

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 8013/2022
(22) Anmeldetag: 20.07.2022
(43) Veröffentlicht am: 15.09.2023

(51) Int. Cl.: **G06F 30/17** (2020.01)
G06F 30/20 (2020.01)

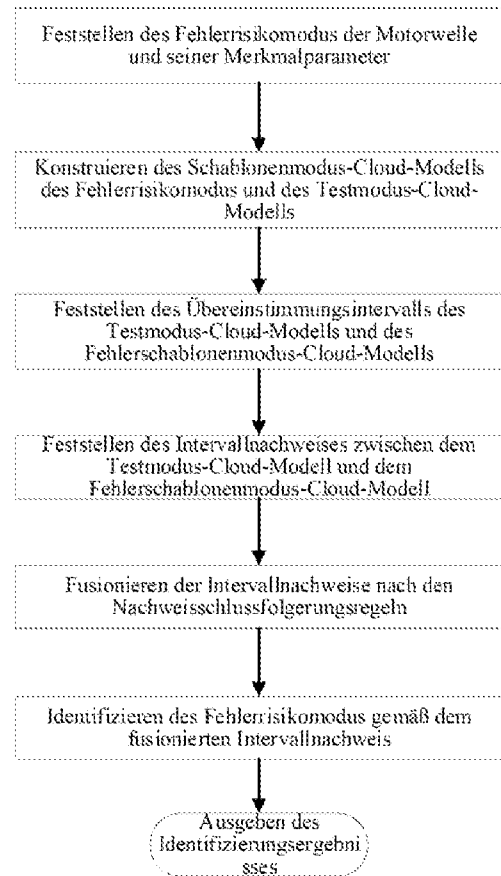
(66) Umwandlung von GM 50117/2022
(30) Priorität:
24.02.2022 CN (U) 202210172214.1 beansprucht.

(71) Patentanmelder:
Hangzhou Dianzi University
Hangzhou (CN)
M-U-T Maschinen-Umwelttechnik-
Transportanlagen GmbH
2000 Stockerau (AT)
Inner Mongolia Vocational and Technical School
- Inner Mongolia (CN)
Technische Universität Wien E302
1060 Wien (AT)

(74) Vertreter:
BABELUK Michael Dipl.-Ing.Mag.
1080 WIEN (AT)

(54) **Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells**

(57) Die Erfindung betrifft ein Identifizierungsverfahren für den Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells. Basierend auf der Analyse typischer Fehlerdaten werden Cloud-Modelle verschiedener Fehlerschablonenmodi unter verschiedenen Fehlermerkmalen konstruiert. Gemäß den Daten der Online-Überwachung verschiedener Fehlermerkmale der Motorwelle wird das Testmodus-Cloud-Modell konstruiert. Das Testmodus-Cloud-Modell wird mit verschiedenen Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modellen verglichen, wodurch die Übereinstimmungsgradintervalle des Testmodus mit verschiedenen Fehlerschablonenmodi erhalten werden. Der erhaltene Übereinstimmungsgradintervall wird normalisiert, um einen Intervallnachweis für die Fusion zu erhalten. Der Intervallnachweis wird nach den Nachweisschlussfolgerungsregeln fusioniert und der Fehlerrisikomodus wird gemäß bestimmten Identifizierungskriterien beurteilt. Die vorliegende Erfindung nutzt die Vorteile des normalen Cloud-Modells zum Beschreiben der Unschärfe und Zufälligkeit objektiver Objekte und erhält genauere Intervallnachweise durch Konstruieren des Testmodus-Cloud-Modells und des Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modells, so dass das Ergebnis der Fehlerrisikoidentifikation basierend auf der Fusion des Intervallnachweises mehr der tatsächlichen Situation entspricht.



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells. Basierend auf der Analyse typischer Fehlerdaten werden Cloud-Modelle verschiedener Fehlerschablonenmodi unter verschiedenen Fehlermerkmalen konstruiert. Gemäß den Daten der Online-Überwachung verschiedener Fehlermerkmale der Motorwelle wird das Testmodus-Cloud-Modell konstruiert. Der Testmodus-Cloud-Modell wird mit verschiedenen Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modellen verglichen, wodurch die Übereinstimmungsgradintervalle des Testmodus mit verschiedenen Fehlerschablonenmodi erhalten werden. Der erhaltene Übereinstimmungsgradintervall wird normalisiert, um einen Intervallnachweis für Fusion zu erhalten. Der Intervallnachweis wird nach den Nachweisschlussfolgerungsregeln fusioniert und der Fehlerrisikomodus wird gemäß bestimmten Identifizierungskriterien beurteilt. Die vorliegende Erfindung nutzt die Vorteile des normalen Cloud-Modells zum Beschreiben der Unschärfe und Zufälligkeit objektiver Objekte und erhält genauere Intervallnachweise durch Konstruieren des Testmodus-Cloud-Modells und des Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modells, so dass das Ergebnis der Fehlerrisikoidentifikation basierend auf der Fusion des Intervallnachweises mehr der tatsächlichen Situation spricht.

Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells, das zum Gebiet von Fehlerdiagnose und Wartungstechnik für mechanische Geräte gehört.

Stand der Technik

Mit der Entwicklung von Wissenschaft und Technologie findet die Motorwellenanlage allmählich eine Anwendung für einige komplexe, schnelle und präzise mechanische Bewegungszwecke. Aufgrund der immer engeren Verbindung zwischen mechanischen Komponenten sind Fehler der Motorwellenanlage unvermeidlich. Sobald ein Fehler auftritt, kann er direkt dazu führen, dass das gesamte mechanische System nicht mehr normal funktioniert, wodurch die Arbeitseffizienz beeinträchtigt wird, so dass wirtschaftliche Verluste verursacht werden. Es führt sogar zu damit verbundenen Sicherheitsproblemen. Daher ist die Verwendung der Fehlerrisikomodus-Identifikationstechnologie zur rechtzeitigen und genauen Bestimmung des Auftretens von Fehlerrisiken von großer praktischer Bedeutung für die Erhöhung der Sicherheit der Anlage.

Bei der Identifizierung des Fehlerrisikomodus des Motorwellensystems gibt es häufig aufgrund des Einflusses der Messumgebung und der Echtzeitänderung des Betriebszustands der Anlage selbst selten eine signifikante Eins-zu-eins-Korrelation zwischen dem Fehlerrisikomodus

des Motorwellensystems und dem Einzelfehlermerkmal. Durch die herkömmlichen Einzelsensor-, Einzelfaktorüberwachungs- und Einzelmodell-Verarbeitungs- und -Identifizierungsverfahren ist es unmöglich, genaue und effiziente Beurteilung über den Fehlerrisikomodus des Motorwellensystems durchzuführen. Um die Genauigkeit der Fehlerrisikoidentifikation zu erhöhen, werden mehrere Sensoren verwendet, um unterschiedliche Fehlermerkmalinformationen durch Multi-Source-Informationsfusionstechnologie zu sammeln. Entsprechend diesen Informationen werden bestimmte Regeln zur Fusion verwendet, um eine genauere Beschreibung des Fehlerrisikomodus zu erhalten, damit die Zuverlässigkeit der Identifizierung erhöht wird.

Aufgabe der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells bereitzustellen, das durch die Beschreibung verschiedener Fehlerrisikomodi unter verschiedenen Fehlermerkmalen den Intervallnachweis gemäß dem normalen Cloud-Modell erhält. Der erhaltene Intervallnachweis wird unter verschiedenen Fehlermerkmalen durch die Nachweisschlussfolgerungsregeln fusioniert. Basierend auf dem Intervallzuverlässigkeit nach der Fusion wird die Beurteilung des Fehlerrisikomodus der Motorwelle gemäß den Identifikationskriterien erhalten.

Das Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus des Motorwellensystems basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells der Erfindung enthält folgende Schritte:

(1) Die Drehzahl der Welle wird auf ρ U/min eingestellt, $1000 \leq \rho \leq 2500$, und die Fehlermenge aus dem Fehlerrisikomodus des Wellensystems ist $\Theta=\{X,Y,Z\}$, wobei X für Unwuchtfehler in der Motorwelle und Y für Fehlausrichtungsfehler in der Motorwelle und Z für losen Basisfehler in der Motorwelle steht;

(2) durch den Vibrationsbeschleunigungssensor und den Vibrationsverschiebungssensor, die in horizontaler und vertikaler Richtung der Wellenhalterung installiert sind, wird gemäß dem eingestellten Zeitintervall die Zeitbereichsvibrationssequenz kontinuierlich erfasst; durch Fourier-Transformation werden die Amplituden bei 1- bis 3 Oktavband der Vibrationsbeschleunigung und die durchschnittliche Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung erhalten. Sie werden als Fehlermerkmale verwendet;

in dem Fehlerrisikomodus $U, U \in \{X,Y,Z\}$ des Wellensystems werden die Daten von vier Fehlermerkmalen, nämlich die Amplitude bei 1 Oktavband, 2 Oktavband und 3 Oktavband der Vibrationsbeschleunigung erfasst und als $F_U, F_U = \{f_{i,1}^U, \dots, f_{i,n}^U, \dots, f_{i,N}^U\}$ bezeichnet, wobei $i=1,2,3,4$ für die obigen vier Fehlermerkmale und N für die Anzahl der erfassten Probendaten steht, $50 \leq N \leq 500$;

(3) das Schablonenmodus-Cloud-Modell des Fehlerrisikomodus U unter der Fehlermerkmal i wird als C_i^U eingestellt; das Wolkentröpfchen des Schablonenmodus-Cloud-Modells wird als $c_{i,g}^U$ bezeichnet, wobei $g=1,2,\dots,G$, G für die Gesamtzahl der Wolkentröpfchen steht, $1000 \leq G \leq 5000$; die Schablonenmodus-Cloud-Modelle für drei Fehlerrisikomodi unter vier Fehlermerkmalen werden konstruiert;

(4) ein Satz von Testprobedaten werden online erhalten und als $F_i, F_i = \{f_{i,1}, \dots, f_{i,n}, \dots, f_{i,N_1}\}$ bezeichnet, wobei $N_1 \leq N$ für die Gesamtzahl der Online-Probendaten steht;

(5) die Daten des Fehlerrisikomodus U unter dem Fehlermerkmal i in Schritt (3) wird durch F_i ersetzt und der gesamte Berechnungsprozess von Schritt (3) wird wiederholt, um das Testmodus-Cloud-Modell unter 4 Fehlermerkmalen zu

erhalten: $\{C_1, C_2, C_3, C_4\}, C_i = \{d_{i,1}, \dots, d_{i,g}, \dots, d_{i,G} \mid d_{i,g} = \{c_{i,g}, \mu(c_{i,g})\}\}$

(6) unter dem Fehlermerkmal i wird der Übereinstimmungsgrad des Schablonenmodus-Cloud-Modell C_i^U und des Testmodus-Cloud-Modells C_i berechnet, wodurch der Intervallnachweis, dass das Testmodus-Cloud-Modell C_i das Auftreten von drei Fehlerrisikomodis unterstützt, erhalten wird;

(7) der in Schritt (6) erhaltene Intervallnachweis $M_i(\theta) = [a_{i,\theta}^*, b_{i,\theta}^*], \theta \in \{X, Y, Z, \Theta\}$ wird unter Verwendung von Nachweisschlussfolgerungsregeln fusioniert.

(8) gemäß Schritt (7) wird das Ergebnis von H^4 Fusion erhalten und der nach der Fusion erhaltene Intervallnachweis θ wird wie folgt berechnet

$$M(\theta) = [a_\theta, b_\theta] \quad (1)$$

$$a_\theta = \min_l [p_{l,e(4)}^\theta] \quad (2)$$

$$b_\theta = \max_l [p_{l,e(4)}^\theta] \quad (3)$$

Gemäß den Formeln (1)–(3) kann der Intervallnachweis des normalen Cloud-Modells nach der Fusion erhalten werden, wie in Tabelle 1 gezeigt:

Tabelle 1 Tabelle des Fusionsergebnisses

Intervallnachweis	$M(X)$	$M(Y)$	$M(Z)$	$M(\Theta)$
Fusionsergebnis	$[a_X, b_X]$	$[a_Y, b_Y]$	$[a_Z, b_Z]$	$[a_\Theta, b_\Theta]$

(9) Gemäß dem in Tabelle 1 gezeigten Intervallnachweis ist das Fehlerrisikomodus-Identifikationskriterium gegeben, d. h., wenn die folgenden zwei Bedingungen erfüllt sind, kann es festgestellt werden, dass der Fehlerrisikomodus, auf den die Prüfprobe F_i zeigt, $\theta, \theta \in \{X, Y, Z, \Theta\}$ ist:

○,1 der linke und rechte Endpunkt des Intervallnachweises $M(\theta), (\theta \neq \Theta)$ sind größer als die linken und rechten Endpunkte der entsprechenden Intervallnachweise der anderen Fehlerrisikomodis, die dem Intervallnachweis;

○,2 der rechte Endpunkt von $M(\Theta)$ ist kleiner als 0,3.

Die Vorteile der Erfindung sind:

1. Die vorliegende Erfindung nutzt die Vorteile des normalen Cloud-Modells zum Beschreiben der Unschärfe und Zufälligkeit objektiver Objekte und erhält genauere Intervallnachweise durch Konstruieren des Testmodus-Cloud-Modells und des Fehlerschablonen-Cloud-Modells, so dass das Ergebnis der Fehlerrisikoidentifikation basierend auf der Fusion des Intervallnachweises mehr der tatsächlichen Situation spricht.

2. Da es keine klare Abbildungsbeziehung zwischen einem einzelnen Fehlermerkmal und dem Fehlerrisikomodus der Motorwelle gibt, kombiniert die vorliegende Erfindung Informationen unter verschiedenen Fehlermerkmalen, nimmt eine Vielzahl von Informationsfusionsverfahren an und fusioniert gemäß Nachweisschlussfolgerungsregeln, wodurch die Genauigkeit der Identifizierung von Fehlerrisikomoduli erhöht wird.

3. Da die Messung von Ungewissheitsinformationen oder Fuzzy-Informationen durch Einzelnachweis unvollständig und grob ist und der Messprozess viele nützliche Informationen verlieren kann, nimmt die vorliegende Erfindung einen Intervallnachweis an, wodurch die Integrität der Messung von Ungewissheitsinformationen sichergestellt wird, so dass die Ergebnisse der Fusionsidentifikation umfassender und zuverlässiger werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ein Ablaufdiagramm der Erfindung,

Fig. 2 eine Darstellung des Übereinstimmens des Testmodus-Cloud-Modells und drei Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modelle der Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 3 eine Darstellung des Aufbaus des Identifizierungsverfahrens für Fehlerrisikomodus der Motorwelle der Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 4 eine Darstellung des Übereinstimmens des Testmodus-Cloud-Modells und drei Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modelle unter dem Fehlermerkmal der „Amplitude bei 1 Oktavband der

Vibrationsbeschleunigung“ der Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 5 eine Darstellung des Übereinstimmens des Testmodus-Cloud-Modells und drei Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modelle unter dem Fehlermerkmal der „Amplitude bei 2 Oktavband der Vibrationsbeschleunigung“ der Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 6 eine Darstellung des Übereinstimmens des Testmodus-Cloud-Modells und drei Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modelle unter dem Fehlermerkmal der „Amplitude bei 3 Oktavband der Vibrationsbeschleunigung“ der Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 7 eine Darstellung des Übereinstimmens des Testmodus-Cloud-Modells und drei Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modelle unter dem Fehlermerkmal der „durchschnittlichen Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung“ der Ausführungsform der Erfindung.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

Die Erfindung betrifft ein Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells. Basierend auf der Analyse typischer Fehlerdaten werden Cloud-Modelle verschiedener Fehlerschablonenmodi unter verschiedenen Fehlermerkmalen konstruiert. Gemäß den Daten der Online-Überwachung verschiedener Fehlermerkmale der Motorwelle wird das Testmodus-Cloud-Modell

konstruiert. Der Testmodus-Cloud-Modell wird mit verschiedenen Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modellen verglichen, wodurch die Übereinstimmungsgradintervalle des Testmodus mit verschiedenen Fehlerschablonenmodi erhalten werden. Der erhaltene Übereinstimmungsgradintervall wird normalisiert, um einen Intervallnachweis für Fusion zu erhalten. Der Intervallnachweis wird nach den Nachweisschlussfolgerungsregeln fusioniert und der Fehlerrisikomodus wird gemäß bestimmten Identifizierungskriterien beurteilt. Die vorliegende Erfindung enthält insbesondere die folgenden Schritte:

(1) Die Drehzahl der Welle wird auf ρ U/min eingestellt, $1000 \leq \rho \leq 2500$, und die Fehlermenge aus dem Fehlerrisikomodus des Wellensystems ist $\Theta=\{X,Y,Z\}$, wobei X für Unwuchtfehler in der Motorwelle und Y für Fehlausrichtungsfehler in der Motorwelle und Z für losen Basisfehler in der Motorwelle steht.

(2) Durch den Vibrationsbeschleunigungssensor und den Vibrationsverschiebungssensor, die in horizontaler und vertikaler Richtung der Wellenhalterung installiert sind, wird gemäß dem eingestellten Zeitintervall die Zeitbereichsvibrationssequenz kontinuierlich erfasst. Durch Fourier-Transformation werden die Amplituden bei 1- bis 3 Oktavband der Vibrationsbeschleunigung und die durchschnittliche Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung erhalten. Sie werden als Fehlermerkmale verwendet.

In dem Fehlerrisikomodus $U, U \in \{X,Y,Z\}$ des Wellensystems werden die Daten von vier Fehlermerkmalen, nämlich die Amplitude bei 1 Oktavband, 2 Oktavband und 3 Oktavband der Vibrationsbeschleunigung

erfasst und als $F_U, F_U = \{f_{i,1}^U, \dots, f_{i,n}^U, \dots, f_{i,N}^U\}$ bezeichnet, wobei $i=1,2,3,4$ für die obigen vier Fehlermerkmale und N für die Anzahl der erfassten Probendaten steht, $50 \leq N \leq 500$.

(3) Das Schablonenmodus-Cloud-Modell des Fehlerrisikomodus U unter dem Fehlermerkmal i wird als C_i^U eingestellt. Das Wolkentröpfchen des Schablonenmodus-Cloud-Modells wird als $c_{i,g}^U$ bezeichnet, wobei $g=1,2,\dots,G$, G für die Gesamtzahl der Wolkentröpfchen steht, $1000 \leq G \leq 5000$. Die Schablonenmodus-Cloud-Modelle für drei Fehlerrisikomodi unter vier Fehlermerkmalen werden konstruiert.

(4) Ein Satz von Testprobedaten werden online erhalten und als $F_i, F_i = \{f_{i,1}, \dots, f_{i,n}, \dots, f_{i,N_1}\}$ bezeichnet, wobei $N_1 \leq N$ für die Gesamtzahl der Online-Probendaten steht.

(5) Die Daten des Fehlerrisikomodus U unter dem Fehlermerkmal i in Schritt (3) wird durch Fi ersetzt und der gesamte Berechnungsprozess von Schritt (3) wird wiederholt, um das Testmodus-Cloud-Modell unter 4 Fehlermerkmalen zu erhalten:

$$\{C_1, C_2, C_3, C_4\}, C_i = \{d_{i,1}, \dots, d_{i,g}, \dots, d_{i,G} \mid d_{i,g} = \{c_{i,g}, \mu(c_{i,g})\}\}.$$

(6) Unter dem Fehlermerkmal i wird der Übereinstimmungsgrad des Schablonenmodus-Cloud-Modells C_i^U und des Testmodus-Cloud-Modells C_i berechnet, wodurch der Intervallnachweis, dass das Testmodus-Cloud-Modell C_i das Auftreten von drei Fehlerrisikomodi unterstützt, erhalten wird.

(7) Der in Schritt (6) erhaltene Intervallnachweis $M_i(\theta)=[a_{i,\theta}^*, b_{i,\theta}^*], \theta \in \{X, Y, Z, \Theta\}$ wird unter Verwendung von Nachweisschlussfolgerungsregeln fusioniert.

(8) Gemäß Schritt (7) wird das Ergebnis von H^+ Fusion erhalten und der nach der Fusion erhaltene Intervallnachweis θ wird wie folgt berechnet

$$M(\theta)=[a_\theta, b_\theta] \quad (4)$$

$$a_\theta = \min_l [p_{l,e(4)}^\theta] \quad (5)$$

$$b_\theta = \max_l [p_{l,e(4)}^\theta] \quad (6)$$

Gemäß den Formeln (1)–(3) kann der Intervallnachweis des normalen Cloud-Modells nach der Fusion erhalten werden, wie in Tabelle 2 gezeigt:

Tabelle 2 Tabelle des Fusionsergebnisses

Intervallnachweis	$M(X)$	$M(Y)$	$M(Z)$	$M(\Theta)$
Fusionsergebnis	$[a_X, b_X]$	$[a_Y, b_Y]$	$[a_Z, b_Z]$	$[a_\Theta, b_\Theta]$

(9) Gemäß dem in Tabelle 2 gezeigten Intervallnachweis ist das Fehlerrisikomodus-Identifikationskriterium gegeben, d. h., wenn die folgenden zwei Bedingungen erfüllt sind, kann es festgestellt werden, dass der Fehlerrisikomodus, auf den die Prüfprobe F_i zeigt, $\theta, \theta \in \{X, Y, Z, \Theta\}$ ist:

○,1Der linke und rechte Endpunkt des Intervallnachweises $M(\theta), (\theta \neq \Theta)$ sind größer als die linken und rechten Endpunkte der entsprechenden Intervallnachweise der anderen Fehlerrisikomodi.

○,2Der rechte Endpunkt von $M(\Theta)$ ist kleiner als 0,3.

Insbesondere ist 1 Oktavband ($\rho/60$) Hz, 2 Oktavband ($\rho/30$) Hz und 3

Oktavband (p/15) Hz.

Insbesondere verwenden der Vibrationsbeschleunigungssensor und der Vibrationsverschiebungssensor $\Delta t = 16s$ als Zeitintervall, um kontinuierlich Zeitbereichsvibrationssequenz zu erfassen.

Insbesondere ist Schritt (3) wie folgt:

(3.1) Aus Schritt (2) können die Daten $F_U, F_U = \{f_{i,1}^U, \dots, f_{i,n}^U, \dots, f_{i,N}^U\}$ des Fehlerrisikomodus U unter Fehlermerkmal i erhalten werden, wobei der arithmetische Mittelwert als Erwartungswert $EX_{i,U}$ des Cloud-Modells genommen wird.

$$EX_{i,U} = \frac{1}{N} \times \sum_{n=1}^N f_{i,n}^U \quad (7)$$

(3.2) Die Entropie von C_i^U ist En , $0,05 \leq En \leq 0,1$. Der Superentropiewert ist He , $0,005 \leq He \leq 0,1$ und $He < \frac{En}{3}$.

(3.3) Die Entropie wird als Erwartung und die Superentropie wird als Standardabweichung genommen, um eine normale Zufallszahl $y_{i,1}^U$ zu erzeugen. Dann wird $EX_{i,U}$ als Erwartung und $|y_{i,1}^U|$ als Standardabweichung genommen, um eine normale Zufallszahl zu erzeugen, die als Wolkentröpfchen $c_{i,1}^U$ genommen wird.

(3.4) Der Gewissheitsgrad $\mu(c_{i,1}^U), \mu(c_{i,1}^U) \in [0,1]$, der dem Wolkentröpfchen $c_{i,1}^U$ entspricht, wird berechnet. Der Gewissheitsgrad $\mu(c_{i,1}^U)$ hat die

Eigenschaft der Wahrscheinlichkeit. Die spezifische Berechnungsmethode ist wie folgt:

$$\mu(c_{i,1}^U) = \exp\left(-\frac{(c_{i,1}^U - EX_{i,U})^2}{2(y_{i,1}^U)^2}\right) \quad (8)$$

(3.5) $d_{i,1}^U = \{c_{i,1}^U, \mu(c_{i,1}^U)\}$ wird verwendet, um die Positionsinformationen von Wolkentröpfchen $c_{i,1}^U$ im zweidimensionalen Raum widerzuspiegeln. Der Berechnungsprozess der Schritte (3.3)–(3.4) wird G-mal wiederholt, bis G Wolkentröpfchen und ihre jeweiligen Gewissheitsgrade erzeugt werden, wodurch das Schablonenmodus-Cloud-Modell $C_i^U = \{d_{i,1}^U, \dots, d_{i,g}^U, \dots, d_{i,G}^U\}$ des Fehlerrisikomodus U unter dem Fehlermerkmal i erhalten werden kann. Dann können für drei Fehlerrisikomodi unter vier Fehlermerkmalen insgesamt $4 \times 3 = 12$ Schablonenmodus-Cloud-Modelle erzeugt werden.

Das Schablonenmodus-Cloud-Modell der drei Fehlerrisikomodi unter dem Merkmal der Amplitude bei 1 Oktavband ist $\{C_1^X, C_1^Y, C_1^Z\}, C_1^U = \{d_{1,1}^U, \dots, d_{1,g}^U, \dots, d_{1,G}^U \mid U \in (X, Y, Z)\}$;

Das Schablonenmodus-Cloud-Modell der drei Fehlerrisikomodi unter dem Merkmal der Amplitude bei 2 Oktavband ist $\{C_2^X, C_2^Y, C_2^Z\}, C_2^U = \{d_{2,1}^U, \dots, d_{2,g}^U, \dots, d_{2,G}^U \mid U \in (X, Y, Z)\}$;

Das Schablonenmodus-Cloud-Modell der drei Fehlerrisikomodi unter dem Merkmal der Amplitude bei 3 Oktavband ist $\{C_3^X, C_3^Y, C_3^Z\}, C_3^U = \{d_{3,1}^U, \dots, d_{3,g}^U, \dots, d_{3,G}^U \mid U \in (X, Y, Z)\}$;

Das Schablonenmodus-Cloud-Modell der drei Fehlerrisikomodi unter dem Merkmal der durchschnittlichen Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung ist

$$\{C_4^X, C_4^Y, C_4^Z\}, C_4^U = \{d_{4,1}^U, \dots, d_{4,g}^U, \dots, d_{4,G}^U \mid U \in (X, Y, Z)\}$$

Insbesondere ist Schritt (6) wie folgt:

(6.1) Die Erwartungskurve mit Entropie des Schablonenmodus-Cloud-Modells wird als

$$V_i^U(x_i^U) = \exp\left(-\frac{(x_i^U - EX_{i,U})^2}{2(En^2 + He^2)}\right) \text{ konstruiert. Die Erwartungskurve mit}$$

$$\text{Entropie des Testmodus-Cloud-Modells ist } V_i(x_i) = \exp\left(-\frac{(x_i - EX_i)^2}{2(En^2 + He^2)}\right),$$

wobei x_i^U und x_i Zufallsvariablen sind und der Gaußschen Verteilung

$$x_i^U \sim N(EX_{i,U}, \overline{En}^2), x_i \sim N(EX_i, \overline{En}^2), \overline{En} \sim N(En, He^2) \text{ entspricht.}$$

(6.2) Unter dem Fehlermerkmal i wird der Schnittpunkt J_i^U des Schablonenmodus-Cloud-Modells der drei Fehlerrisikomodi $V_i^U(x_i^U)$ und des Testmodus-Cloud-Modells $V_i(x_i)$ erhalten, wobei seine Koordinaten im zweidimensionalen Raum (α_i^U, β_i^U) sind. Das spezifische Berechnungsverfahren ist wie folgt:

$$\alpha_i^U = \frac{EX_{i,U} + EX_i}{2} \quad (9)$$

$$\beta_i^U = \exp\left(-\frac{(EX_{i,U} - EX_i)^2}{8(En^2 + He^2)}\right) \quad (10)$$

(6.3) Aus Schritt (3.5) wurde erhalten, dass unter dem Fehlermerkmal i die Koordinaten der Wolkentröpfchen der drei Schablonenmodus-Cloud-Modelle im zweidimensionalen Raum $d_{i,g}^U = \{c_{i,g}^U, \mu(c_{i,g}^U)\}$ ist. $\{c_{i,k}^U \mid k=1,2,\dots,K\}$ wird als die K Wolkentröpfchen eingestellt, die dem Schnittpunkt J_i^U am nächsten sind, und $100 \leq K \leq 250$. Der Gewissheitsgrad $\mu(c_{i,k}), \mu(c_{i,k}) \in [0,1]$ dieser Wolkentröpfchen ist der Übereinstimmungsgrad zwischen dem Testmodus-Cloud-Modell C_i und dem Schablonenmodus-Cloud-Modell C_i^U und bildet einen Übereinstimmungsgradsatz $\phi_i^U = \{\mu(c_{i,1}^U), \dots, \mu(c_{i,k}^U), \dots, \mu(c_{i,K}^U)\}$. Der Minimalwert von ϕ_i^U ist $a_{i,U}, a_{i,U} = \min_i(\phi_i^U)$ und der Maximalwert ist $b_{i,U}, b_{i,U} = \max_i(\phi_i^U)$, wodurch das Übereinstimmungsgradintervall gebildet ist:

$$I_i(U) = [a_{i,U}, b_{i,U}] \quad (11)$$

(6.4) $I_i(U)$ wird normalisiert, um das normalisierte Übereinstimmungsgradintervall zu erhalten:

$$M_i(U) = [a_{i,U}^*, b_{i,U}^*] \quad U \in \{X, Y, Z\} \quad (12)$$

$$a_{i,X}^* = \frac{a_{i,X}}{a_{i,X} + \sum b_{i,X \cap U = \emptyset}} \leq M_i(X) \leq \frac{b_{i,X}}{b_{i,X} + \sum a_{i,X \cap U = \emptyset}} = b_{i,X}^* \quad (13)$$

$$a_{i,Y}^* = \frac{a_{i,Y}}{a_{i,Y} + \sum b_{i,Y \cap U = \emptyset}} \leq M_i(Y) \leq \frac{b_{i,Y}}{b_{i,Y} + \sum a_{i,Y \cap U = \emptyset}} = b_{i,Y}^* \quad (14)$$

$$a_{i,Z}^* = \frac{a_{i,Z}}{a_{i,Z} + \sum b_{i,Z \cap U = \emptyset}} \leq M_i(Z) \leq \frac{b_{i,Z}}{b_{i,Z} + \sum a_{i,Z \cap U = \emptyset}} = b_{i,Z}^* \quad (15)$$

(6.5) Das Übereinstimmungsgradintervall der Fehlermenge $\Theta = \{X, Y, Z\}$ wird wie folgt berechnet:

$$M_i(\Theta) = [a_{i,\Theta}^*, b_{i,\Theta}^*] \quad (16)$$

$$a_{i,\Theta}^* = \begin{cases} 1 - \sum b_{i,U}^* & , (1 - \sum b_{i,U}^*) \geq 0 \\ 0 & , (1 - \sum b_{i,U}^*) < 0 \end{cases} \quad (17)$$

$$b_{i,\Theta}^* = 1 - \sum a_{i,U}^* \quad (18)$$

$M_i(\Theta)$ misst die Gesamtunsicherheit der Übereinstimmung in Schritt (6.4)

(6.6) Die Formeln (9) und (13) bilden den Intervallnachweis des normalen Cloud-Modells, wie in Tabelle 3 gezeigt.

Tabelle 3 Tabelle des durch das Cloud-Modell erhaltenen
Intervallnachweises

Intervallnachweis			$M_i(X)$	$M_i(Y)$	$M_i(Z)$	$M_i(\Theta)$
Amplitude	bei	1	$[a_{1,X}^*, b_{1,X}^*]$	$[a_{1,Y}^*, b_{1,Y}^*]$	$[a_{1,Z}^*, b_{1,Z}^*]$	$[a_{1,\Theta}^*, b_{1,\Theta}^*]$
Oktavband						
Amplitude	bei	2	$[a_{2,X}^*, b_{2,X}^*]$	$[a_{2,Y}^*, b_{2,Y}^*]$	$[a_{2,Z}^*, b_{2,Z}^*]$	$[a_{2,\Theta}^*, b_{2,\Theta}^*]$
Oktavband						
Amplitude	bei	3	$[a_{3,X}^*, b_{3,X}^*]$	$[a_{3,Y}^*, b_{3,Y}^*]$	$[a_{3,Z}^*, b_{3,Z}^*]$	$[a_{3,\Theta}^*, b_{3,\Theta}^*]$
Oktavband						
durchschnittliche						
Amplitude	der		$[a_{4,X}^*, b_{4,X}^*]$	$[a_{4,Y}^*, b_{4,Y}^*]$	$[a_{4,Z}^*, b_{4,Z}^*]$	$[a_{4,\Theta}^*, b_{4,\Theta}^*]$
Vibrations-verschiebung						

Um das Verständnis über das Übereinstimmen des Testmodus-Cloud-Modells und des Schablonenmodus-Cloud-Modells der drei Fehlrisikomodis zur Konstruktion der Intervallnachweise zu vertiefen, wird hier ein Beispiel beschrieben. Da die Erwartungskurve mit der Entropie die Konturmerkmale des Cloud-Modells widerspiegelt, stellt sie das Skelett der Wolkentröpfchenansammlung dar. Alle Wolkentröpfchen

schwanken zufällig um die Erwartungskurve mit der Entropie. Der Übereinstimmungsgrad des Schablonenmodus-Cloud-Modells der Fehlriskomodi und des Testmodus-Cloud-Modells kann entsprechend dem Schnittpunkt der Erwartungskurve mit der Entropie bestimmt werden. Unter dem Merkmal bei 1 Oktavband sind die Parameter des Schablonenmodus-Cloud-Modells der drei Fehlriskomodi $C_1^U, U \in \{X, Y, Z\}$ und des Testmodus-Cloud-Modells C_1 der Motorwellenanlage wie in Tabelle 4 gezeigt:

Tabelle 4 Parametertabelle der Konstruktion des Cloud-Modells unter dem Merkmal bei 1 Oktavband

Cloud-Modell	Erwartung (EX)	Entropie (En)	Superentropie(He)
C_1^X	0.1620	0.08	0.01
C_1^Y	0.1817	0.08	0.01
C_1^Z	0.3294	0.08	0.01
C_1	0.1427	0.08	0.01

Durch das in Schritt (3) beschriebene Verfahren können das Testmodus-Cloud-Modell und das Schablonenmodus-Cloud-Modell der drei Fehlriskomodi in Fig. 2 erhalten werden. Durch die Formeln (6) bis (7) können die Koordinaten des Schnittpunkts der Erwartungskurve mit der Entropie des Testmodus-Cloud-Modells und des Schablonenmodus-Cloud-Modells erhalten werden $J_1^X = (0.1523, 0.9929)$, $J_1^Y = (0.1622, 0.9710)$, $J_1^Z = (0.2360, 0.5114)$, d.h. die durch "+" in Fig. 2 angezeigte Position. Dann werden die 200 Wolkentröpfchen im Schablonenmodus-Cloud-Modell jedes Fehlriskomodus, die dem entsprechenden Schnittpunkt am nächsten liegen, ausgewählt. Der Gewissheitsgrad dieser 200 Wolkentröpfchen ist der

Übereinstimmungsgrad zwischen dem Testmodus und dem Fehlerschablonenmodus. Der Maximalwert und der Minimalwert werden ausgewählt, um das Übereinstimmungsgradintervall zu bilden, wie in der folgenden Tabelle gezeigt:

Tabelle 5 Tabelle des Übereinstimmungsintervalls unter dem Merkmal der 1 Oktavband

	X	Y	Z
Übereinstimmungsintervall	[0.9899, 0.9958]	[0.9649, 0.9771]	[0.4847, 0.5379]

Nach den Formeln (10)-(12) wird das Normalisieren durchgeführt. Aus den Formeln (14)-(15) kann das Zuverlässigkeitsintervall der Fehlermenge Θ erhalten werden. Der Intervallnachweis unter dem Merkmal der Amplitude bei 1 Oktavband ist wie in der folgenden Tabelle gezeigt:

Tabelle 6 Tabelle des Nachweisintervalls unter dem Merkmal der Amplitude bei 1 Oktavband

	X	Y	Z	Θ
Intervallnachweis	[0.3952, 0.4072]	[0.3862, 0.3985]	[0.1972, 0.2158]	[0.0000, 0.0214]

Gemäß den gleichen Schritten wie oben kann der Intervallnachweis unter dem Merkmal der Amplitude bei 2 Oktavband, der Amplitude bei 3 Oktavband und der durchschnittlichen Amplitude der Vibrations-verschiebung erhalten werden. Der Intervallnachweis unter den vier Fehlermerkmalen ist in Tabelle 7 gezeigt:

Tabelle 7 Tabelle des Intervallnachweises

Intervallnachweis			$M_i(X)$	$M_i(Y)$	$M_i(Z)$	$M_i(\Theta)$
Amplitude	bei	1	[0.3952,	[0.3862,	[0.1972,	[0.0000,
Oktavband			0.4072]	0.3985]	0.2158]	0.0214]
Amplitude	bei	2	[0.5401,	[0.2110,	[0.1819,	[0.0000,
Oktavband			0.5900]	0.2526]	0.2265]	0.0669]
Amplitude	bei	3	[0.3526,	[0.2817,	[0.3557,	[0.0000,
Oktavband			0.3585]	0.2905]	0.3610]	0.0099]
durchschnittliche						
Amplitude	der		[0.9997,	[0.0000,	[0.0000,	[0.0000,
Vibrations-verschiebung			1.0000]	0.0000]	0.0000]	0.0003]

Insbesondere ist Schritt (7) wie folgt:

(7.1) Im Intervall $M_i(\theta)=[a_{i,\theta}^*, b_{i,\theta}^*], \theta \in \{X, Y, Z, \Theta\}$ wird H ($H \geq 2$)-mal Punkt genommen. Der genommene Punktwert wird als $m_h^{\theta_i}, h=1, 2, \dots, H$ bezeichnet und erfüllt die folgenden Bedingungen:

$$\circ,1 \quad m_h^{\theta_i} \in [a_{i,\theta}^*, b_{i,\theta}^*];$$

$$\circ,2 \quad m_h^{X_i} + m_h^{Y_i} + m_h^{Z_i} + m_h^{\Theta_i} = 1;$$

(7.2) gemäß dem in Schritt (7.1) beschriebenen Verfahren können H punktbewertete Nachweise unter Fehlermerkmal i erhalten werden,

bezeichnet als $E_i = \{e_{i,1}, \dots, e_{i,h}, \dots, e_{i,H}\}$, wobei

$$e_{i,h} = \{(\theta, m_h^{\theta_i}) \mid \sum m_h^{\theta_i} = 1; h=1, 2, \dots, H\},$$

(7.3) der Zuverlässigkeitsfaktor des Nachweises $e_{i,h}$ wird als r_λ eingestellt, wobei $0 \leq r_\lambda \leq 1, \lambda = 1, 2, 3, 4$, Wichtigkeitsgewicht $w_\lambda = r_\lambda$;

(7.4) durch Schritt (7.2) können 4H punktbewertete Nachweise unter 4 Fehlermerkmalen erhalten werden. Ein beliebiger punktbewerteter Nachweis unter jedem Fehlermerkmal wird ausgewählt, um eine Kombination durchzuführen. Jede Kombination enthält punktbewertete Nachweise der vier Fehlermerkmale. Es gibt insgesamt H^4 -Kombinationen. Die 4 punktbewerteten Nachweise in jeder Kombination werden unter Verwendung von Nachweisschlussfolgerungsregeln fusioniert, um 1 Fusionsergebnisse ($l=1, 2, \dots, H^4$) wie folgt zu erhalten:

$$p_{l,e(4)}^\theta = \begin{cases} 0 & \theta = \emptyset \\ \frac{\tilde{m}_{\theta_l, e(4)}}{\sum_{D \subseteq \Theta} \tilde{m}_{D, e(4)}} & \theta \subseteq \Theta, \theta \neq \emptyset \end{cases}$$

$$\tilde{m}_{\theta_l, e(\lambda)} = [(1 - r_\lambda) m_{\theta_l, e(\lambda-1)} + m_{P(\Theta), e(\lambda-1)} m_{\theta_l, \lambda}] + \sum_{B_i \cap C_i = \theta} m_{B_i, e(\lambda-1)} m_{C_i, \lambda} \quad \forall \theta \subseteq \Theta; \lambda = 1, 2, 3, 4$$

$$\tilde{m}_{P(\Theta), e(\lambda)} = (1 - r_\lambda) m_{P(\Theta), e(\lambda-1)}$$

(19)

$$O(e_l) = \{(\theta, p_{l,e(4)}^\theta) | l = 1, 2, \dots, H^4\} \quad (20)$$

wobei $P(\Theta)$ die Potenzmenge von Θ ist.

Um das Verständnis der Fusion von Intervallnachweisen durch die Nachweisschlussfolgerungsregeln zu vertiefen, wird hier ein Beispiel beschreiben. Der Intervallnachweis kann aus den Schritten (1) bis (6) erhalten werden. Unter der Annahme, dass der Intervallnachweis in Tabelle 7 gezeigt ist, werden 2 Punkte willkürlich aus dem erzeugten Intervallnachweis als der punktbewertete Nachweis für die Fusion durch die Nachweisschlussfolgerungsregeln ausgewählt. Es gibt 8 punktbewertete Nachweise unter vier Fehlermerkmalen wie folgt:

Nachweis unter dem Merkmal der Amplitude bei 1 Oktavband:

$$e_{1,1} = \{(X, 0.3953); (Y, 0.3864); (Z, 0.1972); (\Theta, 0.0201)\}$$

$$e_{1,2} = \{(X, 0.3959); (Y, 0.3872); (Z, 0.1986); (\Theta, 0.0183)\}$$

Nachweis unter dem Merkmal der Amplitude bei 2 Oktavband:

$$e_{2,1} = \{(X, 0.5446); (Y, 0.2147); (Z, 0.1859); (\Theta, 0.0549)\}$$

$$e_{2,2} = \{(X, 0.5445); (Y, 0.2127); (Z, 0.1828); (\Theta, 0.0601)\}$$

Nachweis unter dem Merkmal der Amplitude bei 3 Oktavband:

$$e_{3,1} = \{(X, 0.3526); (Y, 0.2825); (Z, 0.3560); (\Theta, 0.0089)\}$$

$$e_{3,2} = \{(X, 0.3529); (Y, 0.2821); (Z, 0.3559); (\Theta, 0.0092)\}$$

Nachweis unter dem Merkmal der durchschnittlichen Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung:

$$e_{4,1} = \{(X, 1.0000); (Y, 0.0000); (Z, 0.0000); (\Theta, 0.0000)\}$$

$$e_{4,2} = \{(X, 1.0000); (Y, 0.0000); (Z, 0.0000); (\Theta, 0.0000)\}$$

Der Zuverlässigkeitsfaktor r_λ und das Wichtigkeitsgewicht w_λ werden beide auf 0,9 gesetzt. Die Nachweise unter verschiedenen Merkmalen werden gemäß den Formeln (16) bis (17) fusioniert, d.h. es gibt jedes Mal 4 Nachweise, die an der Fusion teilnehmen. Es gibt insgesamt $2^4=16$ Fusionsergebnisse. Die spezifischen Ergebnisse sind in Tabelle 8 gezeigt:

Tabelle 8 Tabelle des Fusionsergebnisses nach den
Nachweisschlussfolgerungsregeln

	$P_{l,e(4)}^X$	$P_{l,e(4)}^Y$	$P_{l,e(4)}^Z$	$P_{l,e(4)}^\Theta$
e_1	0.9360	0.0380	0.0253	0.0007

e_2	0.9360	0.0380	0.0253	0.0007
e_3	0.9361	0.0379	0.0253	0.0007
e_4	0.9361	0.0379	0.0253	0.0007
e_5	0.9364	0.0378	0.0250	0.0008
e_6	0.9364	0.0378	0.0250	0.0008
e_7	0.9365	0.0377	0.0250	0.0008
e_8	0.9365	0.0377	0.0250	0.0008
e_9	0.9361	0.0380	0.0252	0.0008
e_{10}	0.9361	0.0380	0.0252	0.0008
e_{11}	0.9361	0.0379	0.0252	0.0008
e_{12}	0.9361	0.0379	0.0252	0.0008
e_{13}	0.9365	0.0378	0.0249	0.0008
e_{14}	0.9365	0.0378	0.0249	0.0008
e_{15}	0.9366	0.0377	0.0249	0.0008
e_{16}	0.9366	0.0377	0.0249	0.0008

Gemäß dem Fusionsergebnis nach den Nachweisschlussfolgerungsregeln werden der Maximalwert und der Minimalwert der Fusionszuverlässigkeit jedes Fehlerrisikomodus ausgewählt, um einen Intervallnachweis zu bilden. Die Fusionsergebnisse sind in Tabelle 9 gezeigt:

Tabelle 9 Tabelle des Intervallnachweisergebnisses

Intervallnachweis	M(X)	M(Y)	M(Z)	M(Θ)
Fusionsergebnis	[0.9360 , 0.9366]	[0.0377 , 0.0380]	[0.0249 , 0.0253]	[0.0007 , 0.0008]

Gemäß dem in Schritt (9) beschriebenen Identifizierungsverfahren kann bestimmt werden, dass der Fehlerrisikomodus X (Unwuchtfehler der Motorwelle) ist.

Im Folgenden wird die Ausführungsform der Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen detailliert beschrieben.

Fig. 1 zeigt ein Ablaufdiagramm des Verfahrens der vorliegenden Erfindung. Der Kernteil ist: Konstruieren eines Schablonenmodus-Cloud-Modells und eines Testmodul-Cloud-Modells des Fehlerrisikomodus; Übereinstimmen des Schablonenmodus-Cloud-Modells und des Testmodus-Cloud-Modells, um ein Übereinstimmungsgradintervall zu erhalten; Verarbeiten des Übereinstimmungsgradintervalls durch Normalisieren, um einen Intervallnachweis zu erhalten; Fusionieren des Intervallnachweises gemäß den Nachweisschlussfolgerungsregeln; Identifizieren des Fehlerrisikomodus durch den fusionierten Intervallnachweis nach den Identifikationskriterien.

Die Schritte des Verfahrens der vorliegenden Erfindung wird unten im Detail unter Bezugnahme auf die Ausführungsform des Identifizierungsverfahrens für Fehlerrisikomodus der Motorwelle der Erfindung in Fig. 3 beschrieben.

1. Beispiel für das Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle

Die Versuchsausrüstung ist wie das in Fig. 3 gezeigte ZHS-2

multifunktionale flexible Motorwellensystem. Durch den Vibrationsbeschleunigungssensor und den Vibrationsverschiebungssensor, die in horizontaler und vertikaler Richtung der Wellenhalterung installiert sind, werden die Signale über die HG-8902-Datenerfassungsbox an den Computer übertragen. Dann wird durch die HG-8902-Datenanalysesoftware in der Labview-Umgebung die Amplituden bei 1 bis 3 Oktavband der Vibrationsbeschleunigung des Wellensystems und die durchschnittliche Amplitude des Zeitbereichsvibrationsverschiebung erhalten, die als Fehlermerkmale verwendet werden.

2. Auswählen des Fehlerrisikomodus der Motorwelle und seiner Merkmalparameter

Auf dem Prüfstand wird eingestellt, dass der Fehlerrisikomodus "X die Unwucht im Motorwellensystem", "Y die Fehlausrichtung im Motorwellensystem" und "Z die lose Basis im Motorwellensystem" ist. Die Fehlermenge ist $\Theta=\{X,Y,Z\}$. Die Wellendrehzahl wird auf 1500 U/min eingestellt, 1 Oktavband ist 25 Hz, n Oktavband ist $(n \times 25)$ Hz. Wenn die Welle normal läuft, übersteigt die Amplitude jeder Vibrationsbeschleunigungsfrequenz $0,1 \text{ mm/s}^2$ nicht. Gemäß der Analyse konzentriert sich die Vibrationsenergie der drei Fehlerrisikomodi hauptsächlich auf das 1- bis 3-Oktavband. Es ist schwierig zu bestimmen, welche Art von Fehlerrisiko auftritt, wenn nur eine einzelne Frequenzamplitude analysiert wird. Das Auftreten eines Fehlers ist ein allmählicher Prozess. Außerdem wird der Sensor leicht durch die Arbeitsumgebung beeinflusst. Fehlerrisikoergebnisse können nicht anhand individueller Fehlermerkmale identifiziert werden. Daher werden die Amplituden bei 1-3-Oktavband der Vibrationsbeschleunigung und die durchschnittliche Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung

(Einheit mm) als die Fehlermerkmalparameter ausgewählt.

3. Konstruieren des Schablonenmodus-Cloud-Modells für drei Fehlerrisikomodi unter vier Fehlermerkmalen

Unter Verwendung des in Schritt (2) beschriebenen Verfahrens der vorliegenden Erfindung mit den drei Fehlerrisikomodi "X", "Y" und "Z" wird die Zeitbereichsvibrationssequenz durch den Vibrationsbeschleunigungssensor und den Vibrationsverschiebungssensor, die in horizontaler und vertikaler Richtung der Wellenhalterung installiert sind, mit dem Zeitintervall $\Delta t = 16s$ kontinuierlich erfasst. Durch Fourier-Transformation werden die Amplitude bei 1- bis 3 Oktavband der Vibrationsbeschleunigung und die durchschnittliche Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung erhalten. Sie bilden die Probedaten der vier Fehlermerkmale. Unter jedem Fehlermerkmal werden 200 Probedaten gesammelt. Gemäß dem in Schritt (3) beschriebenen Verfahren werden Schablonenmodus-Cloud-Modelle für drei Fehlerrisikomodi unter vier Fehlermerkmalen konstruiert. Die Anzahl der Wolkentröpfchen jedes Cloud-Modells beträgt 5000. Insgesamt müssen 12 Cloud-Modelle erstellt werden, wie in Fig. 4 bis Fig. 7 gezeigt, wobei "X-Cloud-Modell", "Y-Cloud-Modell" und "Z-Cloud-Modell" stellt die Schablonenmodus-Cloud-Modell für drei Fehlerrisikomodi dar. Die dazu verwendeten Parameter zum Konstruieren des Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modells sind in Tabelle 10 gezeigt.

Tabelle 10 Tabelle der Parameter zum Konstruieren des Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modells

Cloud-Modell	X-Cloud-Modell C_i^x	Y-Cloud-Modell C_i^y	Z-Cloud-Modell C_i^z
--------------	------------------------	------------------------	------------------------

			$EX_{i,X}$	En	He	$EX_{i,Y}$	En	He	$EX_{i,Z}$	En	He
Amplitude	bei	1	0.1620	0.08	0.01	0.1817	0.08	0.01	0.3294	0.08	0.01
Oktavband											
Amplitude	bei	2	0.1487	0.08	0.01	0.3293	0.08	0.01	0.3438	0.08	0.01
Oktavband											
Amplitude	bei	3	0.1124	0.08	0.01	0.2420	0.08	0.01	0.1362	0.08	0.01
Oktavband											
durchschnittliche											
Amplitude	der		4.3455	0.08	0.01	406953	0.08	0.01	9.8098	0.08	0.01
Vibrations-verschiebung											

4. Konstruieren des Testmodus-Cloud-Modells

Wenn der Fehlerrisikomodus X als Beispiel genommen wird, wird gemäß dem in Schritt (2) beschriebenen Fehlermerkmalserfassungsverfahren die Amplituden bei 1–3 Oktaven der Vibrationsbeschleunigung und die durchschnittliche Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung jeweils 40 Mal beobachtet. 40 zu testende Probedaten werden online erhalten. Gemäß dem in Schritt (3) beschriebenen Verfahren wird die Anzahl der Wolkentropfen jedes Cloud-Modells auf 5000 eingestellt. Vier Testmodus-Cloud-Modelle für vier Fehlermerkmale werden konstruiert, wie in Fig. 4 bis Fig. 7 gezeigt. Ihre Parameter sind in Tabelle 11 gezeigt:

Tabelle 11 Tabelle der Parameter zum Konstruieren des Testmodus-Cloud-Modells

	EX_i	En	He
Amplitude bei			
1 Oktavband	0.1427	0.08	0.01

Amplitude bei 2 Oktavband	0.1109	0.08	0.01
Amplitude bei 3 Oktavband	0.1337	0.08	0.01
durchschnittliche Amplitude der Vibrations-verschiebung	3.9938	0.08	0.01

5. Ermitteln des Intervallnachweises entsprechend dem Testmodus-Cloud-Modell und dem Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modell

Gemäß dem in Schritt (6.1) beschriebenen Verfahren werden die Erwartungskurven mit der Entropie des Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modells und des Testmodus-Cloud-Modells erhalten. Durch die Formel (6) und Formel (7) werden die Koordinaten des Schnittpunkts der Erwartungskurven mit der Entropie des Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modells und des Testmodus-Cloud-Modells unter verschiedenen Merkmalen erhalten, wie in Tabelle 12 gezeigt:

Tabelle 12 Tabelle der Koordinaten des Schnittpunkts der Erwartungskurven mit der Entropie des Testmodus-Cloud-Modells und des Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modells

			J_i^X	J_i^Y	J_i^Z
Amplitude bei	1		[0.1523,	[0.1622,	[0.2360,
Oktavband			0.9929]	0.9710]	0.5114]

Amplitude	bei	2	[0.1298,	[0.2201,	[0.2274,
Oktavband			0.9729]	0.3996]	0.3522]
Amplitude	bei	3	[0.1230,	[0.1878,	[0.1349,
Oktavband			0.9913]	0.7979]	0.9999]
durchschnittliche					
Amplitude	der		[4.1697,	[4.3445,	[6.9018,
Vibrations-verschiebung			0.0927]	0.0000]	0.0000]

200 Wolkentröpfchen, die dem entsprechenden Schnittpunkt am nächsten liegen, werden ausgewählt. Der Gewissheitsgrad dieser 200 Wolkentröpfchen ist der Übereinstimmungsgrad zwischen dem Testmodus-Cloud-Modell C_i und dem Fehlerschablonenmodus-Cloud-Modell C_i^U . Der Maximalwert und der Minimalwert werden ausgewählt, um das Übereinstimmungsgradintervall zu bilden, wie in Tabelle 13 gezeigt:

Tabelle 13 Tabelle des Übereinstimmungsgradintervalls

Übereinstimmungsgradintervall	$I_i(X)$	$I_i(Y)$	$I_i(Z)$
Amplitude bei 1 Oktavband	[0.9903,	[0.9650,	[0.4865,
	0.9953]	0.9769]	0.5360]
Amplitude bei 2 Oktavband	[0.9670,	[0.3676,	[0.3151,
	0.9788]	0.4325]	0.3902]
Amplitude bei 3 Oktavband	[0.9880,	[0.7801,	[0.9988,
	0.9946]	0.8157]	1.0000]
durchschnittliche Amplitude	[0.0418,	[0.0000,	[0.0000,
der Vibrations-verschiebung	0.1433]	0.0000]	0.0000]

Das erhaltene Übereinstimmungsgradintervall wird gemäß den Formeln (10)–(15) umfassend normiert. Der Intervallnachweis wird erhalten, wie in Fig. 14 gezeigt.

Tabelle 14 Tabelle des Intervallnachweises

Intervallnachweis	$M_i(X)$	$M_i(Y)$	$M_i(Z)$	$M_i(\Theta)$
Amplitude bei 1 Oktavband	[0.3956, 0.4068]	[0.3866, 0.3981]	[0.1978, 0.2151]	[0.0000, 0.0020]
Amplitude bei 2 Oktavband	[0.5403, 0.5891]	[0.2117, 0.2523]	[0.1825, 0.2263]	[0.0000, 0.0655]
Amplitude bei 3 Oktavband	[0.3524, 0.3586]	[0.2812, 0.2911]	[0.3556, 0.3613]	[0.0000, 0.0109]
durchschnittliche Amplitude der Vibrationsverschiebung	[1.0000, 1.0000]	[0.0000, 0.0000]	[0.0000, 0.0000]	[0.0000, 0.0000]

6. Erhalten des fusionierten Intervallnachweises nach der Fusion des Intervallnachweises gemäß der Nachweisschlussfolgerungsregeln

Gemäß den Schritten (7) bis (8) des Verfahrens der vorliegenden Erfindung werden 2 Punkte willkürlich aus dem erzeugten Intervallnachweis als der punktbewertete Nachweis für die Fusion durch die Nachweisschlussfolgerungsregeln ausgewählt. Es gibt 8 punktbewertete Nachweise unter vier Fehlermerkmalen wie folgt:

Nachweis unter dem Merkmal bei 1 Oktavband:

$$e_{1,1} = \{(X, 0.3957); (Y, 0.3867); (Z, 0.1978); (\Theta, 0.0198)\}$$

$$e_{1,2} = \{(X, 0.4065); (Y, 0.3872); (Z, 0.2001); (\Theta, 0.0062)\}$$

Nachweis unter dem Merkmal bei 2 Oktavband:

$$e_{2,1} = \{(X, 0.5446); (Y, 0.2147); (Z, 0.1859); (\Theta, 0.0549)\}$$

$$e_{2,2} = \{(X, 0.5656); (Y, 0.2421); (Z, 0.1903); (\Theta, 0.0017)\}$$

Nachweis unter dem Merkmal bei 3 Oktavband:

$$e_{3,1} = \{(X, 0.3526); (Y, 0.2825); (Z, 0.3560); (\Theta, 0.0089)\}$$

$$e_{3,2} = \{(X, 0.3585); (Y, 0.2889); (Z, 0.3520); (\Theta, 0.0006)\}$$

Nachweis unter dem Merkmal der durchschnittlichen Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung:

$$e_{4,1} = \{(X, 1.0000); (Y, 0.0000); (Z, 0.0000); (\Theta, 0.0000)\}$$

$$e_{4,2} = \{(X, 1.0000); (Y, 0.0000); (Z, 0.0000); (\Theta, 0.0000)\}$$

Der Zuverlässigkeitsfaktor r_λ und das Wichtigkeitsgewicht w_λ werden beide auf 0,9 gesetzt. Die Nachweise unter verschiedenen Merkmalen werden gemäß den Formeln (16) bis (17) fusioniert, d.h. es gibt jedes Mal 4 Nachweise, die an der Fusion teilnehmen. Es gibt insgesamt $2^4=16$ Fusionsergebnisse. Gemäß dem Fusionsergebnis durch die Nachweisschlussfolgerungsregeln werden der Maximalwert und Minimalwert der Fusionszuverlässigkeit nach der Fusion jedes Fehlerrisikomodus ausgewählt, um den Intervallnachweis zu bilden, wodurch die endgültigen Fusionsergebnisse erhalten werden, wie in Fig. 15 gezeigt.

Tabelle 15 Tabelle des Intervallnachweises nach der Fusion

Intervallnachweis	M(X)	M(Y)	M(Z)	M(Θ)	Ergebnis der Identifizierung
Fusionsergebnis	[0.9350,	[0.0373,	[0.0240,	[0.0001,	X

0.9377]	0.0401]	0.0252]	0.0008]
---------	---------	---------	---------

7. Identifizieren des Fehlerrisikomodus gemäß dem Fusionsergebnis

Gemäß den Identifizierungskriterien in Schritt (9) des Verfahrens der vorliegenden Erfindung kann es bestimmt werden, dass das Fehlerrisiko gemäß dem Fusionsergebnis "X (Unwucht der Motorwelle)" ist, was mit der tatsächlichen Situation übereinstimmt.

Schutzansprüche

1. Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells, das folgende Schritte enthält:

(1) Die Drehzahl der Welle wird auf $\rho U/\text{min}$ eingestellt, $1000 \leq \rho \leq 2500$, und die Fehlermenge aus dem Fehlerrisikomodus des Wellensystems ist $\Theta = \{X, Y, Z\}$, wobei X für Unwuchtfehler in der Motorwelle und Y für Fehlausrichtungsfehler in der Motorwelle und Z für losen Basisfehler in der Motorwelle steht;

(2) durch den Vibrationsbeschleunigungssensor und den Vibrationsverschiebungssensor, die in horizontaler und vertikaler Richtung der Wellenhalterung installiert sind, wird gemäß dem eingestellten Zeitintervall die Zeitbereichsvibrationssequenz kontinuierlich erfasst; durch Fourier-Transformation werden die Amplituden bei 1- bis 3 Oktavband der Vibrationsbeschleunigung und die durchschnittliche Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung erhalten. Sie werden als Fehlermerkmale verwendet;

in dem Fehlerrisikomodus $U, U \in \{X, Y, Z\}$ des Wellensystems werden die Daten von vier Fehlermerkmalen, nämlich die Amplitude bei 1 Oktavband, der 2 Oktavband und der 3 Oktavband der Vibrationsbeschleunigung erfasst und als $F_U, F_U = \{f_{i,1}^U, \dots, f_{i,n}^U, \dots, f_{i,N}^U\}$ bezeichnet, wobei $i=1,2,3,4$ für die obigen vier Fehlermerkmale und N für die Anzahl der erfassten Probendaten steht, $50 \leq N \leq 500$;

(3) das Schablonenmodus-Cloud-Modell des Fehlerrisikomodus U unter der Fehlermerkmal i wird als C_i^U eingestellt; das Wolkenröpfchen des Schablonenmodus-Cloud-Modells wird als $c_{i,g}^U$ bezeichnet, wobei $g=1,2,\dots,G$, G für die Gesamtzahl der Wolkenröpfchen steht, $1000 \leq G \leq 5000$; die Schablonenmodus-Cloud-Modelle für drei Fehlerrisikomodis unter vier Fehlermerkmalen werden konstruiert;

(4) ein Satz von Testprobedaten werden online erhalten und als $F_i, F_i = \{f_{i,1}, \dots, f_{i,n}, \dots, f_{i,N_1}\}$ bezeichnet, wobei $N_1 \leq N$ für die Gesamtzahl der Online-Probendaten steht;

(5) die Daten des Fehlerrisikomodus U unter dem Fehlermerkmal i in Schritt (3) wird durch Fi ersetzt und der gesamte Berechnungsprozess von Schritt (3) wird wiederholt, um das Testmodus-Cloud-Modell unter 4 Fehlermerkmalen zu erhalten: $\{C_1, C_2, C_3, C_4\}, C_i = \{d_{i,1}, \dots, d_{i,g}, \dots, d_{i,G} \mid d_{i,g} = \{c_{i,g}, \mu(c_{i,g})\}\}$

(6) unter dem Fehlermerkmal i wird der Übereinstimmungsgrad des Schablonenmodus-Cloud-Modell C_i^U und des Testmodus-Cloud-Modells C_i berechnet, wodurch der Intervallnachweis, dass das Testmodus-Cloud-Modell C_i das Auftreten von drei Fehlerrisikomodis unterstützt, erhalten wird;

(7) der in Schritt (6) erhaltene Intervallnachweis $M_i(\theta) = [a_{i,\theta}^*, b_{i,\theta}^*], \theta \in \{X, Y, Z, \Theta\}$ wird unter Verwendung von Nachweisschlussfolgerungsregeln fusioniert;

(8) gemäß Schritt (7) wird das Ergebnis von H^4 Fusion erhalten und der nach der Fusion erhaltene Intervallnachweis θ wird wie folgt berechnet

$$M(\theta) = [a_\theta, b_\theta] \quad (21)$$

$$a_\theta = \min_l [p_{l,e(4)}^\theta] \quad (22)$$

$$b_\theta = \max_l [p_{l,e(4)}^\theta] \quad (23)$$

Gemäß den Formeln (1)–(3) kann der Intervallnachweis des normalen Cloud-Modells nach der Fusion erhalten werden, wie in Tabelle 1 gezeigt:

Tabelle 1 Tabelle des Fusionsergebnisses

Intervallnachweis	$M(X)$	$M(Y)$	$M(Z)$	$M(\Theta)$
Fusionsergebnis	$[a_x, b_x]$	$[a_y, b_y]$	$[a_z, b_z]$	$[a_\Theta, b_\Theta]$

(9) Gemäß dem in Tabelle 1 gezeigten Intervallnachweis ist das Fehlerrisikomodus-Identifikationskriterium gegeben, d. h., wenn die folgenden zwei Bedingungen erfüllt sind, kann es festgestellt werden, dass der Fehlerrisikomodus, auf den die Prüfprobe Fi zeigt, $\theta, \theta \in \{X, Y, Z, \Theta\}$ ist:

○,1 der linke und rechte Endpunkt des Intervallnachweises $M(\theta), (\theta \neq \Theta)$ sind größer als die linken und rechten Endpunkte der entsprechenden Intervallnachweise der anderen Fehlerrisikomodi, die dem Intervallnachweis;

○,2 der rechte Endpunkt von $M(\Theta)$ ist kleiner als 0,3.

2. Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass 1 Oktavband ($\rho/60$) Hz, 2 Oktavband ($\rho/30$) Hz und 3 Oktavband ($\rho/15$) Hz ist.
3. Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Vibrationsbeschleunigungssensor und der Vibrationsverschiebungssensor $\Delta t = 16s$ als Zeitintervall verwenden, um kontinuierlich Zeitbereichsvibrationssequenz zu erfassen.
4. Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt (3) insbesondere wie folgt ist:

(3.1) Aus Schritt (2) können die Daten $F_U, F_U = \{f_{i,1}^U, \dots, f_{i,n}^U, \dots, f_{i,N}^U\}$ des Fehlerrisikomodus U unter Fehlermerkmal i erhalten werden, wobei der arithmetische Mittelwert als Erwartungswert $EX_{i,U}$ des Cloud-Modells genommen wird;

$$EX_{i,U} = \frac{1}{N} \times \sum_{n=1}^N f_{i,n}^U \quad (24)$$

(3.2) die Entropie von C_i^U ist $En, 0,05 \leq En \leq 0,1$, der Superentropiewert ist $He, 0,005 \leq He \leq 0,1$ und $He < \frac{En}{3}$;

(3.3) die Entropie wird als Erwartung und die Superentropie wird als Standardabweichung genommen, um eine normale Zufallszahl $y_{i,1}^U$ zu erzeugen und dann wird $EX_{i,U}$ als Erwartung und $|y_{i,1}^U|$ als Standardabweichung genommen, um eine normale Zufallszahl zu erzeugen, die als Wolkentröpfchen $c_{i,1}^U$ genommen wird;

(3.4) der Gewissheitsgrad $\mu(c_{i,1}^U), \mu(c_{i,1}^U) \in [0, 1]$, der dem Wolkentröpfchen $c_{i,1}^U$ entspricht, wird berechnet; der Gewissheitsgrad $\mu(c_{i,1}^U)$ hat die Eigenschaft der Wahrscheinlichkeit; die spezifische Berechnungsmethode ist wie folgt:

$$\mu(c_{i,1}^U) = \exp\left(-\frac{(c_{i,1}^U - EX_{i,U})^2}{2(y_{i,1}^U)^2}\right) \quad (25)$$

(3.5) $d_{i,1}^U = \{c_{i,1}^U, \mu(c_{i,1}^U)\}$ wird verwendet, um die Positionsinformationen von Wolkentröpfchen $c_{i,1}^U$ im zweidimensionalen Raum widerzuspiegeln; der Berechnungsprozess der Schritte (3.3)–(3.4) wird G-mal wiederholt, bis G Wolkentröpfchen und ihre jeweiligen Gewissheitsgrade erzeugt werden, wodurch das Schablonenmodus-Cloud-Modell $C_i^U = \{d_{i,1}^U, \dots, d_{i,g}^U, \dots, d_{i,G}^U\}$ des Fehlerrisikomodus U unter dem Fehlermerkmal i erhalten werden kann; dann können für drei Fehlerrisikomodi unter vier Fehlermerkmalen insgesamt $4 \times 3 = 12$ Schablonenmodus-Cloud-Modelle erzeugt werden;

das Schablonenmodus-Cloud-Modell der drei Fehlerrisikomodi unter dem Merkmal der Amplitude bei 1 Oktavband ist $\{C_1^X, C_1^Y, C_1^Z\}, C_1^U = \{d_{1,1}^U, \dots, d_{1,g}^U, \dots, d_{1,G}^U \mid U \in (X, Y, Z)\}$,

das Schablonenmodus-Cloud-Modell der drei Fehlerrisikomodi unter dem Merkmal der Amplitude bei 2 Oktavband ist $\{C_2^X, C_2^Y, C_2^Z\}, C_2^U = \{d_{2,1}^U, \dots, d_{2,g}^U, \dots, d_{2,G}^U \mid U \in (X, Y, Z)\}$;

das Schablonenmodus-Cloud-Modell der drei Fehlerrisikomodi unter dem Merkmal der Amplitude bei 3 Oktavband ist $\{C_3^X, C_3^Y, C_3^Z\}, C_3^U = \{d_{3,1}^U, \dots, d_{3,g}^U, \dots, d_{3,G}^U \mid U \in (X, Y, Z)\}$.

das Schablonenmodus-Cloud-Modell der drei Fehlerrisikomodi unter dem Merkmal der durchschnittlichen Amplitude der Zeitbereichsvibrationsverschiebung ist $\{C_4^X, C_4^Y, C_4^Z\}, C_4^U = \{d_{4,1}^U, \dots, d_{4,g}^U, \dots, d_{4,G}^U \mid U \in (X, Y, Z)\}$.

5. Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt (6) insbesondere wie folgt ist:

(6.1) Die Erwartungskurve mit Entropie des Schablonenmodus-Cloud-Modells wird als

$V_i^U(x_i^U) = \exp\left(-\frac{(x_i^U - EX_{i,U})^2}{2(En^2 + He^2)}\right)$ konstruiert; die Erwartungskurve mit

Entropie des Testmodus-Cloud-Modells ist

$V_i(x_i) = \exp\left(-\frac{(x_i - EX_i)^2}{2(En^2 + He^2)}\right)$, wobei x_i^U und x_i Zufallsvariablen sind

und der Gaußschen Verteilung

$x_i^U \sim N(EX_{i,U}, \overline{En}^2), x_i \sim N(EX_i, \overline{En}^2), \overline{En} \sim N(En, He^2)$ entspricht;

(6.2) unter dem Fehlermerkmal i wird der Schnittpunkt J_i^U des

Schablonenmodus-Cloud-Modells der drei Fehlerrisikomodi $V_i^U(x_i^U)$ und des Testmodus-Cloud-Modells $V_i(x_i)$ erhalten, wobei seine Koordinaten im zweidimensionalen Raum (α_i^U, β_i^U) sind; das spezifische Berechnungsverfahren ist wie folgt:

$$\alpha_i^U = \frac{EX_{i,U} + EX_i}{2} \quad (26)$$

$$\beta_i^U = \exp\left(-\frac{(EX_{i,U} - EX_i)^2}{8(En^2 + He^2)}\right) \quad (27)$$

(6.3) aus Schritt (3.5) wurde erhalten, dass unter dem Fehlermerkmal i die Koordinaten der Wolkentröpfchen der drei Schablonenmodus-Cloud-Modelle im zweidimensionalen Raum $d_{i,g}^U = \{c_{i,g}^U, \mu(c_{i,g}^U)\}$ ist; $\{c_{i,k}^U \mid k=1,2,\dots,K\}$ wird als die K Wolkentröpfchen eingestellt, die dem Schnittpunkt J_i^U am nächsten sind, und $100 \leq K \leq 250$; der Gewissheitsgrad $\mu(c_{i,k}), \mu(c_{i,k}) \in [0,1]$ dieser Wolkentröpfchen ist der Übereinstimmungsgrad zwischen dem Testmodus-Cloud-Modell C_i und dem Schablonenmodus-Cloud-Modell C_i^U und bildet einen Übereinstimmungsgradsatz $\varphi_i^U = \{\mu(c_{i,1}^U), \dots, \mu(c_{i,k}^U), \dots, \mu(c_{i,K}^U)\}$; der Minimalwert von φ_i^U ist $a_{i,U}, a_{i,U} = \min_i(\varphi_i^U)$ und der Maximalwert ist $b_{i,U}, b_{i,U} = \max_i(\varphi_i^U)$, wodurch das Übereinstimmungsgradintervall gebildet ist:

$$I_i(U) = [a_{i,U}, b_{i,U}] \quad (28)$$

(6.4) $I_i(U)$ wird normalisiert, um das normalisierte

Übereinstimmungsgradintervall zu erhalten:

$$M_i(U) = [a_{i,U}^*, b_{i,U}^*] \quad U \in \{X, Y, Z\} \quad (29)$$

$$a_{i,X}^* = \frac{a_{i,X}}{a_{i,X} + \sum b_{i,X \cap U = \emptyset}} \leq M_i(X) \leq \frac{b_{i,X}}{b_{i,X} + \sum a_{i,X \cap U = \emptyset}} = b_{i,X}^* \quad (30)$$

$$a_{i,Y}^* = \frac{a_{i,Y}}{a_{i,Y} + \sum b_{i,Y \cap U = \emptyset}} \leq M_i(Y) \leq \frac{b_{i,Y}}{b_{i,Y} + \sum a_{i,Y \cap U = \emptyset}} = b_{i,Y}^* \quad (31)$$

$$a_{i,Z}^* = \frac{a_{i,Z}}{a_{i,Z} + \sum b_{i,Z \cap U = \emptyset}} \leq M_i(Z) \leq \frac{b_{i,Z}}{b_{i,Z} + \sum a_{i,Z \cap U = \emptyset}} = b_{i,Z}^* \quad (32)$$

(6.5) das Übereinstimmungsgradintervall der Fehlermenge $\Theta = \{X, Y, Z\}$ wird wie folgt berechnet:

$$M_i(\Theta) = [a_{i,\Theta}^*, b_{i,\Theta}^*] \quad (33)$$

$$a_{i,\Theta}^* = \begin{cases} 1 - \sum b_{i,U}^* & , (1 - \sum b_{i,U}^*) \geq 0 \\ 0 & , (1 - \sum b_{i,U}^*) < 0 \end{cases} \quad (34)$$

$$b_{i,\Theta}^* = 1 - \sum a_{i,U}^* \quad (35)$$

$M_i(\Theta)$ misst die Gesamtunsicherheit der Übereinstimmung in Schritt (6.4);

(6.6) die Formeln (9) und (13) bilden den Intervallnachweis des normalen Cloud-Modells, wie in Tabelle 2 gezeigt.

Tabelle 2 Tabelle des durch das Cloud-Modell erhaltenen
Intervallnachweises

Intervallnachweis	$M_i(X)$	$M_i(Y)$	$M_i(Z)$	$M_i(\Theta)$
Amplitude bei 1 Oktavband	$[a_{1,X}^*, b_{1,X}^*]$	$[a_{1,Y}^*, b_{1,Y}^*]$	$[a_{1,Z}^*, b_{1,Z}^*]$	$[a_{1,\Theta}^*, b_{1,\Theta}^*]$
Amplitude bei 2 Oktavband	$[a_{2,X}^*, b_{2,X}^*]$	$[a_{2,Y}^*, b_{2,Y}^*]$	$[a_{2,Z}^*, b_{2,Z}^*]$	$[a_{2,\Theta}^*, b_{2,\Theta}^*]$

Amplitude bei 3	$[a_{3,X}^*, b_{3,X}^*]$	$[a_{3,Y}^*, b_{3,Y}^*]$	$[a_{3,Z}^*, b_{3,Z}^*]$	$[a_{3,\Theta}^*, b_{3,\Theta}^*]$
Oktavband				
durchschnittliche				
Amplitude der	$[a_{4,X}^*, b_{4,X}^*]$	$[a_{4,Y}^*, b_{4,Y}^*]$	$[a_{4,Z}^*, b_{4,Z}^*]$	$[a_{4,\Theta}^*, b_{4,\Theta}^*]$
Vibrations-verschiebung				

6. Identifizierungsverfahren für Fehlerrisikomodus der Motorwelle basierend auf der Fusion des Intervallnachweises des normalen Cloud-Modells nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt (7) insbesondere wie folgt ist:

(7.1) Im Intervall $M_i(\theta) = [a_{i,\theta}^*, b_{i,\theta}^*], \theta \in \{X, Y, Z, \Theta\}$ wird H ($H \geq 2$)-mal Punkt genommen; der genommene Punktwert wird als $m_h^{\theta_i}, h = 1, 2, \dots, H$ bezeichnet und erfüllt die folgenden Bedingungen:

○,1 $m_h^{\theta_i} \in [a_{i,\theta}^*, b_{i,\theta}^*];$

○,2 $m_h^{X_i} + m_h^{Y_i} + m_h^{Z_i} + m_h^{\Theta_i} = 1;$

(7.2) gemäß dem in Schritt (7.1) beschriebenen Verfahren können H punktbewertete Nachweise unter Fehlermerkmal i erhalten werden,

bezeichnet als $E_i = \{e_{i,1}, \dots, e_{i,h}, \dots, e_{i,H}\}$, wobei $e_{i,h} = \{(\theta, m_h^{\theta_i}) \mid \sum m_h^{\theta_i} = 1; h = 1, 2, \dots, H\};$

(7.3) der Zuverlässigkeitsfaktor des Nachweises $e_{i,h}$ wird als r_λ eingestellt, wobei $0 \leq r_\lambda \leq 1, \lambda = 1, 2, 3, 4$, Wichtigkeitsgewicht $w_\lambda = r_\lambda$; und

(7.4) durch Schritt (7.2) können $4H$ punktbewertete Nachweise unter 4 Fehlermerkmalen erhalten werden; ein beliebiger punktbewerteter

Nachweis unter jedem Fehlermerkmal wird ausgewählt, um eine Kombination durchzuführen; jede Kombination enthält punktbewertete Nachweise der vier Fehlermerkmale; es gibt insgesamt H^4 Kombinationen; die 4 punktbewerteten Nachweise in jeder Kombination werden unter Verwendung von Nachweisschlussfolgerungsregeln fusioniert, um 1 Fusionsergebnisse ($l=1,2,\dots,H^4$) wie folgt zu erhalten:

$$\begin{aligned}
 p_{l,e(4)}^\theta &= \begin{cases} 0 & \theta = \emptyset \\ \frac{\tilde{m}_{\theta_l,e(4)}}{\sum_{D \subseteq \Theta} \tilde{m}_{D,e(4)}} & \theta \subseteq \Theta, \theta \neq \emptyset \end{cases} \\
 \tilde{m}_{\theta_l,e(\lambda)} &= [(1-r_\lambda)m_{\theta_l,e(\lambda-1)} + m_{P(\Theta),e(\lambda-1)}m_{\theta_l,\lambda}] + \sum_{B_i \cap C_i = \theta} m_{B_i,e(\lambda-1)}m_{C_i,\lambda} \quad \forall \theta \subseteq \Theta; \lambda = 1, 2, 3, 4 \\
 \tilde{m}_{P(\Theta),e(\lambda)} &= (1-r_\lambda)m_{P(\Theta),e(\lambda-1)}
 \end{aligned}
 \tag{36}$$

$$O(e_l) = \{(\theta, p_{l,e(4)}^\theta) | l = 1, 2, \dots, H^4\} \tag{37}$$

wobei $P(\Theta)$ die Potenzmenge von Θ ist.

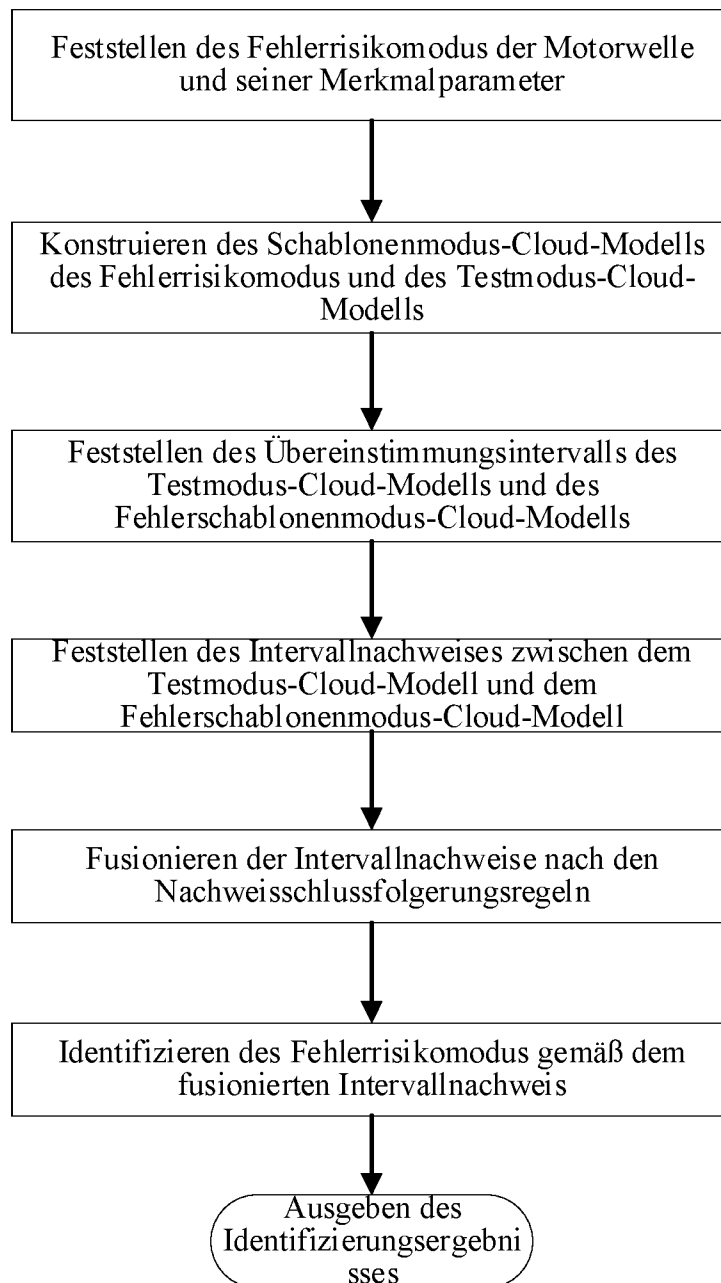


Fig. 1

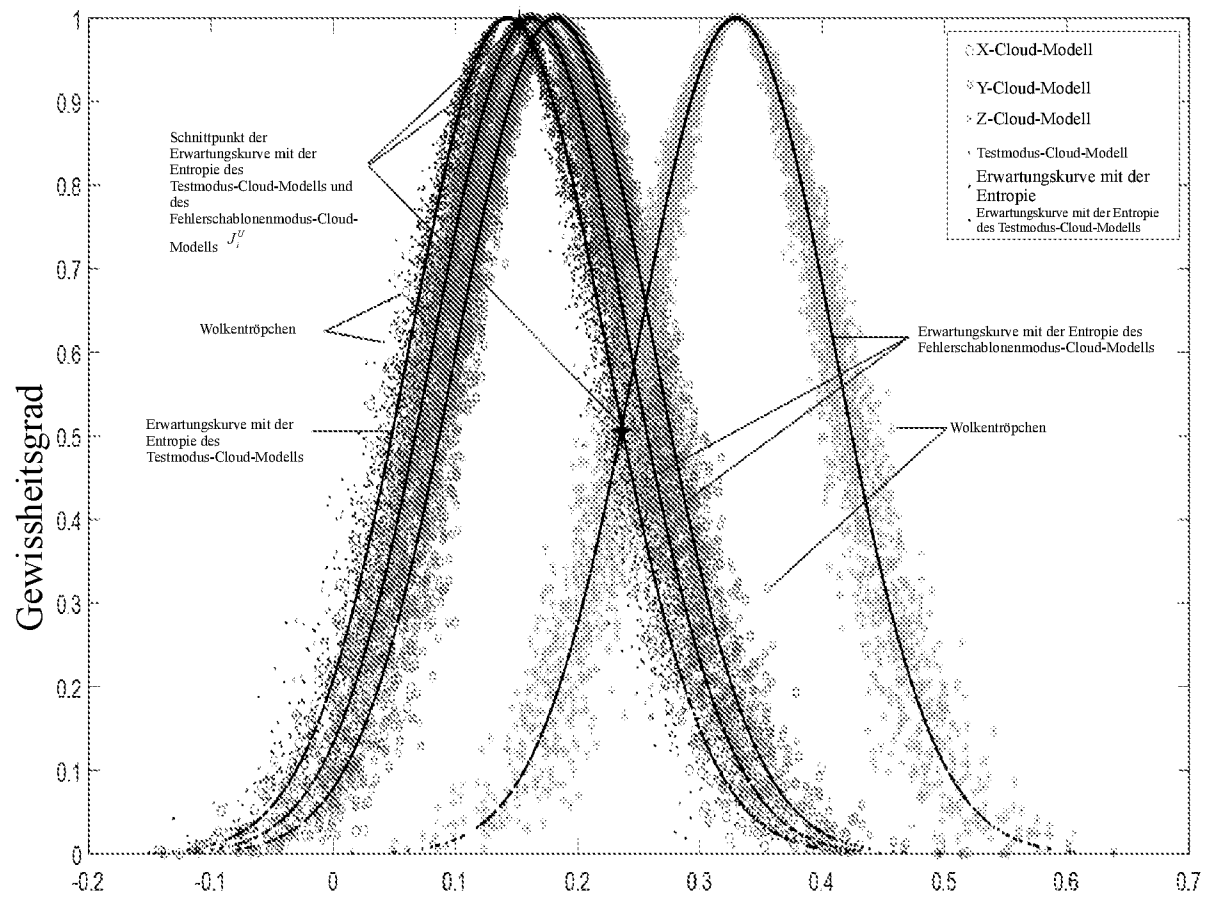


Fig. 2

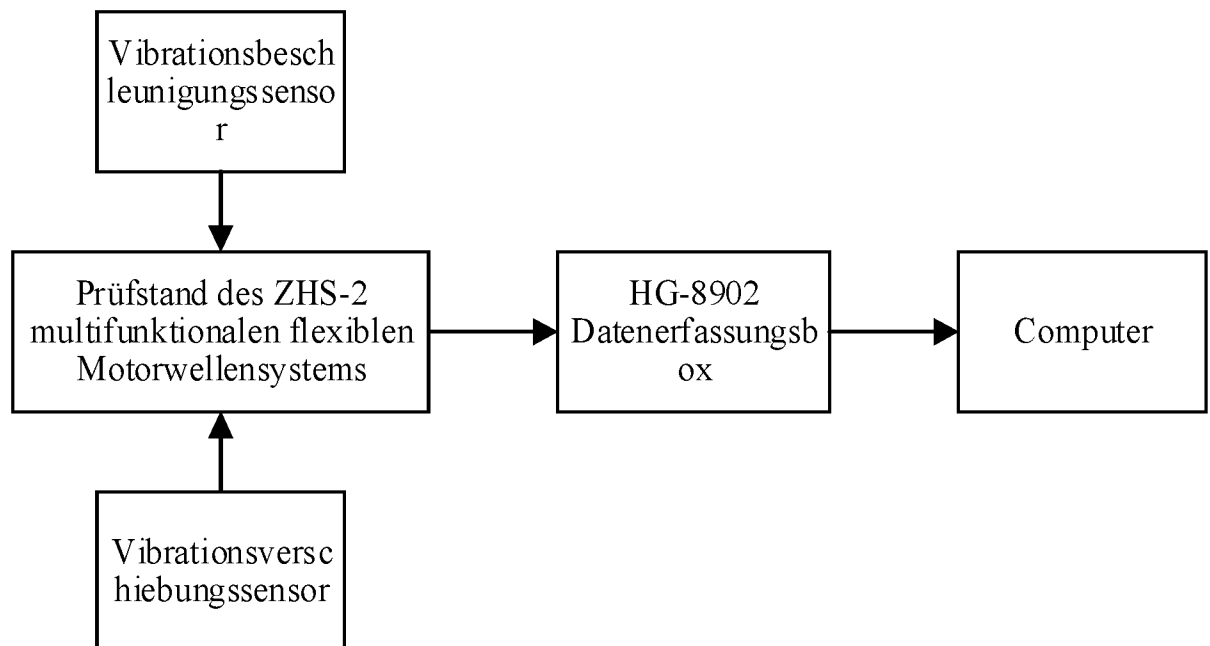


Fig. 3

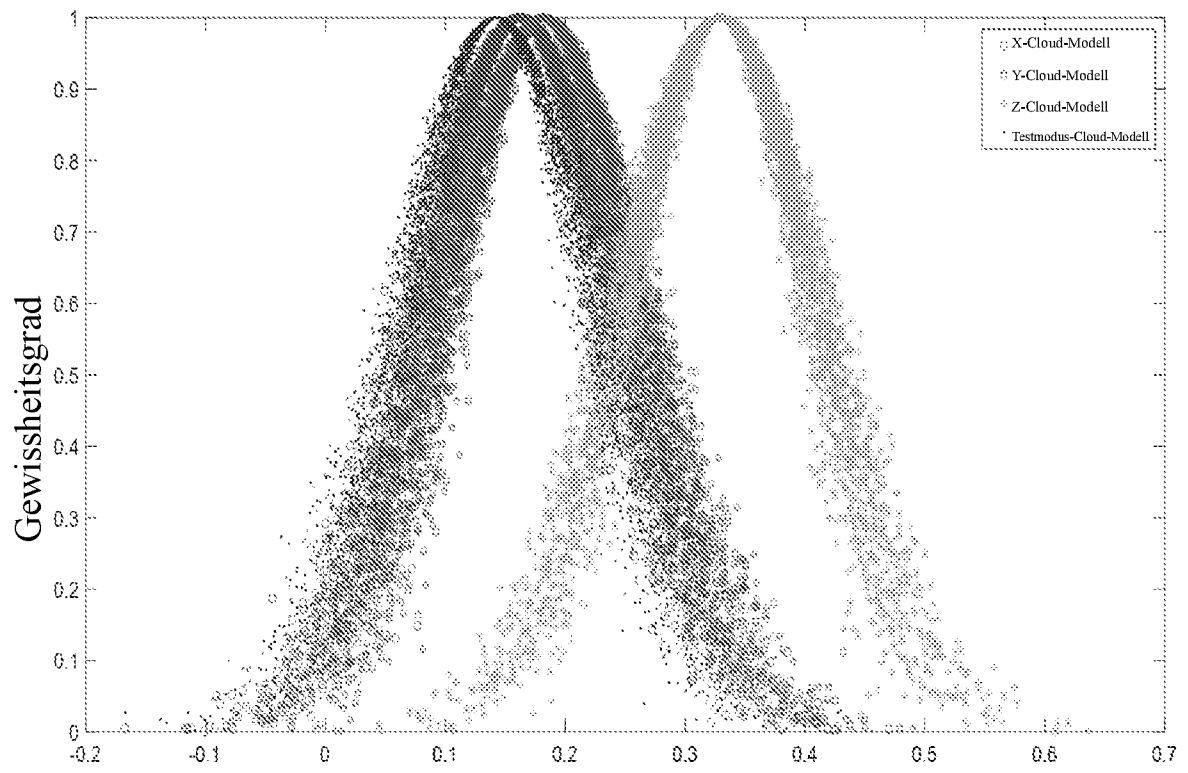


Fig. 4

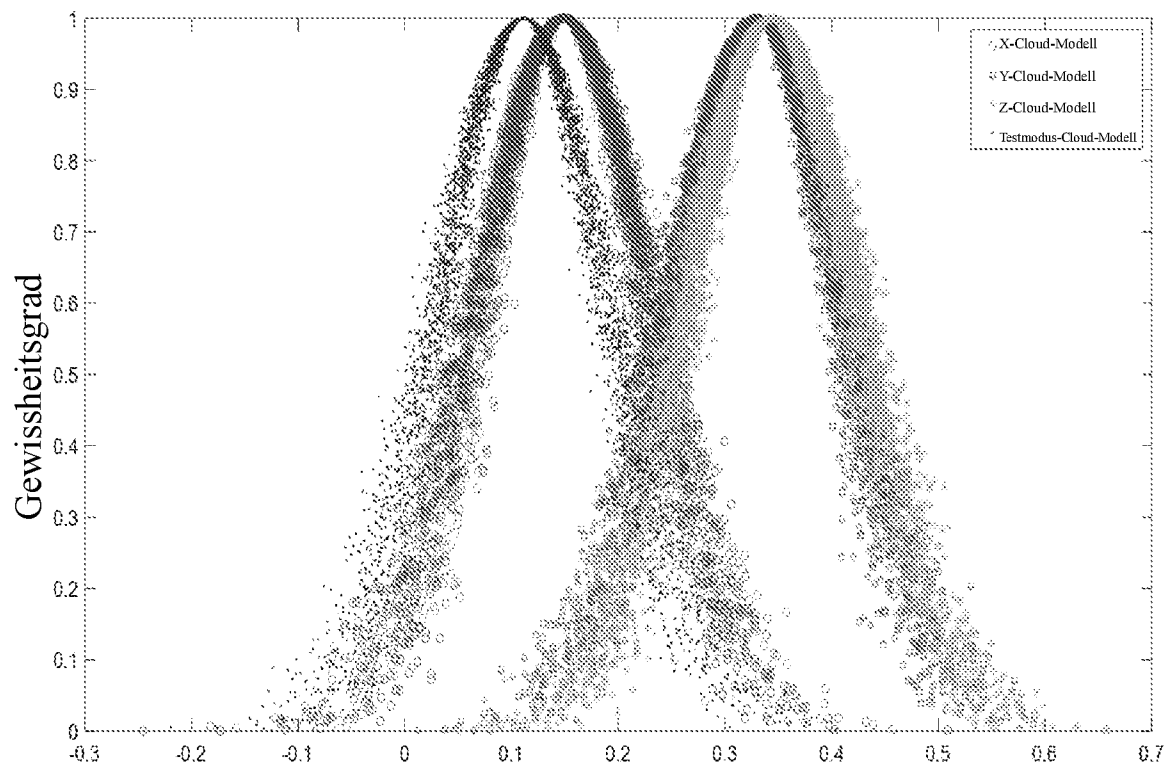


Fig. 5

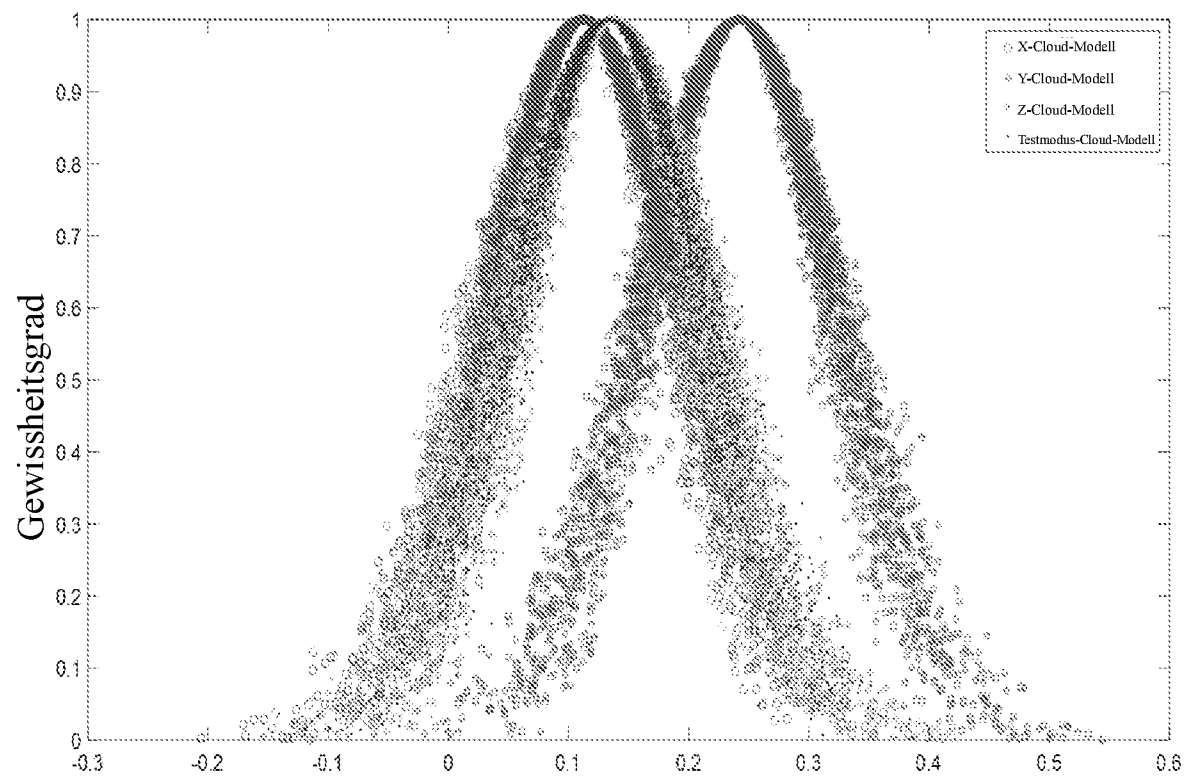


Fig. 6

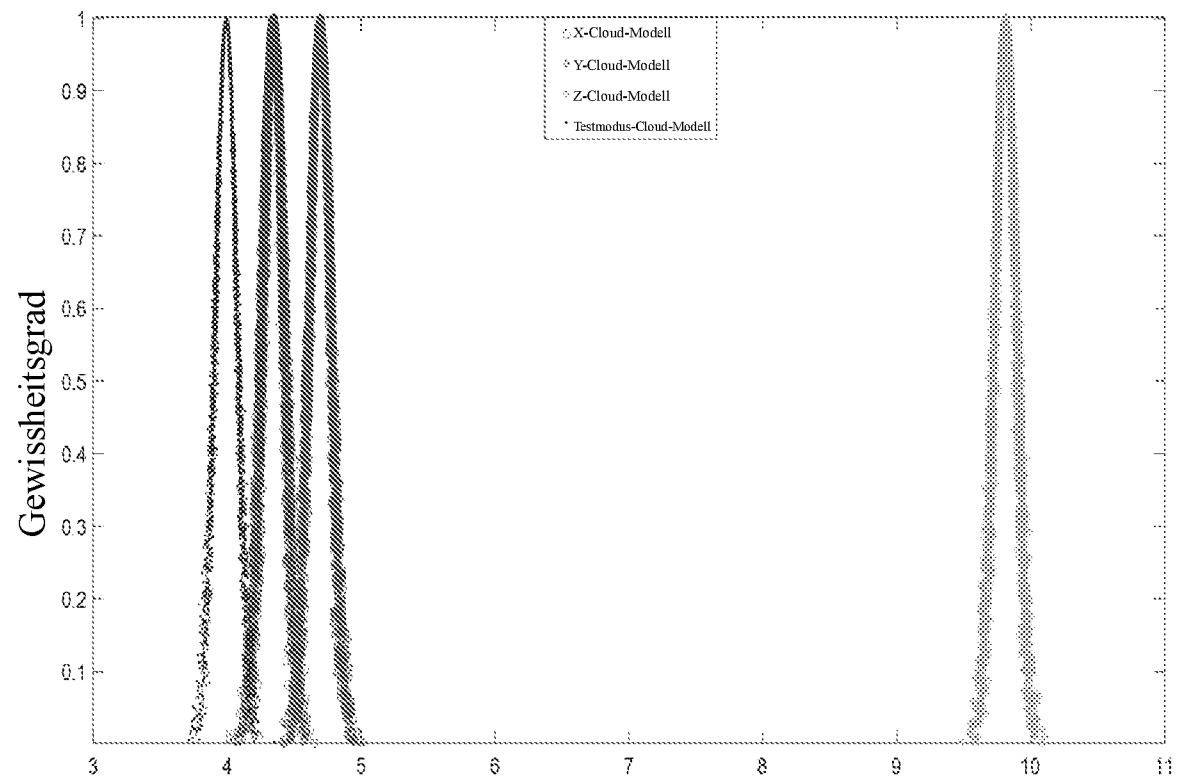


Fig. 7