibration of the sensor/transducer (500) which has been caused as a result is in particular detected by evaluating signal variations (120, 125) in the region of a baseline or zero line (105) of a measurement signal provided by the sensor/transducer (500).

(57) Zusammenfassung: Bei dem hier beschriebenen Verfahren und der Einrichtung zum Betrieb eines elektromagnetischen, insbesondere magnetostruktiven, Sensors oder Wandlers (500) insbesondere eines Positionsmesssystems (500, 505), ist insbesondere vorge-



WO 2024/046534 A1

QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST,  
SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,  
VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

---

sehen, dass ein während des Betriebs des Sensors/Wandlers (500) etwa auftretender, mechanischer Schock- und/oder Vibrationszustand bzw. eine dadurch verursachte Vibration des Sensors/Wandlers (500) durch Auswertung von Signalschwankungen (120, 125) im Bereich einer Grund- bzw. Nulllinie (105) eines von dem Sensor/Wandler (500) bereitgestellten Messsignals erkannt wird.

## **Verfahren und Einrichtung zur Erkennung von Schock- und Vibrationszuständen in einem magnetostriktiven Wandler**

Die Erfindung betrifft generell den Betrieb eines hier betroffenen, magnetostriktiven bzw. magnetostriktiv wirkenden Sensors oder Wandlers und insbesondere ein Verfahren und eine Einrichtung zur Erkennung von Schock- und/oder Vibrationszuständen in einem magnetostriktiven Sensor bzw. Wandler, der beispielsweise bei einem magnetostriktiven Positions- oder Geschwindigkeitsmesssystem oder im Bereich der technischen Diagnostik Anwendung finden kann.

### Stand der Technik

Magnetostriktive Sensoren bzw. Wandler können in einem von der Anmelderin entwickelten und vertriebenen Positionsmesssystem eingesetzt werden, um die Position eines Objekts entlang einer sensitiven Achse einer entsprechenden Sensorvorrichtung zu ermitteln. Ein solches meist induktiv arbeitendes Positionsmesssystem (z.B. Produkt-Nr. BTL7-V50D-M0250-B-C003 der Balluff GmbH) ist als serielle Sensorvorrichtung mit einem in Leiterplatten-Technologie gefertigten planaren Spulensystem ausgebildet. Das Spulensystem weist eine Anregungsspule und mehrere strukturierte planare Empfangsspulen auf. Um die Objektposition bezüglich der Sensorvorrichtung zu bestimmen, wird die auf die Spulenebene wirkende senkrechte Komponente des Magnetfelds des Objekts

ausgenutzt und mittels eines magnetostriktiven Wandlers messtechnisch erfasst. Die Amplitude und die Phase der induzierten Spannung in jeder der Empfangsspulen ist dabei von der Objektposition abhängig. Der Messbereich reicht bis etwa 130 Millimeter (mm).

Aus DE 10 2018 129 942 A1 (Balluff GmbH) geht zudem hervor, bei einer solchen Sensorvorrichtung einen Vibrationssensor zur Charakterisierung der Betriebsbedingungen eines hier betroffenen Sensors bzw. Wandlers vorzusehen. Die Steuerung des Wandlers kann die dabei sich ergebenden Vibrationsinformationen nutzen, um die Zuverlässigkeit von erfassten Sensordaten festzustellen.

Ferner geht aus DE 10 2017 116 828 A1 (Sick AG) ein optoelektronischer Detektor zur Detektion von Objekten in einem Überwachungsbereich hervor, der ein Sensormodul mit einem Lichtsender zum Aussenden eines Sendelichtsignals in den Überwachungsbereich, einen Lichtempfänger zum Empfang eines Lichtsignals aus dem Überwachungsbereich und zum Erzeugen eines entsprechenden Empfangssignals umfasst. Zudem ist eine Sensorauswerteeinheit zur Auswertung des Empfangssignals und zur Erzeugung von Prozessdaten (sogenanntes „Objektfeststellungssignal“) und zur Erzeugung von Sensormoduldaten vorgesehen. Ein Prozessdatenkanal dient zur Ausgabe der Prozessdaten. Ferner ist ein Zustandsüberwachungsmodul vorgesehen, welches

- eine Zustandsauswerteeinheit zur Erzeugung von Zustandsdaten,
- eine erste, interne Schnittstelle zwischen dem Sensormodul und dem Zustandsüberwachungsmodul zum Übertragen der Sensormoduldaten an das Zustandsüberwachungsmodul, sowie
- einen Ringspeicher, der über eine zweite Schnittstelle von dem Zustandsüberwachungsmodul Daten, bestehend aus den Zustandsdaten und/oder Sensormoduldaten, zur temporären Speicherung erhält,

aufweist. Das Zustandsüberwachungsmodul ist ausgebildet, um in Abhängigkeit von den Zustandsdaten und/oder der Sensormoduldaten ein erstes Trigger-Signal über die zweite Schnittstelle auszugeben, wobei das erste Trigger-Signal ein

weiteres Überschreiben der Daten im Ringspeicher für eine definierte Zeitspanne verhindert, und wobei die Daten aus dem Ringspeicher über einen Zustandsdatenkanal ausgebar sind. Mittels des Zustandsüberwachungsmoduls wird anomales Verhalten des Sensordaten erfasst, um vor einer verminderten Zuverlässigkeit der Sensorik zu warnen.

#### Offenbarung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung zur genauen und zuverlässigen Erkennung von Schock- und/oder Vibrationszuständen in einem hier betroffenen magnetostriktiven bzw. magnetostriktiv wirkenden Wandler anzugeben, ohne dabei kostenmäßig und technisch aufwendige Modifikationen bzw. Änderungen eines bestehenden magnetostriktiven Wandlers und/oder einer genannten, einen solchen Wandler aufweisenden Sensorvorrichtung zu erfordern.

Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, durch einen mechanischen Schock bzw. eine daraus resultierende Vibration verursachte Schwankungen in einem erfassten, bevorzugt verstärkten Mess- bzw. Sensorsignal einer solchen Sensorvorrichtung zu erkennen.

Da bei solchen Sensorvorrichtungen auf Nullkreuzungen beruhende Zeitmessungen, wie an sich bekannt, relativ ungenau sind und bei einer Positionsmessung zu Messfehlern im Bereich von einigen Millimetern führen, wird bei dem vorgeschlagenen Verfahren insbesondere das Grundrauschen bzw. eine entsprechende Grund-/Nulllinie (d.h. „Baseline“) des Sensorsignals überwacht, um genannte Störungen sicher zu erkennen. Dabei wird das Sensorsignal bevorzugt digitalisiert, so dass diese Überwachung zu bestehenden Sensorvorrichtungen nachträglich in Form eines Steuerprogramms bzw. einer Steuerungssoftware hinzugefügt werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt dabei insbesondere die Erkenntnis zugrunde, dass der aus einem von einem hier betroffenen Messaufnehmer gelieferten Messsignal berechnete, digitalisierte Signalverlauf bzw. Datenpunkte einer

entsprechenden Signalwellenform bei einer hier betroffenen Sensorvorrichtung im mechanisch ungestörten Fall im Bereich der Grundlinie einen charakteristischen Verlauf aufweist. Dabei häufen sich Messdaten, d.h. Datenpunkte einer genannten Signalwellenform, nahe der Nulllinie an, sofern keine genannte Störung durch Schock und/oder Vibration vorliegt. Daher können in einem null-zentrierten Fenster vorliegende Datenpunkte statistisch ausgewertet und entsprechend überwacht werden.

Es ist hierbei erwähnenswert, dass bei dem hierin beschriebenen Verfahren und der Einrichtung ein oder mehrere ein hier betroffenes Zielsignal (110) verursachende Ziele vorhanden sein können. Die entsprechenden Zielsignale (110) können daher, je nach der(den) Position(en) der dabei zugrunde liegenden Ziele entlang des Wellenleiters, z.B. Zielmagneten, sozusagen an beliebiger Position erscheinen.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren können Messdaten, welche von dem genannten charakteristischen Verlauf einer ungestörten Signalwellenform abweichen, daher als „unzuverlässig“ gekennzeichnet werden, bei der Auswertung der Messdaten übersprungen werden oder bei der Weiterverarbeitung mit einer geringeren Gewichtung genommen werden oder sogar gelöscht werden. Ein solcher Ausschluss bzw. eine solche Unterdrückung bzw. eine solche Löschung können dabei davon abhängig gemacht werden, ob die Abweichung von Indikatorgrößen einer aktuell gemessenen Signalwellenform von entsprechenden Indikatorgrößen einer vorab gespeicherten, ungestörten Signalwellenform ein empirisch vorgebbares Maß oder, im Falle einer skalaren Indikatorgröße, einen empirisch vorgebbaren Schwellenwert übersteigt.

Es ist hierbei anzumerken, dass die Auswertung der Messdaten nicht notwendiger Weise übersprungen werden muss, wenn ein genanntes Schockereignis erkannt wird. So kann ein Schock-/Vibrationszustand erst dann erkannt werden, wenn bereits der gesamte Signalverlauf vorliegt und es demnach bereits zu spät wäre, um mit der Auswertung des erfassten Signals bzw. Signalverlaufs zur Berechnung der Position des Zielmagneten zu beginnen. Daher muss eine entsprechende, unter einer Schockbedingung erfasste Wellenform auch nicht gelöscht oder ganz von der Positionsbewertung ausgeschlossen werden.

Es ist hierbei ferner anzumerken, dass ein Überspringen unzuverlässiger Messdaten beim Erzeugen von Positionsdaten mittels einer hier betroffenen Sensorvorrichtung oder eines entsprechenden Auswerte-/Steuerungssystems implementiert werden kann. Die vorliegende Erfindung betrifft jedoch im Wesentlichen die Erzeugung genannter Indikatorwerte zur Erkennung von Schock-/Vibrationszuständen sowie deren Verwendung im Betrieb einer hier betroffenen Sensorvorrichtung oder eines entsprechenden Positionsmesssystems.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betreiben eines elektromagnetischen, insbesondere magnetostriktiven, Sensors oder Wandlers insbesondere eines Positionsmesssystems, ist insbesondere vorgesehen, dass ein während des Betriebs des Sensors/Wandlers etwa auftretender, mechanischer Schock- und/oder Vibrationszustand bzw. eine dadurch verursachte Vibration des Sensors/Wandlers durch statistische Auswertung von Signalschwankungen im Bereich einer Grund- bzw. Nulllinie eines von dem Sensor/Wandler bereitgestellten Messsignals erkannt wird.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird bei der Auswertung von Signalschwankungen im Bereich der Grund-/Nulllinie bevorzugt ein Vergleich mit einem charakteristischen Verlauf des Messsignals für den ungestörten Fall durchgeführt.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ferner vorgesehen sein, dass das Messsignal digitalisiert wird und sich dabei ergebende Datenpunkte in einem null-zentrierten, zeitlich beschränkten Abschnitt bzw. Ausschnitt des Messsignals ausgewertet werden. Es ist hierbei allerdings anzumerken, dass bevorzugt keine solchen Abschnitte bzw. Ausschnitte ausgewertet werden, sondern vollständige Wellenformen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ferner vorgesehen sein, dass als charakteristischer Verlauf des Messsignals im ungestörten Fall die Signalwellenform eines ungestörten, elektromagnetisch wirksamen, insbesondere magnetostriktiven Materials zugrunde gelegt wird.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ferner vorgesehen sein, dass Messsignale bzw. Messdaten, welche von dem charakteristischen Verlauf im ungestörten Fall abweichen, von der Weiterverarbeitung ausgeschlossen oder mit einer geringeren Gewichtung genommen werden oder gelöscht werden.

Es kann ferner vorgesehen sein, dass Messsignale bzw. Messdaten von der Weiterverarbeitung ausgeschlossen oder mit einer geringeren Gewichtung genommen werden oder gelöscht werden, wenn die Abweichung eines aktuell gemessenen Messsignals bzw. entsprechender Messdaten einen empirisch vorgebbaren Schwellenwert übersteigt.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ferner vorgesehen sein, dass die Abweichung eines aktuell gemessenen Messsignals bzw. entsprechender Messdaten dadurch quantifiziert wird, dass relevant erhöhte Werte von wenigstens einer ermittelten Indikatorgröße dadurch erkannt werden, dass die wenigstens eine Indikatorgröße einen empirisch vorgebbaren Schwellenwert überschreitet, der bei ungestörten Messungen im Voraus bestimmt wurde.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ferner vorgesehen sein, dass die Auswertung von Signalschwankungen im Bereich einer Grund- bzw. Nulllinie des Messsignals durch statistische Auswertung von aus einem Messsignal erzeugten Datenpunkten erfolgt.

Es kann ferner vorgesehen sein, dass die statistische Auswertung anhand einer oder mehrerer der folgenden mathematischen Auswertemethoden, auf der Grundlage von aus einem Messsignal erzeugten Wellenformdaten, erfolgt:

- "Quantile-Methode", bei der die Differenz zwischen einem ersten und einem letzten Quantil (z.B. einem Quartil) von Wellenformdaten ausgewertet wird, welche unter einem Schockeinfluss zunimmt;
- "Histogramm-Methode", welche darauf beruht, dass die Seiten eines Histogramms der von Wellenformdaten nahe dem Wert null sich auf

Kosten des Mittelteils, d.h. entsprechend dem Verhältnis Seiten zur Mitte, bei einem Schockeinfluss erhöhen, und daher entsprechend dem Verhältnis Seiten zur Mitte ausgewertet werden;

- "Standardabweichungsmethode", welche darauf beruht, dass die Standardabweichung der Wellenformdaten nahe der Nulllinie unter Schockeinfluss zunimmt, und somit Wellenformdaten nahe der Grund-/Nulllinie ausgewertet werden;
- „Datendichtemethode“, bei der die Datendichte der Wellenformdaten nahe der Grund-/Nulllinie ausgewertet werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ferner vorgesehen sein, dass bei der Histogramm-Methode die Anzahl von Datenpunkten in Abhängigkeit vom Wert einer Abweichung vom Wert null ausgewertet wird.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren, insbesondere zum Betreiben eines magnetostriktiven Sensors bzw. Wandlers eines Positionsmesssystems mit einem magnetostriktiven bzw. magnetostriktiv aktiven bzw. wirkenden Wellenleiter, wobei durch einen Abfragestromimpuls in dem Wellenleiter ein mechanisches Rotations- oder Torsionswellenpaket erzeugt wird, welches sich in beide Richtungen entlang des Wellenleiters ausbreitet, wobei ein nahe eines Endes des Wellenleiters angeordneter Messaufnehmer, d.h. Wandler oder Sensor, zur Aufnahme eines genannten Messsignals vorgesehen ist, um das in dem Wellenleiter fortschreitende Rotations-/Torsionswellenpaket in ein elektronisches Signal umzuwandeln, wobei in einem ersten Zeitabschnitt des Messsignals der Abfragestromimpuls in dem aufgenommenen Messsignal im Bereich der Grund-/Nulllinie ein oszillierendes Abfragerauschen sowie eine von dem Abfragestromimpuls verursachte kollektive mechanische Antwort des Wellenleiters verursacht, und wobei in einem zweiten Zeitabschnitt des Messsignals auf das Abfragerauschen im Bereich der Grund-/Nulllinie ein oszillierendes Grundrauschen sowie ein dem Grundrauschen überlagertes Zielsignal vorliegt, wobei sich an das Zielsignal ein weiteres, oszillierendes Grundrauschen anschließt, kann ferner vorgesehen sein, dass für wenigstens einen Zeitbereich mit oszillierendem Rauschen im Bereich der Grund-/Nulllinie Messwerte des aufgenommenen Messsignals in dem wenigstens einen

Zeitbereich mit entsprechenden Messwerten eines durch einen mechanischen Schock- und/oder Vibrationszustand gestörten Sensors/Wandlers und eines nicht-gestörten Sensors/Wandlers ein Vergleich durchgeführt wird und in Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichs auf einen gestörten bzw. nicht-gestörten Zustand des Sensors/Wandlers geschlossen wird.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ferner vorgesehen sein, dass die statistische Auswertung auf Zeitabschnitte des Messsignals beschränkt wird, welche nicht durch das Abfragerauschen oder das überlagerte Zielsignal beeinflusst werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann schließlich auch vorgesehen sein, dass in dem wenigstens einen Zeitbereich aufgenommene Messwerte eines durch einen mechanischen Schock- und/oder Vibrationszustand gestörten Sensors/Wandlers durch niederfrequentes Rauschen gestört sind.

Die ebenfalls vorgeschlagene, erfindungsgemäße Einrichtung zum Betrieb eines elektromagnetischen, insbesondere magnetostriktiven bzw. magnetostriktiv wirkenden, Sensors oder Wandlers insbesondere eines Positionsmesssystems, weist insbesondere eine Auswerteeinheit zur Erkennung von während des Betriebs des Sensors/Wandlers etwa auftretenden, mechanischen Schock- und/oder Vibrationsbedingungen bzw. einer dadurch verursachten Vibration des Sensors/Wandlers durch Auswertung von Signalschwankungen im Bereich einer Grund- bzw. Nulllinie eines von dem Sensor/Wandler bereitgestellten Messsignals auf.

Die erfindungsgemäße Einrichtung kann ferner wenigstens einen Verstärker zur Verstärkung des von dem Sensor/Wandler gelieferten Messsignals, einen Komparator zum Vergleichen wenigstens eines Zeitabschnitts des verstärkten Messsignals im Bereich der Grund-/Nulllinie mit einem charakteristischen Verlauf des Messsignals für den ungestörten Fall, eine Flugzeitanalyseeinheit, welche ein Positionsergebnis liefert, einen Analog/Digital-Wandler zur Umwandlung des Messsignals in entsprechende digitale Messdaten, sowie eine Statistikeinheit zur

statistischen Auswertung gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren, um eine Schock-Indikatorgröße zu ermitteln bzw. zu liefern, aufweisen.

Die erfindungsgemäße Einrichtung kann ferner wenigstens einen Verstärker zur Verstärkung des von dem Sensor/Wandler gelieferten Messsignals, wenigstens einen Analog/Digital-Wandler zur Umwandlung des Messsignals in entsprechende digitale Messdaten, einen digitalen Signalprozessor zur Auswertung der Messdaten, einer Flugzeitanalyseeinheit, welche ein Positionsergebnis liefert, sowie eine Statistikeinheit zur statistischen Auswertung gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren, um eine Schock-Indikatorgröße zu ermitteln bzw. zu liefern, aufweisen.

Die Messdaten des Komparators stammen bevorzugt von magnetostriktiven „Time-of-Flight“-Positionssensoren. Solche Sensoren besitzen aufgrund von mechanischen Stößen und/oder Vibrationen eine große Messgenauigkeit. Bei relativ großen Störungen kann eine Messung sogar völlig unmöglich sein aufgrund einer dadurch fehlenden Nullkreuzung von Datenpunkten oder aufgrund einer ungünstigen Vorbedingung bezüglich der genannten Flugzeit-Messung. Denn die Anwendung einer Kreuzkorrelationstechnik auf eine digitalisierte Wellenform sowie die Bestimmung der Flugzeit aus einer Kreuzkorrelationswellenform bedingen eine verringerte Beeinflussung, d.h. eine geringere Abweichung einer ermittelten Position eines Zielobjekts beim Vorliegen einer Vibration oder eines Schocks.

Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der Einrichtung können Vibrationen und/oder Stöße bei einer hier betroffenen Sensorvorrichtung, welche die Genauigkeit bzw. Zuverlässigkeit einer Positionsmessung beeinflussen, sicher erkannt bzw. ermittelt werden. Dadurch können solche Sensorvorrichtungen auch in mechanisch kritischeren Anwendungsfällen sicher eingesetzt werden.

Im Ergebnis wird bei hier betroffenen Positions-/Geschwindigkeitsmessungen die Wahrscheinlichkeit falscher Steuereingriffe bzw. Reaktionen von Steuerungssystemen auf der Grundlage von entsprechend erfassten Positionsinformationen wirksam verringert oder sogar gänzlich verhindert. Das Verfahren und die Einrichtung ermöglichen zudem eine schnelle Puls-für-Puls-

Anzeige von Schock- und Vibrationseinflüssen auf z.B. ein zugrunde liegendes, magnetostruktiv arbeitendes Positionsmesssystem. Ferner kann vorgesehen sein, dass z.B. ein entsprechender, magnetostruktiver Sensor über die genauen Schwingungsumstände während seines Betriebs präzise berichten kann, z.B. in Form einer entsprechend vorgesehenen Zustandsüberwachungsfunktion.

Bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der Einrichtung bei konventionellen, d.h. Komparator-basierten Positionsmesssystemen mit magnetostruktiven Positionssensoren ist lediglich ein Analog-Digital-Converter System bzw. A/D-Wandler mit niedriger oder mittlerer Arbeits- bzw. Taktgeschwindigkeit des Konverters erforderlich. Solche A/D-Wandler sind üblicherweise bereits in gängigen Mikrocontrollern vorhanden, wobei die Implementierung des nachfolgend im Detail beschriebenen, erfindungsgemäßen Verfahrens eine relativ geringe Rechenlast verursacht.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1a – d beispielhafte Messkurven eines magnetostruktiven Positionsmesssystems, und zwar für den durch einen mechanischen Stoßimpuls nicht gestörten (Fig. 1a, c) sowie den durch einen mechanischen Stoßimpuls gestörten Fall (Fig. 1b, d);

Fig. 2a – d beispielhafte, aus den in den Figuren 1a und 1b gezeigten Messkurven gewonnene Wellenformdaten zur erfindungsgemäßen Auswertung anhand einer „Quantile“-Methode;

Fig. 3a – d verschiedene Schock-Indikatorgrößen gemäß der erfindungsgemäßen Auswertung, z.B. anhand von Histogramm-Darstellungen;

Fig. 4a, b Beispiele für eine erfindungsgemäß durchführbare Kennzeichnung bzw. Nichtkennzeichnung von Datenpunkten als „unzuverlässig“ aufgrund eines erkannten bzw. nicht-erkannten Schockeinflusses; und

Fig. 5a, b fünf Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Implementierung des erfindungsgemäßen Verfahrens, anhand von kombinierten Ablauf-/Blockdiagrammen, wobei in den Figuren 5a und 5b gleiche oder ähnliche Komponenten mit übereinstimmenden Bezugszeichen versehen sind.

#### Detaillierte Beschreibung von Ausführungsbeispielen

Magnetostriktive Positionssensorsysteme bestehen typischerweise aus

- einem Wellenleiter, der aus einem stark magnetostriktiven Material hergestellt ist;
- einer elektronischen Schaltung zum Anlegen eines Abfragestromimpulses bei einem Initialisierungssignal an den Wellenleiter selbst oder an einen leitenden Draht, der durch ein Längsloch des röhrenförmigen Wellenleiters geführt ist, um eine vorübergehende Magnetisierung des Wellenleiters zu erzeugen;
- einem Zielmagneten, der in der Nähe des Wellenleiters angeordnet ist und eine anfängliche Magnetisierung des Wellenleiters erzeugt, wobei die Magnetisierung durch die Magnetisierung überschrieben wird, die durch den Abfragestromimpuls induziert wird, wodurch ein Torsionswellenpaket erzeugt wird, das sich in beide Richtungen entlang des Wellenleiters ausbreitet;
- einem Messaufnehmer, der nahe dem nahen Ende des Wellenleiters, d.h. nahe der Elektronik des Wellenleiters, angeordnet ist, um die Torsionswelle des Wellenleiters in ein elektronisches Signal umzuwandeln;
- meist einer Dämpfungszone/-struktur am anderen Ende des Wellenleiters, um die Reflexion der Torsionswelle an diesem Ende des Wellenleiters zu verhindern (oder zu dämpfen); und
- einem Elektronikblock zur Auswertung des elektronischen Signals des Messaufnehmers.

Es ist hierbei anzumerken, dass anstelle eines durch ein Längsloch des röhrenförmigen Wellenleiters geführten, leitenden bzw. stromführenden Drahtes zum Anlegen eines Abfragestromimpulses auch vorgesehen sein kann, den Erregerstrom durch einen (massiven) magnetostriktiven Draht selbst zu führen und einen Kupferdraht außerhalb des magnetostriktiven Drahtes zu verwenden, um den Strom zum Erregerkreis zurückzuleiten.

Aufgrund des technischen Aufbaus eines solchen Sensorsystems besitzen das Torsionswellenpaket und damit das entsprechende elektronische Signalmuster eine typische Form. Die Zeitspanne, die zwischen dem Auslösen eines Abfragestromimpulses und dem Zeitpunkt der Detektion eines entsprechenden elektronischen Musters gemessen wird, wird verwendet, um die Position des Zielmagneten über die Korrelation zwischen Entfernung und Zeit zu charakterisieren. Dabei wird die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit als Proportionalitätsfaktor zwischen diesen beiden Zeitpunkten verwendet. Die Positionserfassungsaufgabe wird dadurch in eine Zeitmessaufgabe übertragen.

Die an sich bekannte Messtechnik besteht bei magnetostriktiven und auch bei Ultraschall-basierten Positions- oder Abstandssensoren darin, dass zusammen mit der aktiven Flanke eines „Init“-Signals ein Zähler gestartet wird, wobei ein Komparator vorgesehen wird, um einen Pegeldurchgang des elektronischen Ausgangssignals des Aufnehmers zu erkennen. Der Zeitzähler wird dann bei Aktivierung des Komparator-Ausgangs gestoppt. Der Ausgang des Komparators kann durch weitere Komparatoren und sequenzielle Logik voreingestellt bzw. vorkonditioniert werden, um ein Stoppen des Zählers durch nicht zielbezogene Schwankungen zu verhindern, da die hier meist eingesetzten, mikroelektronisch integrierbaren und hochgenauen Zeitzähler nur auf Fehlstopps nicht ohne Verlust gültiger Daten reagieren können.

Durch die Kopplung mit dem magnetostriktiven Wellenleiter ist das elektronische Signal des Messaufnehmers (bzw. „Pick-Ups“) bzw. des von dem Tonabnehmer erzeugten bzw. gelieferten Sensorsignals unerwünschten mechanischen Störungen

wie Stößen und Vibrationen ausgesetzt, die sich entlang des Wellenleiters bis zur genannten Pickup-Zone ausbreiten.

Darüber hinaus sind Positionsmesssysteme bekannt geworden, welche auf der Bewertung des longitudinalen magnetischen Effekts einer Torsionswelle beruhen und welche empfindlicher gegenüber solchen Störungen sind als diejenigen, die nur Rotationswellen verwenden. Denn bei den zuletzt genannten Systemen können genannte Störungen mit viel geringerer Effizienz aus der mechanischen Umgebung in den Wellenleiter eingekoppelt werden.

Im Rahmen des hierin vorgeschlagenen Lösungsansatzes wurde festgestellt, dass Kreuzkorrelationstechniken zur Unterdrückung des Einflusses von Schwingungen und Stößen auf die Genauigkeit einer magnetostriktiven Positionsmessung besonders wirksam sind. Da die bei den hier betroffenen Positionsmesssystemen zielbezogene Signalkomponente ein bezüglich des Frequenzverhaltens relativ schmalbandiges Wellenpaket darstellt, erzeugt die Kreuzkorrelation eine effiziente Filterung der jeweils gemessenen Wellenform. Denn dadurch können Frequenzkomponenten in der Nähe der Mittenfrequenz der Wellenform, und zwar in der Größenordnung von 100 kHz, behalten werden und nur die niederfrequenten Komponenten, und zwar wenige kHz, z. B. bis zu 4 kHz, die typisch für Schwingungen und Stöße sind, bei der Positionsbestimmung unterdrückt oder ausgeschlossen werden.

Bei Testuntersuchungen wurde festgestellt, dass die unerwünschte Abweichung von Positionsdaten aufgrund von äußeren Erschütterungseinflüssen im Falle der digitalen Bestimmung einer Nulldurchgangszeit einer Kreuzkorrelationswellenform drei bis zehnmal geringer ist als die bei einer Bestimmung auf der Grundlage eines analogen Komparators bezüglich der Nulldurchgangszeit eines analogen Abtastsignals sich ergebende Abweichung, jedoch nicht vollständig eliminiert werden kann. Denn neben der Einkopplung mechanischer Störungen können auch elektronische Störungen Schwingungen des Abtastsignals hervorrufen, die die Zuverlässigkeit der Positionsauswertung ebenfalls beeinflussen können.

Der Ausgangspunkt für den hierin beschriebenen Lösungsansatz besteht nun darin, nur Informationen einzubeziehen bzw. bereitzustellen, welche für die Zuverlässigkeit der von dem magnetostriktiven Positionssensor unter äußeren Schock- und Vibrationseinflüssen erzeugten Positionsmessdaten relevant sind.

Grundlage für diese Informationen ist die Struktur des Abtastsignals. Der Aufbau des Messsignals ohne Schockeinfluss ist in Fig. 1a dargestellt. In dem Diagramm sind erfasste Signalwerte in der Einheit [LSB] über der Zeit in der Einheit [ $\mu\text{s}$ ] aufgetragen. Bei der dabei zugrunde liegenden Messung wurde ein radial angeordneter Zielmagnet verwendet und die Wellenformen wurden bei einer Abtastfrequenz von 3,125 MHz mit einer Nennaufösung von 12 Bit aufgezeichnet. Das in Fig. 1a gezeigte Messsignal beginnt mit einem oszillierenden Rauschen 100, welches durch den ca. 4  $\mu\text{s}$  langen Abfrageimpuls verursacht wird, und die nachfolgende, mit dem Abfrageimpuls einhergehende kollektive mechanische Antwort des Wellenleiters. Diese Störung 100 ist, unabhängig von anderen Einflüssen, im Wesentlichen konstant und klingt nach ca. 20  $\mu\text{s}$  ab. Auf dieses Abfragerauschen folgt ein Abschnitt mit einem Grundrauschen 105 nahe der Null- bzw. Grundlinie sowie dem Grundrauschen 105 überlagerten Zielsignal 110, welches sich als kurzes Wavelet zwischen ca. 105 und 135  $\mu\text{s}$  darstellt. An das Zielsignal 110 schließt sich wieder ein Grundrauschen 115 an.

Es ist hierbei anzumerken, dass anstelle einer mit dem Abfrageimpuls einhergehenden, kollektiven mechanischen Antwort des Wellenleiters auch ein elektronisches Übersprechen von der Anregung zum Messaufnehmer möglich ist. Der genaue Aufbau eines solchen Störsignals ist im vorliegenden Zusammenhang nicht relevant.

Es ist ferner anzumerken, dass bei dem hierin beschriebenen Verfahren und der Einrichtung ein oder mehrere ein hier betroffenes Zielsignal (110) verursachende Ziele vorhanden sein können. Die entsprechenden Zielsignale (110) können daher, je nach der/den Position/en der Ziele, überall erscheinen. Der in Fig. 1a gezeigte Verlauf des Messsignals ist daher nur beispielhaft und umfasst jedes Erscheinungsbild eines solchen ungestörten Messsignals, welches sich im Wesentlichen durch die tatsächliche Position des Ziels, im Falle eines

magnetostriktiven Positionserfassungssystem eines entsprechenden Zielmagneten, unterscheidet.

Das hierin beschriebene Konzept zur Schockerkennung wird aus dem Vergleich bzw. Unterschied zwischen Signalverläufen, die mit dem ungestörten Wellenleiter (Fig. 1a) aufgezeichnet wurden und solchen, bei denen der Sensor einer Erschütterung ausgesetzt war (Fig. 1b), deutlich.

In der Fig. 1b wird wiederum eine in Fig. 1a gezeigte vollständige Wellenform, d.h. einschließlich des Abfragerauschens und des Zielsignals, gezeigt, wobei der Sensor jedoch durch ein zugrundeliegendes, niederfrequentes Rauschen 120, 125 gestört wurde. In diesem Fall wurden die 2 ms andauernden Halbsinus-Stoßimpulse mit einem Maximalwert von 150 g, und zwar senkrecht zum Wellenleiter, mit einem elektrodynamischen Rüttelgerät erzeugt. Während im Falle der ungestörten Wellenformen (Fig. 1a) die dortigen Datenpunkte 105, 115 im Bereich der Grundlinie nahe des Wertes Null angeordnet sind, weichen die der schockbeeinflussten Wellenformen 120, 125 von dem Wert null erheblich ab (Fig. 1b).

Dieser Unterschied ergibt sich auch aus den jeweiligen, in den Figuren 1c und 1d gezeigten Histogrammen 130, 135 der in Fig. 1a bzw. Fig. 1b gezeigten Wellenformdaten. Bei diesen Histogrammen ist die Häufigkeit bzw. Anzahl von Datenpunkten (Y-Achse) in Abhängigkeit vom Wert der jeweiligen Signalabweichung (X-Achse) vom Wert null aufgetragen. Die Unterschiede in den beiden Verteilungen der Wellenformdaten 130, 135 innerhalb eines solchen begrenzten Datenbereichs um den Wert null herum werden vorliegend zur Unterscheidung verwendet, ob die jeweils zugrundeliegenden Messungen unter dem Einfluss von mechanischem Schock durchgeführt wurden oder nicht. Diese Unterscheidung beruht demnach auf einer solchen Statistik beruhenden Charakterisierung des Schockeinflusses.

Während die ungestörten und schockbeeinflussten Daten durch die in den Figuren 1c und 1d dargestellten Verteilungen 130 bzw. 135 gut zu unterscheiden sind, wird die Auswertung bevorzugt auf jene Abschnitte der Signalform beschränkt, welche

nicht durch das Abfragerauschen oder das überlagerte Zielsignal beeinflusst werden. Wenn man daher die horizontale Achse gemäß den Figuren 1a und 1b auf die Zeitspanne begrenzt, die eine Torsionswelle benötigt, um sich nur einmal durch den magnetostriktiven Wellenleiter auszubreiten, kann wirksam verhindert werden, dass Reflexionen (bzw. Echos) der Torsionsschwingung von den Enden des Wellenleiters zu einem weiteren induzierten Signal im Tonabnehmer führen, welche im Ergebnis zu einer nachteiligen Verbreiterung der in der Fig. 1c gezeigten Verteilung führen würden. Daher wird bei den hierin beschriebenen Ausführungsbeispielen die genannte statistische Auswertung von vollständigen Wellenformen innerhalb der Laufzeit über eine vollständige Länge des Wellenleiters angewendet.

Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der Einrichtung auf der Grundlage unterschiedlicher Schockerkennungsmethoden beschrieben, und zwar an den Beispielen einer „Quantile-Methode“, einer „Histogrammmethode“ und einer „Standardabweichungsmethode“.

Es ist hierbei anzumerken, dass auch andere entsprechende oder ähnliche Erkennungsmethoden anwendbar sind. Allerdings sind die genannten vier Methoden zur Charakterisierung der Zuverlässigkeit der Positionsmessdaten in Echtzeit besonders geeignet, um es einer Steuerung eines hier betroffenen Messsystems (z.B. Positionserkennungssystem) zu ermöglichen, falsche Steuerreaktionen wirksam zu verhindern.

Zur Charakterisierung der tatsächlichen Auswirkung hier betroffener mechanischer Störungen werden die folgenden vier Auswertestrategien vorgeschlagen.

#### Beispiel 1: „Quantile-Methode“

Bei dieser Methode werden Wellenformdatenelemente in aufsteigender Reihenfolge sortiert. Die sortierten Datenelemente der in den Figuren 1a und 1b dargestellten Wellenformen sind in den Figuren 2a und 2b als durchgezogene Linien 200, 215 bzw. 220, 235 der zugrunde liegenden Einzeldaten der erfassten

Signale in der Einheit LSB (LSB = „least significant bit“ bzw. „lowest value byte“) als Funktion der Zeit dargestellt. Die um den Faktor 100 vertikal vergrößerte Ansicht derselben Daten (zumindest der mit 200, 215 bezeichneten Daten) ist in den Figuren 2c und 2d gezeigt.

Dieser Auswertemethode liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die Wellenformen bei einem störungsfreien Messsignal zahlreiche Datenpunkte um den Wert Null herum enthalten. Daher muss die statistische Anzahl von Datenpunkten, welche in einem engen Wertebereich bzw. -fenster um den Wert Null liegen, mit der Stärke hier betroffener Störungen korrelieren.

Bei dieser Auswertemethode werden Datenpunkte, bevorzugt nur jeder n-te Datenpunkt, z. B. 100 Datenpunkte, sortiert und die Differenz zwischen dem dritten und ersten Quartil berechnet. Bei einem störungsfreien Signal ist dieser Unterschied gering, nimmt aber zu, wenn die Grundlinie des Signals gestört ist. Die Verwendung von genannten Quartilen ist nur bevorzugt, hat aber bei unterschiedlichen Längen des Wellenleiters und bei einer unterschiedlichen Anzahl von Zielen, d.h. bei einem magnetostriktiven Messsystem einer unterschiedlichen Anzahl von Zielmagneten, die hierin beschriebenen Vorteile.

Es ist ferner anzumerken, dass die z.B. in Fig. 1a und 1b gezeigten Datenelemente der Wellenformen in aufsteigender Reihenfolge sortiert werden und die so sortierten Wellenformwerte einfach seriell aufgetragen werden, so dass die horizontale Achse der Seriennummer der sortierten Wellenformdatenpunkte entspricht. Die vertikale Achse ist dabei in genannten LSB-Einheiten angegeben. Die Darstellung der Wellenformdaten in der Einheit LSB entspricht zudem der Auflösung des jeweiligen Analog.-Digital-Wandlers (ADC).

Da die meisten Datenpunkte in der Zeitreihe der ungestörten Erfassungssignalwellenform gemäß Fig. 1a nahe null angeordnet sind, ist die Steigung des mittleren Teils der sortierten Datenfolge gering, während die wesentlich größeren Abweichungen 200, 215 bzw. 220, 235 an den beiden Enden der sortierten Folge (Fig. 2c) durch das genannte Abfragerauschen und das Zielsignal verursacht werden. Im Gegensatz dazu weisen die Datenpunkte im

stoßbeeinflussten Fall (Fig. 2d) eine erhöhte Abweichung aufgrund der mechanischen Störung auf. Zudem ist aufgrund der breiteren Verteilung der Daten die Steigung des mittleren Teils der sortierten Sequenz größer.

Die Steigung des mittleren Teils wird vorteilhafterweise durch die Differenz zwischen dem ersten 205 bzw. 225 und dem letzten Quantil 210 bzw. 230 der sortierten Folge charakterisiert. Im Ergebnis sind demnach die ungestörten Signale durch relativ kleine Werteunterschiede und die schockbeeinflussten Signale durch relativ große Werteunterschiede charakterisiert. So haben die Differenzen für die beiden in den Figuren 2a – 2d durch die Punkte 205, 210 bzw. 225, 230 markierten Quantile in der Fig. 2c den Wert 16 LSB und in der Fig. 2d den Wert 600 LSB.

Bei der „Quantile-Methode“ können die Wellenform-Datenpunkte grundsätzlich nur dann sortiert werden, wenn sie überhaupt verfügbar sind. Unter Verwendung eines „Field Programmable Gate Array“ (FPGA) kann jedoch für eine bekannte Gesamtdatenlänge ein Echtzeit-Sortieralgorithmus implementiert werden. Der Sortieralgorithmus entspricht dem Aufbau eines Ein-LSB-pro-Bin-Histogramms, das einen Speicherbereich gemäß der ADC-Auflösung verbraucht (z.B. 4096 Bins für eine 12-Bit-ADC-Auflösung).

Man kann die Bin-Inhalte aus den kleinsten entsprechenden ADC-Werten kumulieren, und wenn z. B. das vierte der Gesamtzahl von Datenpunkten überschritten wird, wird ein erstes „Quartil“ gefunden. Ein „Quartil“ ist in der Statistik eine Art Quantil, welches die Anzahl vorliegender Datenpunkte in vier Teile oder Viertel von mehr oder weniger gleicher Größe unterteilt. Die Daten werden dabei vom kleinsten zum größten Wert hin geordnet, um solche Quartile zu berechnen, d.h. Quartile stellen eine Form der Ordnungsstatistik dar.

Ein ähnliches Verfahren kann durchgeführt werden, um ein drittes Quartil zu finden. In einem genannten FPGA können sowohl die Kumulation als auch die Ermittlung der Quantile durch digitalen Vergleich parallel in Echtzeit ablaufen. Auch kann eine Histogramm-basierte Implementierung des Quantile-Verfahrens mittels Mikrocontrollern implementiert werden, was nur sehr geringe Verzögerungen ermöglicht.

### Beispiel 2: „Histogramm-Methode“

Diese Methode basiert auf der aus den beiden in den Figuren 1c und 1d gezeigten Histogrammen 130, 135 gewonnenen Erkenntnis, nämlich dass der Teil der Verteilungen 105, 115 nahe der Nulllinie, der für die ungestörten Signale charakteristisch ist (im Folgenden „charakteristischer Verlauf“), im Vergleich zu den peripheren Teilen relativ viele Datenpunkte (Fig. 1c) aufweist, wohingegen die nahe der Nulllinie auftretenden Datenpunkte 120, 125 bei schockbeeinflussten Signalen gleichmäßiger verteilt sind (Fig. 1d). So beträgt in dem vorliegenden Beispiel das periphere gegenüber dem mittleren Summenverhältnis (Fig. 1c) 0,250, wohingegen das entsprechende Summenverhältnis im schockbeeinflussten Fall (Fig. 1d) 1,471 beträgt.

Bei dieser Auswertemethode werden Datenpunkte in den unteren und oberen Tertilen eines schmalen nullzentrierten Fensters gezählt und aufsummiert, und die sich ergebende Summe durch die Anzahl der Datenpunkte im mittleren Tertil dividiert. Die bei einem ungestörten Signal sich typischer Weise ergebende enge Verteilung der Datenpunkte führt zu kleineren Summenverhältnissen, wohingegen bei gestörten Signalen eine entsprechend breitere Verteilung der Datenpunkte zu größeren Summenverhältnissen führt.

Alternativ kann auch der Unterschied in den Gesamtsummenbildungen innerhalb der beiden Verteilungen herangezogen werden. Allerdings ist die Gesamtsumme bei relativ kleinen mechanischen Störungen weniger empfindlich als das genannte Verhältnis von peripherer zu mittlerer Summe.

Die „Histogramm-Methode“ erfordert den Aufbau eines Drei-Bin-Histogramms unter Verwendung digitaler Fensterkomparatoren und, wenn die erforderliche Datenmenge verarbeitet wurde, eine logische Additionskomponente sowie eine logische Divisionskomponente, um den jeweiligen Schockindikatorparameter zu erzeugen.

### Beispiel 3: „Standardabweichungsmethode“ (bzw. „Sigma“-Methode)

Die Verteilung der Datenpunkte nahe der Nulllinie können auch durch ihre Standardabweichung charakterisiert werden. Die Standardabweichung von Datenpunkten einer hier betroffenen Signalwellenform wird dabei innerhalb eines schmalen, nullzentrierten Fensters berechnet. Die für ein ungestörtes Signal typische enge Verteilung der Datenpunkte ergibt einen kleinen Sigma-Wert, wohingegen sich bei gestörten Signalen eine breitere Verteilung der Datenpunkte ergeben, d.h. entsprechend einem größeren Sigma-Wert.

So beträgt gemäß den Figuren 2c und 2d die Standardabweichung der Datenpunkte im Bereich von LSB-Werten zwischen -36 und +36 etwa 9.5 für den ungestörten Fall (Fig. 2c) und 19.9 für den stoßbeeinflussten Fall (Fig. 2d). Es ist anzumerken, dass die Standardabweichung der Datenpunkte der Gesamtwellenform, ohne die genannte Beschränkung auf LSB-Werte zwischen -36 und +36, aufgrund der großen Werte in den Abschnitten des Abfragerauschens und des Zielsignals wesentlich weniger empfindlich gegenüber genannten Erschütterungen bzw. Schockeinwirkungen wäre.

Die „Standardabweichungsmethode“ erfordert einige logische Multiplikationen sowie die Akkumulation einiger Werte, bis die erforderliche Datenmenge verarbeitet ist. Da die Multiplikations- und Akkumulationsoperation auf den meisten relevanten Mikrocontrollern in einem einzigen Takt ausgeführt werden kann, kann dieses Verfahren sowohl auf Mikrocontrollern als auch auf genannten FPGA-Architekturen als Echtzeitverfahren ausgeführt werden.

#### Beispiel 4: „Dichtemethode“

Durch Zählen von Datenpunkten einer hierbetroffenen Signalwellenform in einem noch engeren Fenster um Null herum wird die Dichte der Datenpunkte um Null berechnet. Diese ist am höchsten bei einem störungsfreien Signal und nimmt ab, wenn die Datenpunkte aufgrund von Welligkeiten der Wellenform aus der Nähe der Null entfernt werden.

Gegenüber den beschriebenen vier Verfahren sind auch andere Verfahren denkbar, bei denen das Spektrum der Messsignalwellenform berechnet und der niederfrequente Anteil des Spektrums quantitativ charakterisiert wird, da die Wirkung von Stößen und Vibrationen auf ein hier betroffenes Messsignal normalerweise unterhalb von 5 kHz auftritt. Die Berechnung des Spektrums, auch mittels einer Fast Fourier-Transformation (FFT) oder einer Diskreten Fourier-Transformation (DFT), welche auf den niederfrequenten Bereich beschränkt ist, ist jedoch relativ rechenintensiv und kann erst dann gestartet werden, wenn die gesamte Wellenform erfasst wurde. Solche Verfahren sind daher nicht in Echtzeit in der Lage, die Zuverlässigkeit von tatsächlichen, d.h. aktuell vorliegenden Positionsmessdaten zu charakterisieren.

Im Folgenden werden, unter Hinweis auf die Figuren 3a – 3d und die Figuren 4a und 4b, an einem vorgenannten Positionsmesssystem tatsächlich vorgenommene Messergebnisse beschrieben.

Ein vorbeschriebener Schockimpuls wurde dabei wiederholt auf einen 76 cm langen magnetostriktiven Sensor ausgeübt, während Abfrageimpulse mit einer Wiederholungsrate von 500 Hz ausgegeben wurden und die Signalwellenformen mit einer Abtastfrequenz von 3,125 MHz erfasst wurden. Für jede erfasste Wellenform wurden die vorbeschriebenen drei Verfahren angewendet, um unterschiedliche Indikatorgrößen für das jeweilige Schockverhalten zu erzeugen. Diese Vorgehensweise wurde für etwa 40 s fortgesetzt, wobei jeweils etwa 20.000 Wellenformen erfasst wurden. In den Figuren 3a – 3c sind die sich dabei ergebenden Werte der vorbeschriebenen Indikatorgrößen „D\_quantile“, „D\_histogram“ und „D\_stdev“ jeweils in willkürlichen Einheiten [a.u.] in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  in der Einheit [s] aufgetragen. Zusätzlich ist in der Fig. 3d die vorgeschriebene Abweichung „D\_ & posdev“ über der Zeit in [s] aufgetragen.

Aus den Figuren 3a bis 3d ist zu ersehen, dass Werte einer beschriebenen Indikatorgröße in den Zeitbereichen, in denen Stoßimpulse vorhanden waren, erhöhte Werte über der jeweiligen Grundlinie aufweisen, wobei die Grundlinie im jeweils ungestörten Fall einen typischen Verlauf bzw. ein typisches, d.h. vorgegebenes Wertenniveau besitzt. Ferner wirken sich Stoßimpulse stochastisch

sowohl auf die Indikatorwerte als auch auf die Positionsabweichung aus. Während die Indikatorwerte der gestörten Fälle immer höher sind als die Werte der ungestörten Fälle, ist die Positionsabweichung häufig sogar entgegengesetzt, d.h. negativ, jedoch meistens aber positiv.

Ferner ist anzumerken, dass es offenbar keine Korrelation zwischen jeweils zwei der beschriebenen Indikatorwerte gibt und auch keine Korrelation zwischen einem Indikatorwert und der Positionsabweichung.

Aus den so erfassten Signalverläufen kann die Position des Zielmagneten berechnet werden. Dabei wird zuerst die Kreuzkorrelation zwischen einer Referenzwellenform und der erfassten Wellenform berechnet, wobei die Referenzwellenform zuvor aufgezeichnet wurde, indem ein in den Figuren 1a-d und 2a-d gezeigter, begrenzter Zeitabschnitt mit Zieleinflüssen einer ungestörten Signalwellenform zugrunde gelegt wird. Die Zielposition wird, ohne Bezug auf einen unvermeidlichen konstanten Offsetwert, als Ort des ersten negativen Nulldurchgangs der Kreuzkorrelationswellenform definiert und durch lineare Regression zu den Daten über diesen Nulldurchgang berechnet. Eine entsprechende Abweichung der Positionswerte von der für ungestörte Messungen berechneten Hauptposition ist in der Fig. 3d dargestellt.

Es ist hierbei anzumerken, dass die Wirkung des Stoßes viel länger anhält als der 2 ms andauernde Stoßimpuls selbst. Ferner entspannt sich die Abweichung der Positionsdaten auf ihren ungestörten Wert später als das Abklingen der Stoßindikatorgrößen, was trotz der Dämpfung der Schwingung des Sensorwellenleiters selbst im Wesentlichen realen Zielschwingungen zugeschrieben werden kann.

Die Auswirkungen von schockartigen Erschütterungen z.B. auf eine Positionsmessung können dadurch quantifiziert werden, dass für diese Messung relevant erhöhte Werte der genannten Indikatorparameter dadurch erkannt werden, dass wenigstens eine der Stoßindikatorgrößen einen empirisch vorgebbaren Schwellenwert überschreitet, der zuvor bei erschütterungsfreien Messungen bestimmt wurde. Alternativ oder zusätzlich können mehrere solcher Größen

analysiert werden, die unter unbekanntem Erschütterungsbedingungen erhalten wurden.

In den Figuren 4a und 4b ist ein Beispiel für eine mittels des beschriebenen Verfahrens automatisiert durchführbare Markierung bzw. Kennzeichnung bzw. Nichtmarkierung bzw. Nichtkennzeichnung von Datenpunkten als „unzuverlässig“ aufgrund eines erkannten Schockeinflusses dargestellt.

In Fig. 4a ist eine genannte Schockindikatorgröße nach der „Standardabweichungsmethode“ für die Zeitspanne einer Positionsmessung, und zwar vorliegend für einen Zeitraum von 0.8 s, dargestellt. In dem gezeigten Diagramm ist die Indikatorgröße „D\_stddev“ 405, 410, wiederum in willkürlichen Einheiten [a.u.], über der Zeit  $t$  in [s] aufgetragen. Die in Fig 4a eingetragenen Kreise 415, 420 zeigen diejenigen Datenpunkte an, die unter Verwendung der folgenden Methode als unzuverlässig eingestuft und entsprechend gekennzeichnet wurden:

Zu einem Zeitpunkt, wenn der Schockindikatorwert einen vordefinierten Schwellenwert 400 (in der Fig. 4a dargestellt als gestrichelte Linie) überschreitet, werden die entsprechenden Positions-Ausgabedaten als unzuverlässig markiert bzw. gekennzeichnet. Dabei werden diese Kennzeichnungen noch für einen empirisch vorgebbaren Zeitraum aufrechterhalten, nachdem die erfassten Schockindikatorwerte wieder unter das vordefinierte Niveau 400 abgesunken sind. Während dieses Zeitraums werden somit weitere Messpunkte bzw. entsprechende Datenpunkte weiter markiert bzw. gekennzeichnet, und zwar in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel zehn (10) weitere Messpunkte. In der Fig. 4a sind nicht in der genannten Weise gekennzeichnete Daten als kleine Punkte dargestellt.

Die entsprechenden Positionsdaten 425, 435 sind in Fig. 4b dargestellt. Sowohl der in Fig. 4a gezeigte Schwellenwert 400 für die Markierung/Kennzeichnung als auch die Anzahl der Ausgabedaten, für die die Markierung/Kennzeichnung aufrechterhalten wird, können entsprechend der erforderlichen Dynamik des Gesamtsystems empirisch bestimmt werden. Während ein relativ niedriger Schwellenwert und eine relativ lange Dauer für die Markierung/Kennzeichnung zu

zuverlässigeren Ausgabedaten und somit zu einem stabileren Positionsmesssystem führen, verringern solche Werte aber auch die mögliche Dynamik des Steuersystems.

Es ist hierbei anzumerken, dass die in Fig. 4a gezeigten, schockbedingten Nullpunktfluktuationen länger andauern als das zugrunde liegende Schockereignis selbst. Wie aus der Fig. 4b zu ersehen, dauern die schockbedingten Fluktuationen 430, 440 der aus der in Fig. 4a gezeigten Messung resultierenden Positionsdaten sogar noch länger an als die erfassten Fluktuationen der in Fig. 4a gezeigten Indikatorgröße „D\_stdev“. Zudem ist anzumerken, dass die aus den Messdaten abgeleiteten Datenpunkte entsprechender Signalwellenformen auch um die als unzuverlässig gekennzeichneten Datenpunkte bereinigt werden können, d.h. z.B. ganz gelöscht werden können.

Es ist hierbei anzumerken, dass die sensorisch erfassten Messdaten selbst nicht als „unzuverlässig“ gekennzeichnet oder sogar ganz gelöscht werden. Lediglich die aus den Messdaten abgeleiteten, digitalen Signalwellenformen bzw. die bei der Auswertung sich daraus ergebenden Positionsdaten können als „unzuverlässig“ gekennzeichnet werden. Unzuverlässige Positionsdaten können auch durch Ausschluss mittels einer adaptiven Filterung unterdrückt werden, z. B. mittels eines Kalman-Filters oder durch entsprechende Gewichtung.

Ausführungsbeispiele einer Einrichtung zur Implementierung des vorbeschriebenen Verfahrens sind in den Figuren 5a und 5b anhand von kombinierten Ablauf-/Blockdiagrammen dargestellt.

Das Verfahren sowie die Einrichtung zur Erzeugung von Schockindikatorwerten basieren auf der Digitalisierung der jeweiligen Sensorsignale. Die Einrichtung zur Erfassung einer Zielposition sowie zur parallelen Erzeugung von vorbeschriebenen Zuverlässigkeitsinformationen für erfasste Positionsdaten, insbesondere zur Erzeugung eines vorbeschriebenen Stoßindikatorwerts, kann jedoch auf unterschiedliche Weise realisiert werden.

Die Fig. 5a zeigt zwei Ausführungsbeispiele einer genannten Einrichtung, und zwar mit und ohne die zusätzlich gestrichelt eingezeichneten Komponenten.

Gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Einrichtung werden die auszuwertenden Signale von einem Messaufnehmer („pick-up“) 500 geliefert, der nahe dem nahen Ende eines magnetostriktiven Wellenleiters 505, d. h. nahe der Elektronik des Wellenleiters, angeordnet ist. Über eine erste Leitung 510 werden diese Signale einem ersten Verstärker 515 zugeführt, um den Signalpegel auf eine weiter verarbeitbare Größe anzuheben. Über eine zweite Leitung 520 wird das so verstärkte Signal einem Komparator (mit vorliegend integriertem TDC) 525 zugeführt, in dem der vorbeschriebene Vergleich durchgeführt wird. Die sich bei diesem Verarbeitungsschritt ergebenden Daten werden dann einer Flugzeitanalyse („Time-of-flight“) 530 zugeführt, welche im Ergebnis ein Positionsergebnis 535 liefert.

Es ist hierbei anzumerken, dass die Auswertung von aus den Messdaten abgeleiteten Wellenformdaten nicht beendet bzw. unterbrochen werden muss, wenn ein hier betroffenes Schockereignis erkannt wird. So kann ein Schock-/Vibrationszustand erst dann erkannt werden, wenn bereits der gesamte Signalverlauf vorliegt und es somit bereits zu spät ist, erst danach mit der Auswertung des Signals/Signalverlaufs zur Berechnung der Position des Zielmagneten zu beginnen. Daher muss eine entsprechende, unter einer Schockbedingung erfasste Wellenform nicht gelöscht oder ganz von der Positionsbewertung ausgeschlossen werden.

Dies gilt im Übrigen auch für eine in Fig. 5a gezeigte Komparator-basierte Laufzeitmessung, bei der ein Komparator und ein „Time-to-Digital“-Wandler bereits Positionsdaten erzeugt hat. Bei dem in den Figuren 5a und 5b gezeigten unteren Auswertepfaden werden Indikatorwerte aus den Signalwellenformen berechnet und basierend auf den Indikatorwerten und ihrem Vergleich mit einem Schwellenwert können die Positionsdaten als unzuverlässig gekennzeichnet werden.

Über eine von der zweiten Leitung 520 abzweigende dritte Leitung 540 wird das verstärkte Signal zusätzlich einem ADC 545 zugeführt, dessen digitales Ausgangssignal einer Statistikeinheit 550 zur vorbeschriebenen statistischen

Auswertung der genannten Wellenform zugeführt wird, um im Ergebnis eine Schock-Indikatorgröße 555 zu ermitteln bzw. zu liefern.

Bei dem gestrichelt dargestellten, zweiten Ausführungsbeispiel der Einrichtung wird das von dem Messaufnehmer 500 gelieferte Signal über eine vierte Leitung 560 einem zweiten Verstärker 565 zugeführt und erst dann dem ADC 545 zugeführt. Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel wird somit die dritte Leitung 540 obsolet bzw. nicht angeordnet. Dadurch wird ermöglicht, dass die Verstärkungsfaktoren bzw. entsprechenden Pegelanhebungen der von dem Messaufnehmer 500 gelieferten Signale für die Weiterverarbeitung durch den Komparator 525 und durch den ADC 545 bzw. die nachfolgende statistische Auswertung 550 unterschiedlich gewählt werden können, um für die beiden getrennten Weiterverarbeitungsschritte 525 - 535 bzw. 550, 555 geeignete bzw. optimale Signalpegel bereitstellen zu können.

Fig. 5b zeigt drei weitere Ausführungsbeispiele einer genannten Einrichtung, und zwar ebenfalls mit und ohne die zusätzlich gestrichelt eingezeichneten Komponenten. Auch bei diesen Ausführungsbeispielen werden die von dem an einem Ende des magnetostriktiven Wellenleiters 505 angeordneten Messaufnehmer („pick-up“) 500 gelieferten Messsignale über die erste Leitung 510 einem ersten Verstärker 515 zugeführt.

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel wird über eine zweite Leitung 570 das verstärkte Signal einem ersten ADC 575 zugeführt, in dem das verstärkte Signal zunächst digitalisiert wird. Das digitale Signal bzw. die entsprechenden Daten wird bzw. werden über eine dritte Leitung 580 sowohl einem digitalen Signalprozessor 585 sowie über eine abzweigende vierte Leitung 600 wiederum einer Statistikeinheit 605 zur vorbeschriebenen Statistikauswertung einer genannten Wellenform zugeführt.

Die von dem digitalen Signalprozessor 585 nach erfolgter Auswertung gelieferten Daten werden hier einer Flugzeitanalyse („Time-of-flight“) 590 zugeführt, welche wiederum im Ergebnis ein Positionsergebnis 595 liefert.

Die von der Statistikeinheit 605 gelieferten Auswertergebnisse liefern dann wiederum eine vorbeschriebene Schock-Indikatorgröße 610.

Bei dem in der Fig. 5b gestrichelt dargestellten, vierten Ausführungsbeispiel der Einrichtung wird das von dem ersten Verstärker 515 gelieferte verstärkte Signal über eine abzweigende, zusätzliche fünfte Leitung 630 einem zweiten ADC 635 zugeführt. Dadurch wird ermöglicht, dass z.B. die Parameter für Analog-zu-Digital-Umwandlung für die jeweils nachfolgenden Komponenten, d.h. dem digitalen Signalprozessor 585 und der dem Statistikeinheit 605, unterschiedlich gewählt werden können. Über eine sechste Leitung 640 wird das digitalisierte Signal bzw. die entsprechenden digitalen Daten zu dem beschriebenen Zweck der Statistikeinheit 605 zugeführt.

Bei dem in der Fig. 5b zusätzlich gestrichelt dargestellten, fünften Ausführungsbeispiel der Einrichtung wird das von dem Messaufnehmer 500 über die erste Leitung 510 gelieferte Messsignal über eine abzweigende, siebte Leitung 615 zusätzlich einem zweiten Verstärker 620 zugeführt und erst danach über eine achte Leitung 625 den gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel vorliegenden, zweiten ADC 635. Dadurch wird wiederum ermöglicht, dass die Verstärkungsfaktoren bzw. entsprechenden Pegelanhebungen der von dem Messaufnehmer 500 gelieferten Signale für die Weiterverarbeitung durch die nachfolgende Weiterverarbeitung in dem digitalen Signalprozessor 585 und in der über die sechste Leitung 640 verbundenen Statistikeinheit 605 unterschiedlich gewählt werden können, um für diese beiden getrennten Weiterverarbeitungsschritte 585 - 595 bzw. 605, 610 geeignete bzw. optimale Signalpegel bereitstellen zu können.

Es ist ferner anzumerken, dass bei dem vierten Ausführungsbeispiel die vierte Leitung 600 obsolet ist und bei dem fünften Ausführungsbeispiel sogar die beiden Leitungen 600, 630 obsolet sind.

Gemäß den in den Figuren 5a und 5b gezeigten Ausführungsbeispielen kann die Auswertung 530 der Laufzeit des Zielsignals zur Bestimmung der Zielposition 535 sowohl mittels eines hochauflösenden Zeit-Digital-Wandlers („time-to-digital

converter“) 525 als auch durch Erzeugung eines Stop-Eingangssignals mittels eines analogen Nullkomparators für das vorverstärkte Erfassungssignal erfolgen. Dabei erfolgt eine digitale Auswertung der jeweils erfassten Wellenform, welche durch die Digitalisierung des Erfassungssignals erzeugt wird.

Wie aus den Figuren 5a und 5b auch zu ersehen, können für die Erzeugung von Schockindikatorwerten die Anforderungen sowohl an den Signalverstärker als auch an den jeweiligen Analog-Digital-Wandler (ADC) 545, 575, 635 sowie seine Parameter von denjenigen abweichen, die für die Auswertung der Laufzeit erforderlich sind. So kann die Auswertung entweder durch den Komparator 525, gegebenenfalls kombiniert mit einem genannten „Time-to-Digital“-Converter (TDC 525) oder durch digitale Signalverarbeitung mittels eines digitalen Signalprozessors erfolgen.

Da für die Schockdetektion einerseits, wie vorbeschrieben, nur Werte nahe null relevant sind, ist es vorteilhaft, höhere Verstärkungen - ohne Rücksicht auf die Sättigung des zielbeeinflussten Abschnitts des Signals - anzuwenden. Andererseits erfordert die Berechnung der Schockindikatorwerte keine hochauflösenden oder präzisen Analog-Digital-Wandler, im Gegensatz zu dem Fall, dass die Laufzeit aus dem digitalisierten Signalverlauf durch digitale Signalverarbeitung bestimmt wird. Da ferner die Stoßindikatorwerte durch jedes Verfahren durch statistische Verfahren berechnet werden und die Signalbandbreite der stoß- und vibrationsbezogenen Signalkomponenten gering ist, ist auch die Abtastfrequenz des zugehörigen ADC 545, 575, 635 ebenfalls nicht zeitkritisch.

Es ist schließlich anzumerken, dass das vorbeschriebene Verfahren bei einem konventionellen, Komparator-basierten, magnetostriktiven Positionsmesssystem oder bei einem rein Software-basierten magnetostriktiven Positionsmesssystem auf der Grundlage der Auswertung einer vorbeschriebenen Signal-Wellenform implementierbar ist.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines elektromagnetischen, insbesondere magnetostriktiven, Sensors oder Wandlers (500) insbesondere eines Positionsmesssystems (500, 505), dadurch gekennzeichnet, dass ein während des Betriebs des Sensors/Wandlers (500) etwa auftretender, mechanischer Schock- und/oder Vibrationszustand bzw. eine dadurch verursachte Vibration des Sensors/Wandlers (500) durch statistische Auswertung von Signalschwankungen (120, 125) im Bereich einer Grund- bzw. Nulllinie (105) eines von dem Sensor/Wandler (500) bereitgestellten Messsignals erkannt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Auswertung von Signalschwankungen (120, 125) im Bereich der Grund-/Nulllinie (105) ein Vergleich mit einem charakteristischen Verlauf (130) des Messsignals für den ungestörten Fall durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Messsignal digitalisiert wird (545) und sich dabei ergebende Datenpunkte einer entsprechenden Signalwellenform (100 - 105) in einem null-zentrierten, zeitlich beschränkten Ausschnitt (Fig. 1a, b) des Messsignals ausgewertet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass als charakteristischer Verlauf (105, 115) des Messsignals im ungestörten Fall die Signalwellenform eines ungestörten, elektromagnetisch wirksamen, insbesondere magnetostriktiven Materials zugrunde gelegt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Signalwellenformen (100 - 115), welche von dem charakteristischen Verlauf (105, 115) im ungestörten Fall abweichen, als

„unzuverlässig“ gekennzeichnet werden und/oder von der Weiterverarbeitung ausgeschlossen oder mit einer geringeren Gewichtung genommen werden oder gelöscht werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass Signalwellenformen (100 - 115) von der Weiterverarbeitung ausgeschlossen oder mit einer geringeren Gewichtung genommen werden oder gelöscht werden, wenn die Abweichung einer aktuell erfassten Signalwellenform (100 - 115) einen empirisch vorgebbaren Schwellenwert (400) wenigstens einer ermittelten Indikatorgröße (s. Fig. 4a) übersteigt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Abweichung eines aktuell gemessenen Signalwellenform (100 - 115) dadurch quantifiziert wird, dass relevant erhöhte Werte von wenigstens einer ermittelten Indikatorgröße (s. Fig. 4a) dadurch erkannt werden, dass die wenigstens eine Indikatorgröße einen empirisch vorgebbaren Schwellenwert (400) überschreitet, der bei ungestörten Messungen im Voraus bestimmt wurde.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertung von Signalschwankungen im Bereich einer Grund- bzw. Nulllinie (105) der Signalwellenform (100 - 115) durch statistische Auswertung (550, 605) von aus einer Signalwellenform (100 - 115) erzeugten Datenpunkten erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die statistische Auswertung anhand einer oder mehrerer der folgenden mathematischen Auswertemethoden, auf der Grundlage von aus einem Messsignal erzeugten Datenpunkten einer entsprechenden Signalwellenform, erfolgt:
  - "Quantile-Methode", bei der die Differenz zwischen einem ersten und einem letzten Quantil (z.B. einem Quartil) von Datenpunkten der Signalwellenform ausgewertet wird;

- "Histogramm-Methode", bei der die Seiten eines Histogramms der von Datenpunkten der Signalwellenform nahe dem Wert null entsprechend dem Verhältnis Seiten zur Mitte ausgewertet werden;
  - "Standardabweichungsmethode", bei der die Standardabweichung von Datenpunkten der Signalwellenform nahe der Grund-/Nulllinie ausgewertet werden;
  - „Datendichtemethode“, bei der die Datendichte von Datenpunkten der Signalwellenform nahe der Grund-/Nulllinie ausgewertet werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Histogramm-Methode (130, 135) die Anzahl von Datenpunkten in Abhängigkeit vom Wert einer Abweichung vom Wert null ausgewertet wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche zum Betreiben eines magnetostriktiven Sensors bzw. Wandlers (500) eines Positionsmesssystems (500, 505) mit einem magnetostriktiven Wellenleiter (505), wobei durch einen Abfragestromimpuls in dem Wellenleiter (505) ein mechanisches Rotations- oder Torsionswellenpaket erzeugt wird, welches sich in beide Richtungen entlang des Wellenleiters (505) ausbreitet, wobei ein nahe eines Endes des Wellenleiters (505) angeordneter Messaufnehmer (500) zur Aufnahme eines genannten Messsignals vorgesehen ist, um das in dem Wellenleiter (505) fortschreitende Rotations-/Torsionswellenpaket in ein elektronisches Signal umzuwandeln, wobei in einem ersten Zeitabschnitt des Messsignals der Abfragestromimpuls in dem aufgenommenen Messsignal im Bereich der Grund-/Nulllinie ein oszillierendes Abfragerauschen (100) sowie eine von dem Abfragestromimpuls verursachte kollektive mechanische Antwort des Wellenleiters (505) verursacht, und wobei in einem zweiten Zeitabschnitt des Messsignals auf das Abfragerauschen (100) im Bereich der Grund-/Nulllinie ein oszillierendes Grundrauschen (105) sowie ein dem Grundrauschen (105) überlagertes Zielsignal (110) vorliegt, wobei sich an das Zielsignal (110) ein weiteres, oszillierendes Grundrauschen (115) anschließt, dadurch gekennzeichnet, dass für wenigstens einen Zeitbereich mit oszillierendem Rauschen (105, 115) im Bereich der Grund-/Nulllinie (105) Messwerte des

aufgenommenen Messsignals in dem wenigstens einen Zeitbereich mit entsprechenden Messwerten eines durch einen mechanischen Schock- und/oder Vibrationszustand gestörten Sensors/Wandlers (500) und eines nicht-gestörten Sensors/Wandlers (500) ein Vergleich durchgeführt wird und in Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichs auf einen gestörten bzw. nicht-gestörten Zustand des Sensors/Wandlers (500) geschlossen wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die statistische Auswertung auf Zeitabschnitte (s. Fig. 4a, b) von Datenpunkten einer Signalwellenform (100 - 115) beschränkt wird, welche nicht durch das Abfragerauschen (100) oder das überlagerte Zielsignal (110) beeinflusst werden.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass in dem wenigstens einen Zeitbereich aufgenommene Messwerte eines durch einen mechanischen Schock- und/oder Vibrationszustand gestörten Sensors/Wandlers durch niederfrequentes Rauschen (120, 125) gestört sind.
14. Einrichtung zum Betrieb eines elektromagnetischen, insbesondere magnetostriktiven, Sensors oder Wandlers (500) insbesondere eines Positionsmesssystems (500, 505), gekennzeichnet durch eine Auswerteeinheit (515 - 555) zur Erkennung von während des Betriebs des Sensors/Wandlers (500) etwa auftretenden, mechanischen Schock- und/oder Vibrationsbedingungen bzw. einer dadurch verursachten Vibration des Sensors/Wandlers (500) durch Auswertung von Signalschwankungen im Bereich einer Grund- bzw. Nulllinie (105) eines von dem Sensor/Wandler (500) bereitgestellten Messsignals.
15. Einrichtung nach Anspruch 14, gekennzeichnet durch wenigstens einen Verstärker (515, 565) zur Verstärkung des von dem Sensor/Wandler (500) gelieferten Messsignals, einen Komparator (525) zum Vergleichen wenigstens eines Zeitabschnitts des verstärkten Messsignals im Bereich der Grund-/Nulllinie (105) mit einem charakteristischen Verlauf (105, 115) von Datenpunkten einer Signalwellenform (100 - 115) für den ungestörten Fall,

eine Flugzeitanalyseeinheit (530), welche ein Positionsergebnis (535) liefert, einen Analog/Digital-Wandler (545) zur Umwandlung des Messsignals in digitale Datenpunkte einer entsprechenden Signalwellenform, sowie eine Statistikeinheit (550) zur statistischen Auswertung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13 zugeführt wird, um eine Schock-Indikatorgröße (555) zu ermitteln bzw. zu liefern.

16. Einrichtung nach Anspruch 14 oder 15, gekennzeichnet durch wenigstens einen Verstärker (515, 620) zur Verstärkung des von dem Sensor/Wandler (500) gelieferten Messsignals, wenigstens einen Analog/Digital-Wandler (575, 635) zur Umwandlung des Messsignals in Datenpunkte einer entsprechenden Signalwellenform, einen digitalen Signalprozessor (585) zur Auswertung der Messdaten, einer Flugzeitanalyseeinheit (590), welche ein Positionsergebnis (595) liefert, sowie eine Statistikeinheit (605) zur statistischen Auswertung gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13 zugeführt wird, um eine Schock-Indikatorgröße (610) zu ermitteln bzw. zu liefern.

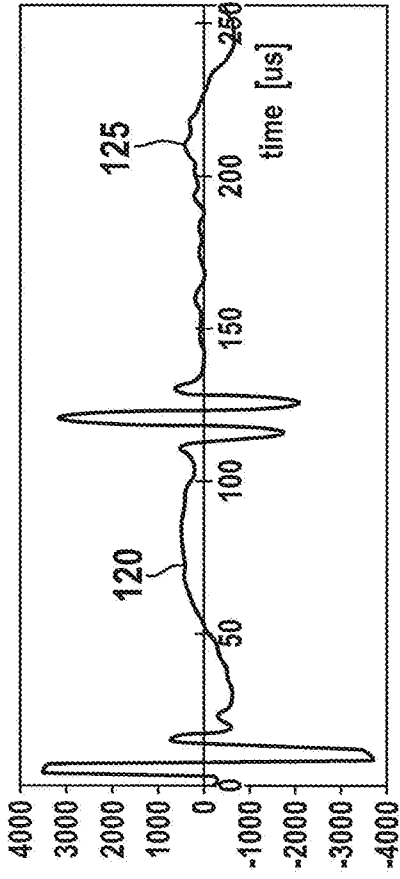


Fig. 1a

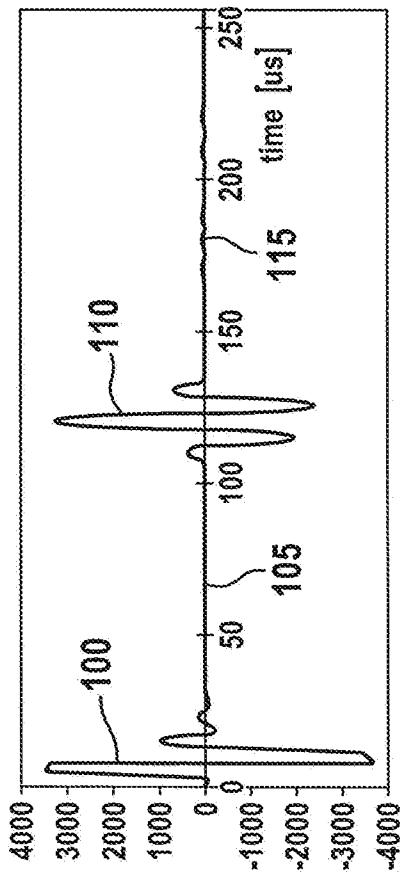


Fig. 1b

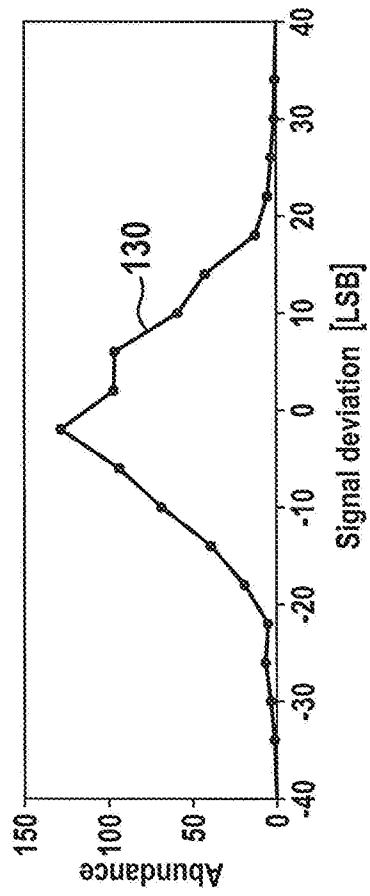


Fig. 1c

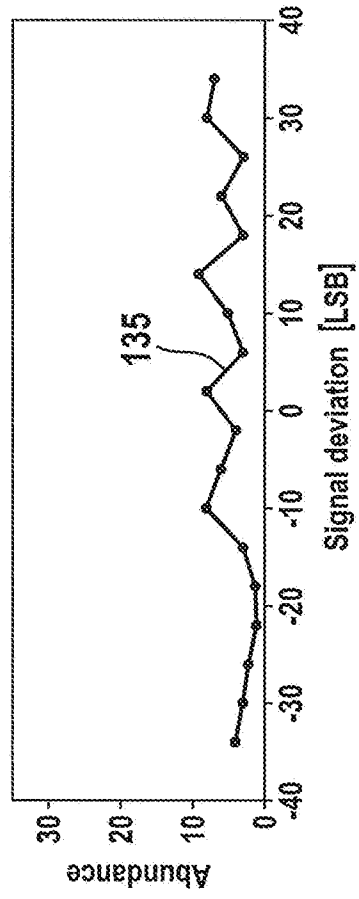


Fig. 1d

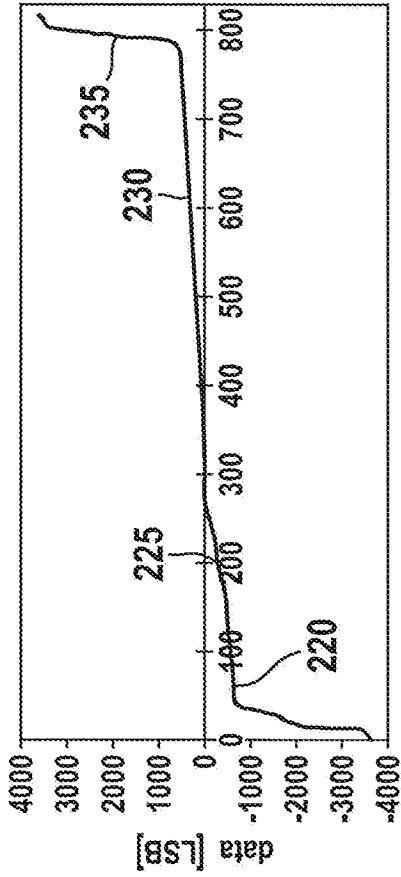


Fig. 2a

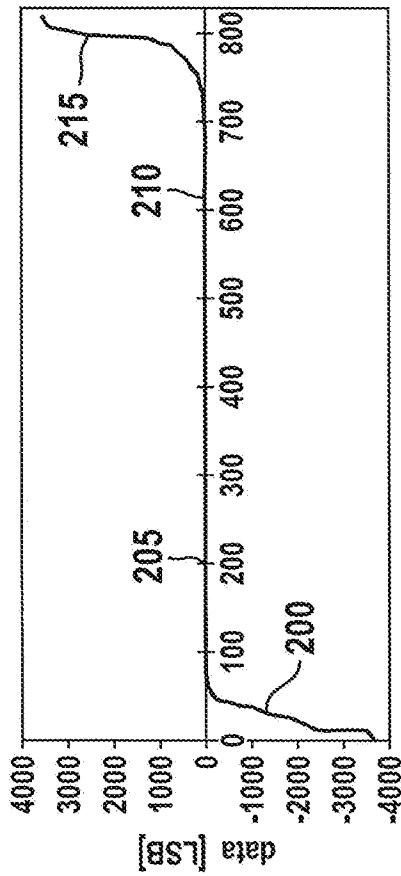


Fig. 2b

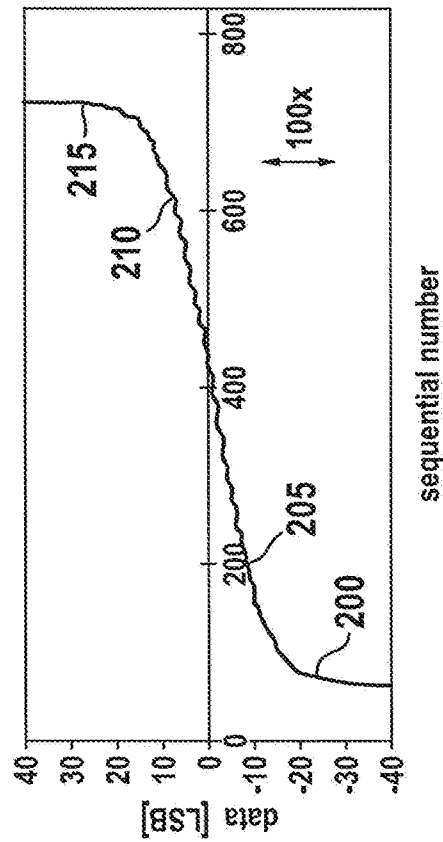


Fig. 2c

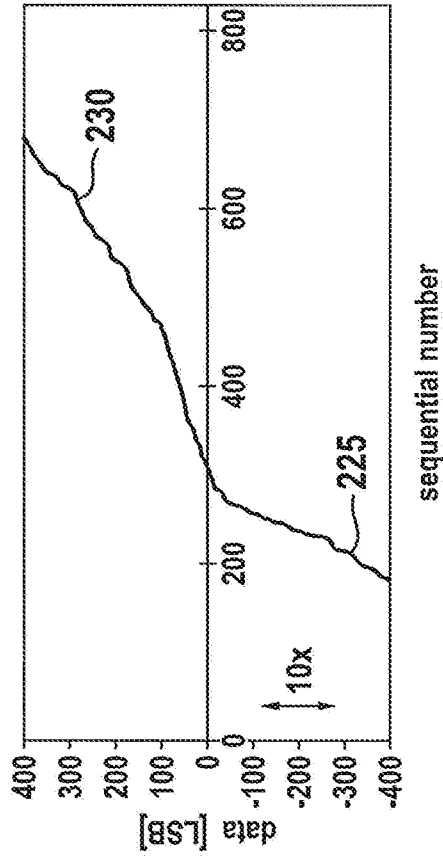
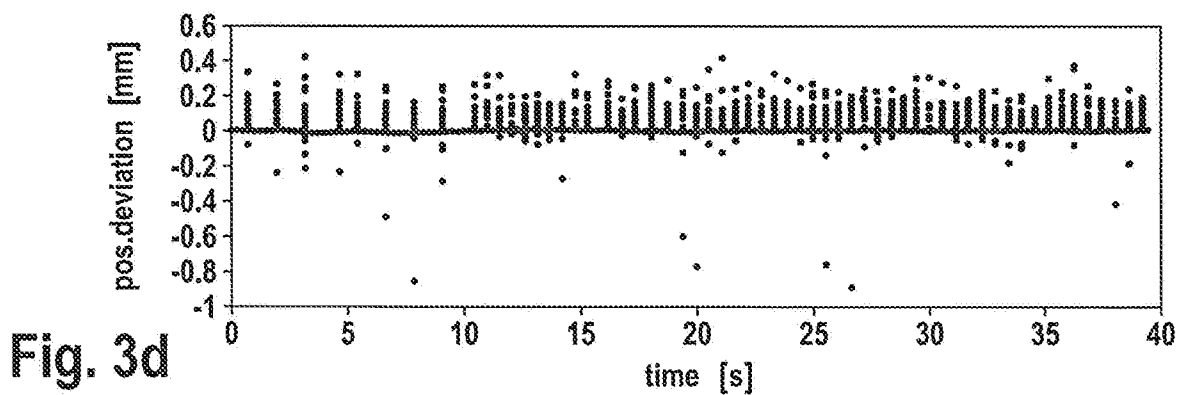
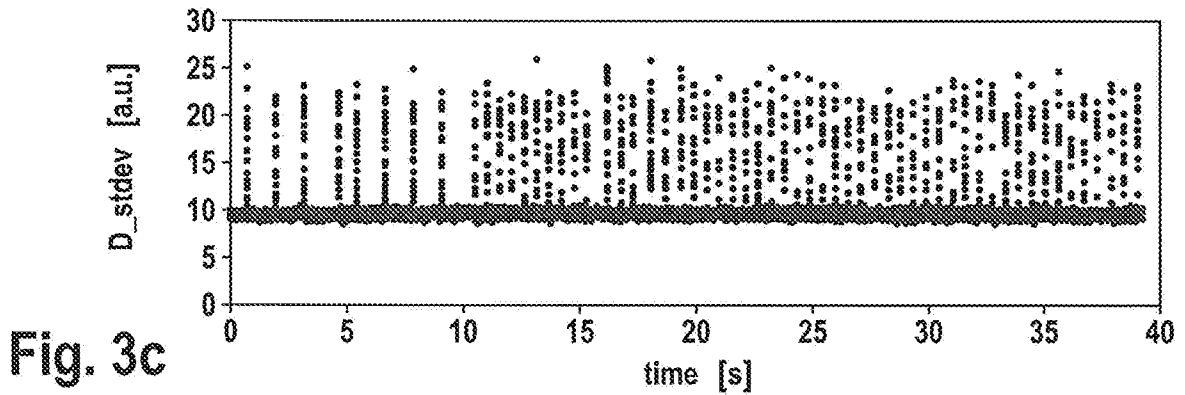
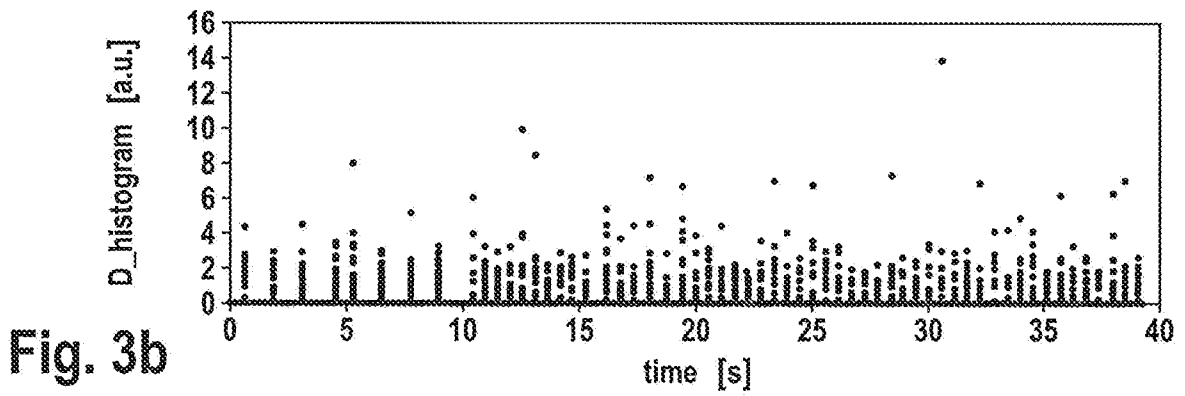
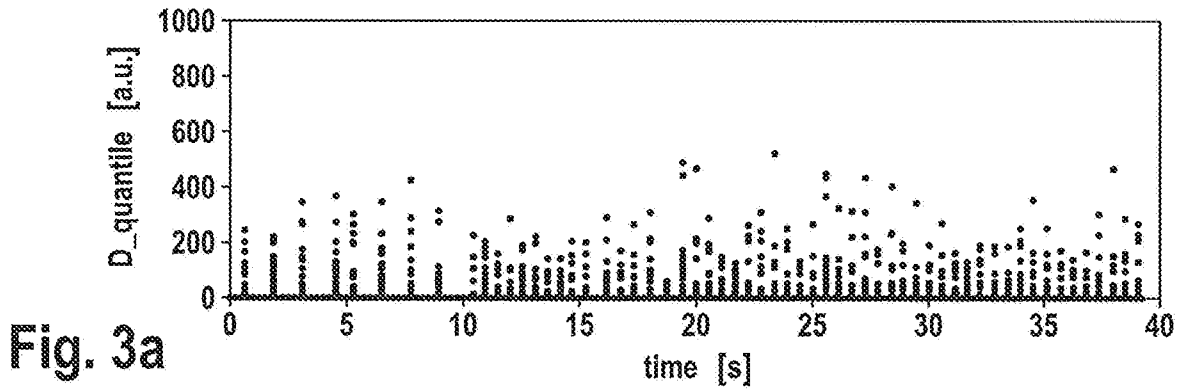


Fig. 2d

3 / 6



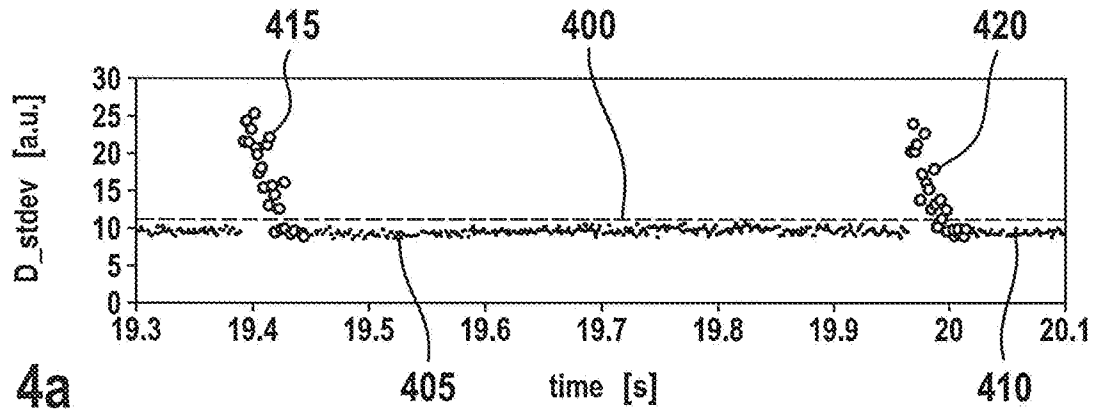


Fig. 4a

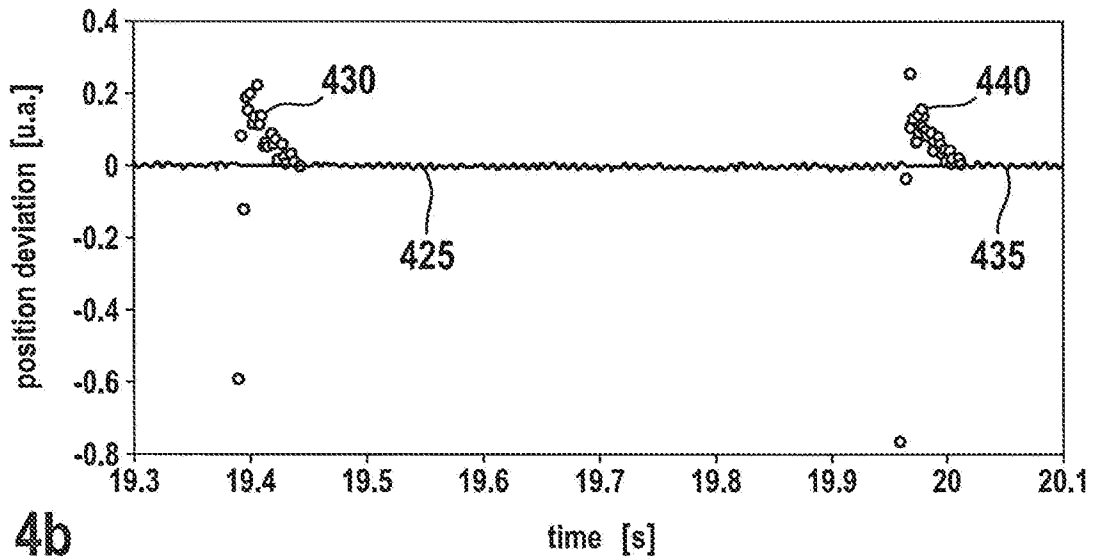


Fig. 4b

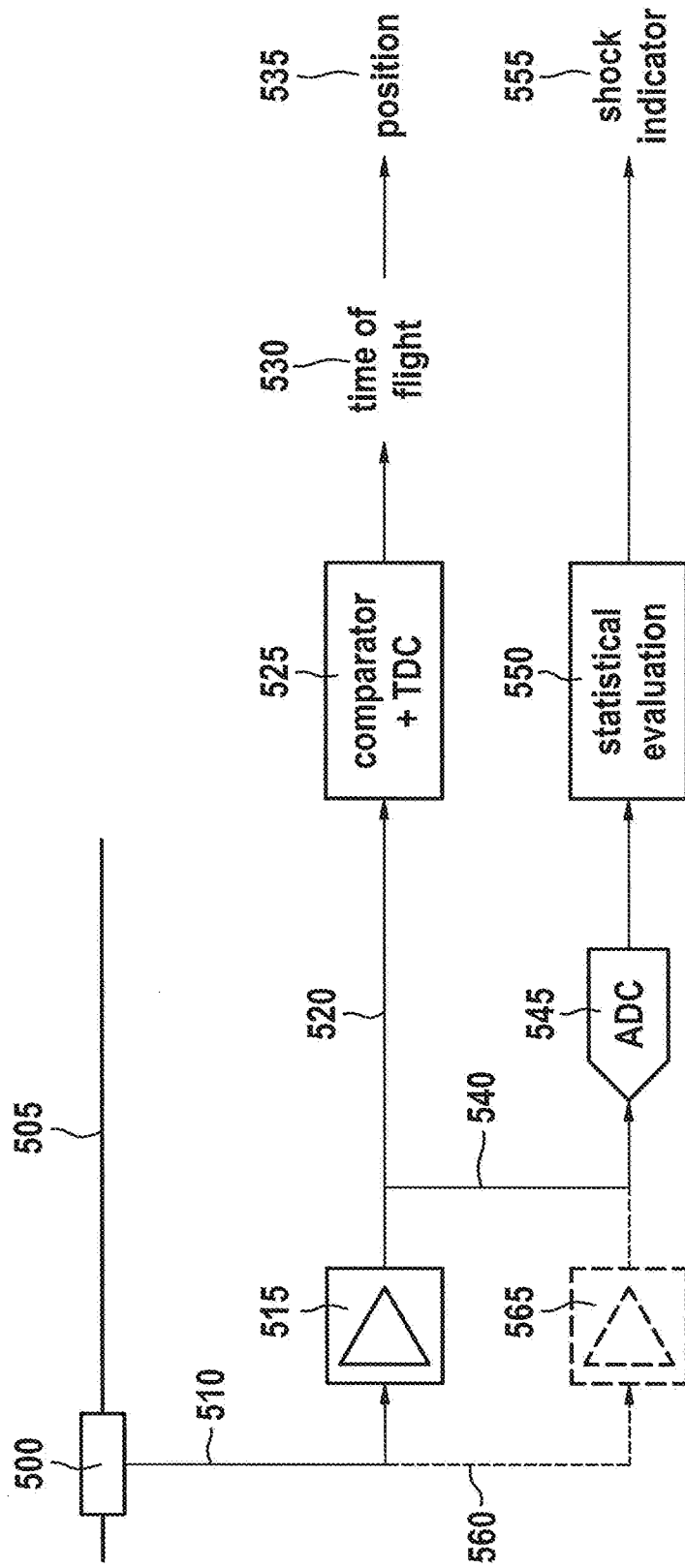


Fig. 5a

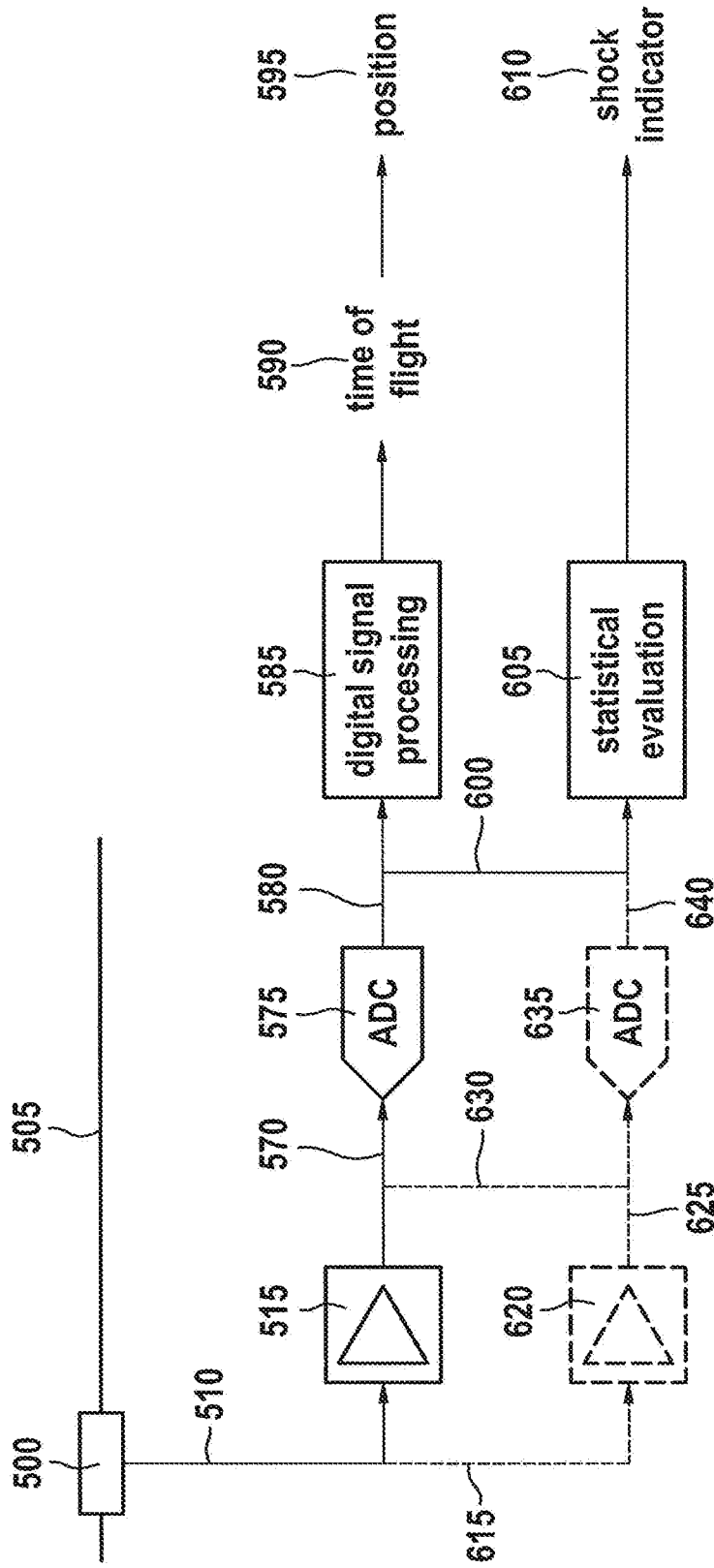


Fig. 5b

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/DE2023/200168**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <b>G01D 5/48</b> (2006.01)i; <b>G01D 3/032</b> (2006.01)n  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01D; G01H; G01B; G01P  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102018116027 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 17 January 2019 (2019-01-17) Summary paragraph [0004] paragraph [0027] paragraph [0036] paragraph [0041] - paragraph [0042]; figures 1, 2 paragraph [0069]; figure 11 figures 12-16	1-10, 14-16
X	US 5365787 A (HERNANDEZ WALTER [US] ET AL) 22 November 1994 (1994-11-22) Summary column 6, line 20 - line 36 column 6, line 51 - column 7, line 11; figure 1 column 22, line 48 - column 23, line 16; figure 10	1-3,5-8,14-16
X	US 6286361 B1 (JONES ALAN R [GB] ET AL) 11 September 2001 (2001-09-11) Summary column 5, line 33 - column 6, line 12 figures 1-3	1-3,5-8,14-16
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>18 December 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>04 January 2024</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Jakob, Clemens</b>  Telephone No.



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/DE2023/200168</b>
---

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102018116027	A1	17 January 2019	DE	102018116027	A1	17 January 2019
				US	2019017487	A1	17 January 2019
US	5365787	A	22 November 1994	AU	7091294	A	23 October 1995
				US	5365787	A	22 November 1994
				WO	9527183	A1	12 October 1995
US	6286361	B1	11 September 2001	NONE			
US	2006278023	A1	14 December 2006	AT	E424548	T1	15 March 2009
				DE	202004002891	U1	07 July 2005
				EP	1571425	A2	07 September 2005
				US	2006278023	A1	14 December 2006

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**

**INV. G01D5/48**  
**ADD. G01D3/032**

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

**G01D G01H G01B G01P**

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**EPO-Internal**

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
<b>X</b>	<p><b>DE 10 2018 116027 A1 (GEN ELECTRIC [US])</b>  <b>17. Januar 2019 (2019-01-17)</b>  <b>Zusammenfassung</b>  <b>Absatz [0004]</b>  <b>Absatz [0027]</b>  <b>Absatz [0036]</b>  <b>Absatz [0041] - Absatz [0042]; Abbildungen</b>  <b>1, 2</b>  <b>Absatz [0069]; Abbildung 11</b>  <b>Abbildungen 12-16</b></p> <p style="text-align: center;">----- -/--</p>	<p><b>1-10,</b>  <b>14-16</b></p>



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

**18. Dezember 2023**

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

**04/01/2024**

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

**Jakob, Clemens**

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>US 5 365 787 A (HERNANDEZ WALTER [US] ET AL) 22. November 1994 (1994-11-22)</p> <p>Zusammenfassung</p> <p>Spalte 6, Zeile 20 - Zeile 36</p> <p>Spalte 6, Zeile 51 - Spalte 7, Zeile 11;</p> <p>Abbildung 1</p> <p>Spalte 22, Zeile 48 - Spalte 23, Zeile 16;</p> <p>Abbildung 10</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-3, 5-8, 14-16
X	<p>US 6 286 361 B1 (JONES ALAN R [GB] ET AL) 11. September 2001 (2001-09-11)</p> <p>Zusammenfassung</p> <p>Spalte 5, Zeile 33 - Spalte 6, Zeile 12</p> <p>Abbildungen 1-3</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-3, 5-8, 14-16
A	<p>US 2006/278023 A1 (GARNEYER BIRGIT [DE] ET AL) 14. Dezember 2006 (2006-12-14)</p> <p>Zusammenfassung</p> <p>Absatz [0034] - Absatz [0036]</p> <p>Absatz [0091] - Absatz [0093]; Abbildungen 1-4</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	11-13

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/DE2023/200168**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>DE 102018116027 A1</b>	<b>17-01-2019</b>	<b>DE 102018116027 A1</b>	<b>17-01-2019</b>
		<b>US 2019017487 A1</b>	<b>17-01-2019</b>
-----			
<b>US 5365787 A</b>	<b>22-11-1994</b>	<b>AU 7091294 A</b>	<b>23-10-1995</b>
		<b>US 5365787 A</b>	<b>22-11-1994</b>
		<b>WO 9527183 A1</b>	<b>12-10-1995</b>
-----			
<b>US 6286361 B1</b>	<b>11-09-2001</b>	<b>KEINE</b>	
-----			
<b>US 2006278023 A1</b>	<b>14-12-2006</b>	<b>AT E424548 T1</b>	<b>15-03-2009</b>
		<b>DE 202004002891 U1</b>	<b>07-07-2005</b>
		<b>EP 1571425 A2</b>	<b>07-09-2005</b>
		<b>US 2006278023 A1</b>	<b>14-12-2006</b>
-----			