



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 029 368 A1** 2006.01.26

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 029 368.6**

(22) Anmeldetag: **17.06.2004**

(43) Offenlegungstag: **26.01.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01S 3/80** (2006.01)
G01S 15/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
ATLAS ELEKTRONIK GMBH, 28309 Bremen, DE

(72) Erfinder:
Hurka, Jörg, Dr., 26131 Oldenburg, DE;
Neumeister, Dirk, Dr., 28309 Bremen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

US 56 68 778

US 53 92 046

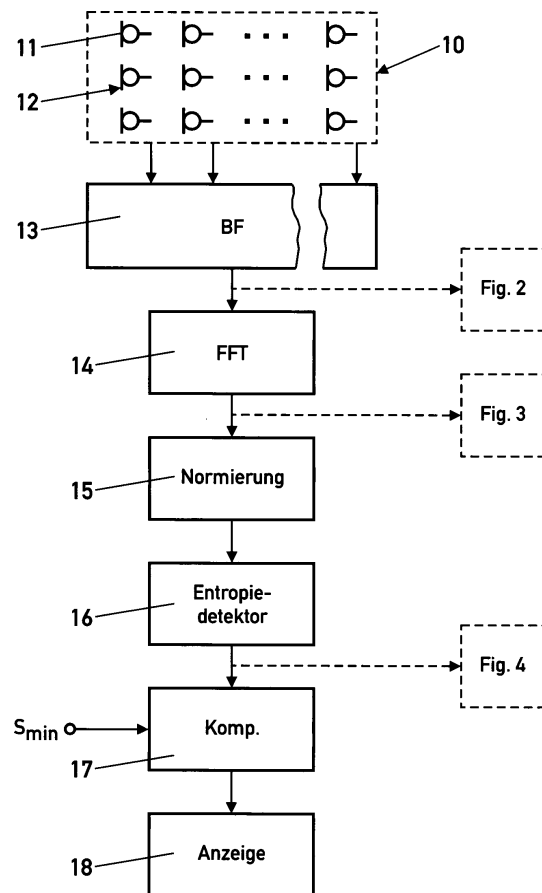
US 52 47 302

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Detektieren von Zielen**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zum Detektieren von Wellenenergie in ein Medium abstrahlenden Zielen mittels Entropiebestimmung in Zeitabschnitten von elektrischen Empfangssignalen eines im Medien zielfern angeordneten Empfängers werden zur Detektierung von Zielen, die insbesondere breitbandige, verrauschte und energiearme Signale abstrahlen, die Zeitabschnitte der Empfangssignale einer linearen Transformation unterzogen und wird die Entropie der Transformatierten bestimmt und aus Veränderungen der Entropie in den Transformatierten auf Ziele geschlossen. Zur linearen Transformation wird eine Fourieranalyse und/oder eine Wavelet-Zerlegung der Empfangssignale durchgeführt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Detektieren von Zielen der im Oberbegriff des Anspruchs 1 definierten Gattung.

Stand der Technik

[0002] Bei einem bekannten Verfahren zur Detektion von akustischen Signalen, die von einer Unterwasser-Schallquelle ausgesendet oder reflektiert werden und von Umgebungsrauschen maskiert sind (US 5 668 778) wird das Empfangssignal in z.B. 30.000 Samples oder Punkten abgetastet und die Amplitudenwerte den Ordnungszahlen der Samples zugeordnet. Die Amplitude des Empfangssignals wird in z.B. 64 gleich große Intervalle quantisiert. In Fenstern innerhalb des Empfangssignals mit einer Fenstergröße von z.B. 1.000 Samples und einer Überlappung von z.B. 75%, wird jeweils die Entropie $H(X)$ gemäß

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{64} p_i(x) \log_2 p_i(x)$$

berechnet, wobei $p_i(x)$ die Wahrscheinlichkeit ist, dass die Samples ein i -tes-Amplituden-Intervall enthalten. Zur Bestimmung von $p_i(x)$ wird die Anzahl der Samples in dem i -ten-Amplituden-Intervall durch die Gesamtzahl der Samples in Fenster (im Beispiel 1.000) dividiert. Der in einem Fenster mit einer vorgegebenen Anzahl von digitalen Samples (im Beispiel 1.000) berechnete Entropiewert wird mit einer Schwelle verglichen. Liegt der Entropiewert unter dieser Schwelle, so wird auf das Vorhandensein von Signalen geschlossen. Liegt der oberhalb dieser Schwelle, so wird von ausschließlichem Umgebungsrauschen ausgegangen.

[0003] Diese Detektionsmethode ist recht gut geeignet, wenn die von der Unterwasser-Schallquelle abgestrahlten Signale eine geringe Bandbreite besitzen oder wenig verrauscht sind, die Empfangssignale also ein ausreichend gutes S/N-Verhältnis besitzen. Bei sehr breitbandigen Signalen, wie sie beispielsweise in der Unterwasserkommunikation verwendet werden, die zudem noch stark verrauscht sind und somit ein extrem schlechtes S/N-Verhältnis, z.B. kleiner -9dB , besitzen, führt dieses Verfahren zu unbefriedigenden Detektionsergebnissen und hoher Falschalarmrate.

Aufgabenstellung

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem schallabstrahlende Ziele in einer stark verrauschten Umgebung zuverlässig detektierbar sind, und zwar unabhängig von der Art der von den Zielen abgestrahlten Signale. Insbesondere sollen auch Ziele, die nur breitbandige und/oder stark verrauschte Signale abstrahlen, wie z.B. Maschinengeräusche, Kommunikationssignale u. ä., auch in einer stark verrauschten Umgebung mit geringer Falschalarmrate erkannt werden können.

[0005] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale im Anspruch 1 gelöst.

[0006] Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass dadurch, dass die Entropiebestimmung nicht im Empfangssignal selbst, sondern in der linear transformierten des Empfangssignals durchgeführt wird, insbesondere auch solche Ziel mit geringer Falschalarmrate detektiert werden, die breitbandige und/oder große Rauschanteile enthaltene Signale, die zudem noch energiearm sind, in eine stark verrauschte Umgebung abstrahlen.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren wird bevorzugt in der Wasserschalltechnik oder Unterwasserakustik eingesetzt, kann aber auch zur Detektion von Zielen im Medium Luft, die akustische oder elektromagnetische Wellen abstrahlen, verwendet werden.

[0008] Zweckmäßige Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens mit vorteilhaften Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen.

[0009] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird die lineare Transformation in mit vorzugsweise regelmäßigen Zeitabständen aufeinanderfolgenden, vorzugsweise gleichen Zeitabschnitten eines Empfangssignals vorgenommen. Hierbei kann ein durch die Empfangscharakteristik des Empfängers festgelegter Raumbereich auf das Eindringen von Zielen überwacht werden, was beispielsweise bei Überwachungen von Hafeneinfahrten und/oder Wasserwegen eingesetzt werden kann.

[0010] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird die lineare Transformation in zeitlichen Zeitabschnitten von mindestens zwei aus richtungsselektiven Empfangssektoren des Empfängers empfangenen Empfangssignalen vorgenommen. Durch die Richtungsselektion des Empfängers und der gleichzeitigen Analyse gleicher Signalabschnitte in mehreren Empfangssektoren, die vorzugsweise einander benachbart gewählt werden, können Ziele nicht nur detektiert, sondern auch gepeilt werden.

[0011] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird zur linearen Transformation eine Fourieranalyse der Zeitabschnitte der Empfangssignale durchgeführt. Die erhaltenen Leistungsspektren werden normiert, wobei vorzugsweise die Euklidische Vektornorm herangezogen wird, und die Entropie der normierten Leistungsspektren wird berechnet. Die berechnete Entropie wird mit einem Schwellwert verglichen und bei signifikantem Unterschreiten des Schwellwerts auf das Vorhandensein mindestens eines Zieles geschlossen.

[0012] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird dabei die Amplitude der normierten Leistungsspektren in gleich große Amplitudenintervalle quantisiert und die Frequenz der normierten Leistungsspektren in vorzugsweise gleiche Frequenzintervalle unterteilt, wobei bevorzugt als Frequenzintervalle die bei der Fourieranalyse anfallenden Frequenzintervalle verwendet werden. Die Entropie wird aus der Verteilungsfunktion der normierten Häufigkeit der Frequenzintervalle in den Amplitudenintervalle berechnet. Alternativ kann die Entropie auch aus der Verteilungsfunktion der normierten Häufigkeit der in den Frequenzintervallen auftretenden Amplitudenintervalle berechnet werden. In beiden Fällen wird die Normierung der Häufigkeit mit der Gesamtzahl der vorhandenen Frequenzintervalle durchgeführt.

[0013] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird zur linearen Transformation eine Wavelet-Zerlegung der Zeitabschnitte der Empfangssignale durchgeführt und die Entropie aus den Wavelet-Koeffizienten gemäß

$$S = K \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^{N_i} p_{i,k} \log_a p_{i,k} \quad \text{mit } a=2 \text{ oder } a=e$$

berechnet, wobei K den Wert -1 oder $+1$ annehmen kann und $p_{i,k}$ die Wahrscheinlichkeit der Detailkoeffizienten $d_{i,k}$, l die Anzahl der Skalen und N_i die Anzahl der Detailkoeffizienten $d_{i,k}$ auf der i -ten Skala ist. Die Wahrscheinlichkeit $p_{i,k}$ wird gemäß

$$p_{i,k} = 1 + \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i}} e^{-\frac{d_{i,k}^2}{2\sigma_i^2}}$$

berechnet, wobei σ_i die Rausch-Standardabweichung auf jeder der i Skalen ist.

[0014] Die von den Zielen abgestrahlten Signale lassen sich je nach Art und Form der Signale unterschiedlich gut durch Entropieberechnung aus den Frequenzspektren oder durch Entropieberechnung aus den Wavelet-Koeffizienten detektieren. Da die von den Zielen abgestrahlten Signale jedoch unbekannt sind, ist es von Vorteil, beide hier vorgestellte Verfahren bei der Zieldetektion parallel anzuwenden, so dass die Empfangssignale des Empfängers einmal einer Fourieranalyse und einmal einer Wavelet-Analyse unterzogen werden und jeweils die Entropie berechnet wird. Durch Vergleich der so auf zwei verschiedenen Wegen ermittelten Detektionsergebnisse lässt sich eine Zielaussage noch zuverlässiger treffen.

Ausführungsbeispiel

[0015] Die Erfindung ist anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

[0016] [Fig. 1](#) ein Blockschaltbild mit Funktionseinheiten zum Illustrieren des Verfahrens zur Detektion von Zielen,

[0017] [Fig. 2](#) einen Zeitabschnitt eines beispielhaften Empfangssignals am Ausgang eines Beamformers in [Fig. 1](#),

[0018] [Fig. 3](#) das Leistungsspektrum von zwei Zeitabschnitten des Empfangssignals in [Fig. 2](#),

[0019] [Fig. 4](#) eine Darstellung der aus den Leistungsspektren berechnete Entropie als Funktion der Zeit,

[0020] [Fig. 5](#) ein Blockschaltbild mit Funktionseinheiten zum Illustrieren eines modifizierten Verfahrens zur Detektion von Zielen,

[0021] [Fig. 6](#) einen Zeitabschnitt eines beispielhaften Empfangssignals am Ausgang eines Beamformers in [Fig. 5](#),

[0022] [Fig. 7](#) eine Wavelet-Zerlegung des Zeitabschnitts des Empfangssignals in [Fig. 6](#) in drei Leveln oder Skalen,

[0023] [Fig. 8](#) eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs der aus den Wavelet-Koeffizienten gemäß [Fig. 7](#) berechneten Entropie.

[0024] Das nachstehend beschriebene Verfahren zum Detektieren von Zielen setzt voraus, dass die in einem Medium sich befindlichen Ziele Wellenenergie abstrahlen, d.h. Wellenenergie selbst aussenden oder auf sie auftreffende Wellenenergie reflektieren. In dem nachstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird dabei das Medium Wasser zugrundegelegt, in dem sich ein akustisches Wellenfeld ausbreitet, das mit einem aus einer Vielzahl von elektroakustischen Wandlern **11** bestehenden, zielfernen Empfänger **10**, auch Wandlerarray oder Sonarbasis genannt, empfangen wird. Die elektroakustischen Wandler **11** sind beispielsweise, wie dies in [Fig. 1](#) schematisch dargestellt ist, zu vertikal ausgerichteten Staves **12** zusammengefasst, die auf einer ebenen Fläche oder auf der Mantelfläche eines Zylinders vorzugsweise äquidistant angeordnet sind. Im Ausführungsbeispiel der [Fig. 1](#) sind pro Staffe **12** drei akustische Wandler **11** dargestellt, jedoch ist die Zahl der elektroakustischen Wandler beliebig wählbar. Verzichtet man auf eine vertikale Bündelung der Empfangscharakteristik des Empfängers **10**, d.h. auf einen kleinen vertikalen Öffnungswinkel des Empfängers **10**, so reicht ein einziger elektroakustischer Wandler **11** pro Staffe **12** aus. Die Zahl der horizontal nebeneinander angeordneten Staves **12** kann beliebig gewählt werden und beträgt z.B. bei einer Zylinderbasis sechsundneunzig. Jeweils eine Gruppe von Staves **12** wird gemeinsam betrieben. Durch eine entsprechende Signalverarbeitung der Empfangssignale der Wandler **11** einer Gruppe von gemeinsam betriebenen Staves **12** hat die Wandlergruppe eine Richtcharakteristik mit einer Hauptrichtung größter Empfangsempfindlichkeit, dem sog. Beam. Diese Richtcharakteristik der Wandlergruppe, auch Gruppencharakteristik genannt, wird zur horizontalen Abtastung des Mediums in der Umgebung des Empfängers **10** elektronisch geschwenkt, wobei durch Hinzufügen und Wegnahme jeweils eines oder mehrerer Staves **12** in der Wandlergruppe die Hauptrichtung der Richtcharakteristik schrittweise horizontal geschwenkt wird, bei einer Zylinderbasis beispielsweise über 360°. Durch dieses elektronische Schwenken entsteht eine Vielzahl von nebeneinanderliegenden Richtcharakteristiken der einzelnen Wandlergruppen mit Hauptrichtungen großer Empfangsempfindlichkeit, was als Beamfächer bezeichnet wird. Die Bildung der Richtcharakteristiken der Wandlergruppe erfolgt in einem Richtungsbildner, einem sog. Beamformer **13**, an dessen Ausgang für jeden Beam bzw. für jede Wandlergruppe ein elektrisches Gruppensignal abgenommen werden kann. Aufbau und Funktionsweise des Beamformers **13** sind beispielsweise in der US 4 060 792 beschrieben.

[0025] Das Verfahren zur Zieldetektion wird anhand der Auswertung eines der Gruppensignale des Beamformers **13**, im folgenden Empfangssignal genannt, beschrieben. In gleicher Weise werden die übrigen Gruppensignale ausgewertet, so dass in jedem Beam, der einem Empfangssektor mit einer definierten Empfangsrichtung des Empfängers **10** entspricht, eine Zieldetektion durchgeführt wird. Die Auswertung der Empfangssignale am Ausgang des Beamformers **13** zur Detektion von Zielen erfolgt grundsätzlich in der Weise, dass vorzugsweise gleich große Signalabschnitte der Empfangssignale einer linearen Transformation unterzogen werden, die Entropie der Transformierten bestimmt und aus Veränderungen der Entropie in den Transformierten auf Ziele geschlossen wird. Will man die Zieldetektion nur in einem einzigen Beam durchführen, so folgen die gleich großen Signalabschnitte, in denen eine linear Transformation vorgenommen wird, zeitlich aufeinander. Will man hingegen Ziele in allen Beams oder Empfangssektoren detektieren und tracken, so sind die gleich großen Signalabschnitte, die einer linearen Transformation unterzogen werden, zeitgleiche Signalabschnitte in den einzelnen Gruppensignalen am Ausgang des Beamformers **13**.

[0026] In dem in [Fig. 1](#) illustrierten Verfahren wird zur linearen Transformation der Zeitabschnitte der Empfangssignale jeder Zeitabschnitt in einem als Fast-Fourier-Transformator (FFT) ausgebildeten Funktionsblock **14** einer Fourieranalyse unterzogen, die das Leistungsspektrum des Empfangssignals in den einzelnen Zeitabschnitten bildet.

[0027] In [Fig. 2](#) ist ein Beispiel für ein Empfangssignal dargestellt, das in einem Zeitabschnitt 0 – ca. 13s am Ausgang des Beamformers **13** abgenommen wird. Wie in der Amplitudendarstellung des Empfangssignals über der Zeit nicht zu erkennen ist, ist dieses beispielhafte Signal ein künstlich generiertes Signal, das in den

Zeitabschnitten 0 – 5s und 10 – 15s jeweils einen Rauschanteil und in dem Zeitabschnitt 5 – 10s einen breitbandigen Signalanteil enthält. Das das Signal im Empfangssignal noch üblicherweise überlagernde Umgebungsrauschen ist im Beispiel unterdrückt.

[0028] In [Fig. 3](#) sind die durch die Fourieranalyse aus den Zeitabschnitte 1 – 5s und 5 – 10s gewonnenen Leistungsspektren dargestellt. Dabei ist das Leistungsspektrum aus dem Zeitabschnitt 1 – 5s strichliniert und aus dem Zeitabschnitt 5 – 10s durchgezogen dargestellt. Im Leistungsspektrum ist aufgrund der vereinfachten Darstellung die Signalstruktur zu erkennen, und zwar der Rauschanteil im Zeitabschnitt 1 – 5s (strichliniert) und der breitbandige Signalanteil im Zeitabschnitt 5 – 10s (ausgezogen). Im Funktionsblock **16** werden die Leistungsspektren normiert, wobei bevorzugt die Euklidische Vektornorm herangezogen wird. Hierzu werden alle Amplitudenwerte der Fourier- oder Spektralkomponenten durch einen Normierungsfaktor dividiert, der sich aus der Wurzel der Summe der Amplitudenwertquadrate aller in einem Zeitabschnitt vorhandenen Fourierkomponenten ergibt. In den solchermaßen normierten Leistungsspektren wird in dem als Entropiedetektor ausgebildeten Funktionsblock **17** die Entropie berechnet. Hierzu wird die Amplitude der normierten Leistungsspektren in gleich große Amplitudenintervalle quantisiert und die Frequenz der normierten Leistungsspektren in vorzugsweise gleiche Frequenzintervalle unterteilt. Bevorzugt werden als Frequenzintervalle die bei der Fourieranalyse erhaltenen Frequenzintervalle verwendet. Zur Entropieberechnung wird die Häufigkeit der in jedem Amplitudenintervall auftretenden Frequenzintervalle bestimmt, normiert und der Quantenzahl der Amplitudenintervalle zugeordnet. Aus dieser so gewonnenen Verteilungsfunktion wird dann die Entropie S gemäß

$$S = -\sum p_i \log_a p_i \quad \text{mit } a=2 \text{ oder } a=e \quad (1),$$

berechnet, wobei p_i die relative Wahrscheinlichkeit oder normierte Häufigkeit der im i -ten Amplitudenintervall auftretenden Frequenzintervalle ist. Die Normierung der Häufigkeit der Amplitudenintervalle erfolgt in der Weise, dass die Häufigkeit durch die Gesamtzahl der im Leistungsspektrum insgesamt vorhandenen Frequenzintervalle dividiert wird, so dass gilt

$$\sum_i p_i = 1 \quad (2).$$

[0029] In [Fig. 4](#) ist die im Funktionsblock **17** "Entropiedetektor" berechnete und am Ausgang des Entropiedetektors abnehmbare Entropie S als Funktion der Zeit dargestellt. Deutlich ist zu sehen, dass in dem Zeitbereich 5 – 10s der Entropiewert extrem absinkt. Diese Zeitspanne ist identisch mit dem Zeitbereich 5 – 10s im Empfangssignal, in dem das breitbandige Signal auftritt.

[0030] Die so berechnete Entropie wird dem Funktionsblock **18** "Komparator" zugeführt, der den Entropiewert fortlaufend mit einer Schwelle S_{\min} vergleicht. Wird die Schwelle S_{\min} unterschritten, so gibt der Komparator **18** ein Signal an eine Anzeigeeinheit **19**, die eine Zieldetektion anzeigt. Die Größe der Schwelle S_{\min} ist bestimmt durch die zugelassene Falschalarmrate.

[0031] In einer Modifizierung des beschriebenen Verfahrens wird im Entropiedetektor **16** die Häufigkeit der den einzelnen Frequenzintervallen zugehörigen Amplitudenintervalle bestimmt, normiert und der Ordnungszahl der Frequenzintervalle zugeordnet. Aus der so gewonnenen Verteilungsfunktion wird die Entropie S gemäß

$$S = -\sum_j p_j \cdot \log_a p_j \quad \text{mit } a=2 \text{ oder } a=e \quad (3)$$

berechnet, wobei p_j die relative Wahrscheinlichkeit oder normierte Häufigkeit der im j -ten Frequenzintervall auftretenden Amplitudenintervalle ist. Die Normierung der Häufigkeit wird wiederum in der Weise vorgenommen, dass die Häufigkeit der Amplitudenintervalle durch die Gesamtzahl der insgesamt vorhandenen Frequenzintervalle dividiert wird, so dass gilt

$$\sum_j p_j = 1 \quad (4).$$

[0032] Das mit dem Blockschaltbild gemäß [Fig. 5](#) illustrierte Verfahren zur Zieldetektion unterscheidet sich von dem zu [Fig. 1](#) beschriebenen Verfahren dadurch, dass die lineare Transformation der Zeitabschnitte der Empfangssignale am Ausgang des Beamformers **13** mittels Wavelet-Analyse oder Wavelet-Zerlegung durchgeführt wird und die Entropie S aus den Wavelet-Koeffizienten gemäß

$$S = \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^{N_i} p_{i,k} \log_a p_{i,k} \quad \text{mit } a=2 \text{ oder } a=e \quad (5)$$

berechnet wird. $p_{i,k}$ ist die Wahrscheinlichkeit der bei der Wavelet-Zerlegung gewonnenen Detailkoeffizienten $d_{i,k}$, l die Anzahl der Skalen oder Levels der Wavelet-Zerlegung und N_i die Anzahl der Detailkoeffizienten d_k auf der i -ten Skala. Die Wahrscheinlichkeit $p_{i,k}$ wird dabei gemäß

$$p_{i,k} = 1 + \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i}} e^{-\frac{d_{i,k}^2}{2\sigma_i^2}} \quad (6)$$

berechnet, wobei σ_i mit $i=1$ bis l die Rausch-Standardabweichung auf jeder der Skalen ist.

[0033] Alternativ kann die Entropie auch gemäß

$$S = \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^{N_i} \frac{p_{i,k} \ln p_{i,k}}{N_i} \quad (7)$$

berechnet werden, wobei wieder l die Anzahl der Skalen und N_i die Anzahl der Wavelet-Koeffizienten auf der i -ten Skala bezeichnet. Selbstverständlich kann anstelle von $\ln p_{i,k}$ auch $\log_2 p_{i,k}$ gesetzt werden.

[0034] In [Fig. 6](#) ist beispielhaft ein Zeitabschnitt von ca. 13s eines künstlich erzeugten, vom Ziel abgestrahlten Signals dargestellt, das im Empfänger **18** empfangen wird und am Ausgang des Beamformers **13** abnehmbar ist. Das Empfangssignal weist in der Zeit 1 – 8s einen Rauschanteil und in der Zeitspanne 8 – 10s einen breitbandigen Signal- und Rauschanteil und danach wieder einen Rauschanteil auf. Die auf dieses Empfangssignal angewendete Wavelet-Zerlegung ist in drei Levels beispielhaft dargestellt, die zu drei Skalen führt. Bei jeder Wavelet-Zerlegung wird eine Anzahl von Approximationskoeffizienten und eine Anzahl von Detailkoeffizienten erhalten. Die Detailkoeffizienten $d_{i,k}$ werden entsprechend ihrer Position aufeinanderfolgend nummeriert ($k=1$ bis N_i) und einem Skalenwert i ($i=1$ bis l) zugeordnet. Aus den Approximationskoeffizienten wird ein modifiziertes Zeitsignal generiert, auf das wiederum eine Wavelet-Zerlegung angewendet wird. Wie in [Fig. 7](#) illustriert ist, wird die erste Wavelet-Zerlegung auf den Zeitabschnitt des Empfangssignals gemäß [Fig. 6](#) angewendet. Die dabei im Level **1** entstehenden Detailkoeffizienten $d_{1,k}$ sind dem Skalenwert $i=1$ zugeordnet und entsprechend ihrer Position mit den Koeffizientennummern $k=1$ bis 517 belegt ([Fig. 7a](#)). Aus den Approximationskoeffizienten wird ein modifiziertes Zeitsignal generiert, das gegenüber dem in [Fig. 6](#) dargestellten Empfangssignal bereits stärker geglättet ist. Auf dieses modifizierte Zeitsignal wird die nächste Wavelet-Zerlegung angewendet, wobei in bekannter Weise das Wavelet gedehnt wird. Die dabei im Level **2** entstehenden Detailkoeffizienten $d_{2,k}$ sind mit ihren Koeffizientennummern $k=1$ bis 264 in Zuordnung zu dem Skalenwert $i=2$ in [Fig. 7b](#) dargestellt. Die bei der zweiten Wavelet-Zerlegung entstehenden Approximationskoeffizienten werden wiederum zu einem neuen modifizierten Zeitsignal zusammengesetzt, das gegenüber dem zuvor modifizierten Zeitsignal wiederum stärker geglättet ist. Auf dieses Zeitsignal wird wiederum eine Wavelet-Zerlegung angewendet, wobei das Wavelet noch stärker zeitlich gedehnt wird. Die im Level **3** enthaltene Detailkoeffizienten $d_{3,k}$ sind in [Fig. 7c](#) mit ihren Koeffizientennummern $k=1$ bis 137 dem Skalenwert $i=3$ zugeordnet.

[0035] Die Wavelet-Zerlegung wird abgebrochen, wenn die Zusammensetzung der Approximationskoeffizienten zu einem neuen modifizierten Zeitsignal ein weitgehend geglättetes Signal ergibt. Aus den so gewonnenen Detailkoeffizienten $d_{i,k}$ mit $i=1$ bis $i=l$ und $k=1$ bis $k=N_i$ wird die Entropie S gemäß Gl.(5) oder Gl.(7) berechnet.

[0036] Die aus den Detailkoeffizienten $d_{i,k}$ gemäß Gl.(5) oder Gl.(7) in Verbindung mit Gl.(6) berechnete Entropie ist im Diagramm der [Fig. 8](#) als Funktion der Zeit dargestellt. Deutlich ist zu sehen, dass im Zeitbereich 8 – 10s die Entropie stark abfällt. Dieser Abfall erfolgt in dem Zeitbereich, in dem im Empfangssignal der breitbandige Signalanteil des vom Ziel gesendeten Signals auftritt. Die im Entropiedetektor **21** berechnete Entropie gemäß [Fig. 8](#) wird dem Komparator **17** zugeführt, an dem wiederum eine Schwelle S_{\min} angelegt ist. Unterschreiten die Entropiewerte diese Schwelle, so gibt der Komparator **17** ein Signal an die Anzeigeneinheit **18**, die eine Zieldetektion anzeigt.

[0037] In Gl.(1) und Gl.(3) kann das Minuszeichen durch ein Pluszeichen und in Gl.(5) das Pluszeichen durch ein Minuszeichen ersetzt werden. In diesem Fall legt eine Zieldetektion dann vor, wenn die berechnete Entropie eine vorgegebene Schwelle übersteigt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren von Zielen, die Wellenenergie in ein Medium abstrahlen, insbesondere von akustische Energie ins Wasser abstrahlenden Zielen, mittels Entropiebestimmung in Zeitabschnitten von elektrischen Empfangssignalen eines im Medium zielfern angeordneten Empfängers, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeitabschnitte der Empfangssignale einer linearen Transformation unterzogen werden, die Entropie der Transformatierten bestimmt und aus Veränderungen der Entropie in den Transformatierten auf Ziele geschlossen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation in mit vorzugsweise regelmäßigem Zeitabstand aufeinanderfolgenden, vorzugsweise gleichen Zeitabschnitten eines Empfangssignals vorgenommen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation in zeitgleichen Abschnitten von mindestens zwei aus richtungsselektiven Empfangssektoren des Empfängers empfangenen Empfangssignalen vorgenommen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangssignale räumlich benachbarten Empfangssektoren entnommen werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur linearen Transformation eine Fourieranalyse der Zeitabschnitte der Empfangssignale durchgeführt wird, deren normierte Leistungsspektren gebildet werden und die Entropie der normierten Leistungsspektren berechnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Normierung der Leistungsspektren die Euklidische Vektornorm herangezogen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitude der normierten Leistungsspektren in gleich große Amplitudenintervalle quantisiert und die Frequenz der normierten Leistungsspektren in vorzugsweise gleiche Frequenzintervalle unterteilt wird, dass die Häufigkeit der in den Amplitudenintervallen auftretenden Frequenzintervalle bestimmt und normiert wird, dass die normierte Häufigkeit jeweils den Quantenzahlen der Amplitudenintervalle zugeordnet wird und dass in der so gewonnenen Verteilungsfunktion die Entropie S gemäß

$$S = K \sum p_i \log_a p_i \quad \text{mit } a=2 \text{ oder } a=e \quad (1)$$

berechnet wird, wobei K den Wert –1 oder +1 annehmen kann und p_i die normierte Häufigkeit der im i-ten Amplitudenintervall auftretenden Frequenzintervalle ist, und dass die Normierung der Häufigkeit mit der Gesamtzahl der im jeweiligen Leistungsspektrum insgesamt vorhandenen Frequenzintervalle vorgenommen wird, so dass gilt

$$\sum_i p_i = 1 \quad (2)$$

8. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitude der normierten Leistungsspektren in gleiche Amplitudenintervalle quantisiert und die Frequenz der Leistungsspektren in gleich große Frequenzintervalle unterteilt wird, dass die Häufigkeit der den einzelnen Frequenzintervallen zugehörigen Amplitudenintervalle bestimmt, normiert und jeweils den Ordnungszahlen der Frequenzintervalle zugeordnet wird und dass aus der so gewonnenen Verteilungsfunktion die Entropie S gemäß

$$S = K \sum_j p_j \cdot \log_a p_j \quad \text{mit } a=2 \text{ oder } a=e \quad (3)$$

berechnet wird, wobei K den Wert –1 oder +1 annehmen kann und p_j die normierte Häufigkeit der im j-ten Frequenzintervall auftretenden Amplitudenintervalle ist, und dass die Normierung der Häufigkeit mit der Gesamtzahl der im jeweiligen Leistungsspektrum insgesamt vorhandenen Frequenzintervalle vorgenommen wird, so dass gilt

$$\sum_j p_j = 1 \quad (4)$$

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass als Frequenzintervalle die aus der

Fourieranalyse hervorgehenden Frequenzintervalle verwendet werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur linearen Transformation eine Wavelet-Zerlegung der Zeitabschnitte der Empfangssignale durchgeführt und aus den Wavelet-Koeffizienten die Entropie S gemäß

$$S = K \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^{N_i} p_{i,k} \log_a p_{i,k} \quad \text{mit } a=2 \text{ oder } a=e \quad (5)$$

berechnet wird, wobei K den Wert -1 oder $+1$ annehmen kann und $p_{i,k}$ die Wahrscheinlichkeit der Detailkoeffizienten $d_{i,k}$, l die Anzahl der Skalen und N_i die Anzahl der Detailkoeffizienten auf der i -ten Skala ist, und dass die Wahrscheinlichkeit $p_{i,k}$ gemäß

$$p_{i,k} = 1 + \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i}} e^{-\frac{d_{i,k}^2}{2\sigma_i^2}} \quad (6)$$

berechnet wird, wobei σ_i die Rausch-Standardabweichung auf der i -ten Skala ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Wavelet-Zerlegung in mehreren Leveln oder Transformationsstufen durchgeführt wird, wobei bei jeder Wavelet-Zerlegung Approximationskoeffizienten und Detailkoeffizienten erhalten werden, dass die Wavelet-Zerlegung in dem ersten Level auf das durch die einzelnen Zeitabschnitte definierte Zeitsignal und in jedem folgenden Level auf ein aus den Approximationskoeffizienten generiertes, modifiziertes Zeitsignal angewendet wird und dass jeweils die bei einem Level einer Wavelet-Zerlegung erhaltenen Detailkoeffizienten $d_{i,k}$ entsprechend ihrer Koeffizientennummer k auf einer von aufeinanderfolgenden i Skalen aufgetragen werden, die dem jeweiligen Level der Wavelet-Zerlegung entspricht.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 11, dadurch gekennzeichnet, dass die berechnete Entropie S mit einem Schwellwert verglichen und je nach vorgegebenem Wert K als -1 oder $+1$ bei Unter- oder Überschreiten des Schwellwerts auf das Vorhandensein mindestens eines Ziels geschlossen wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

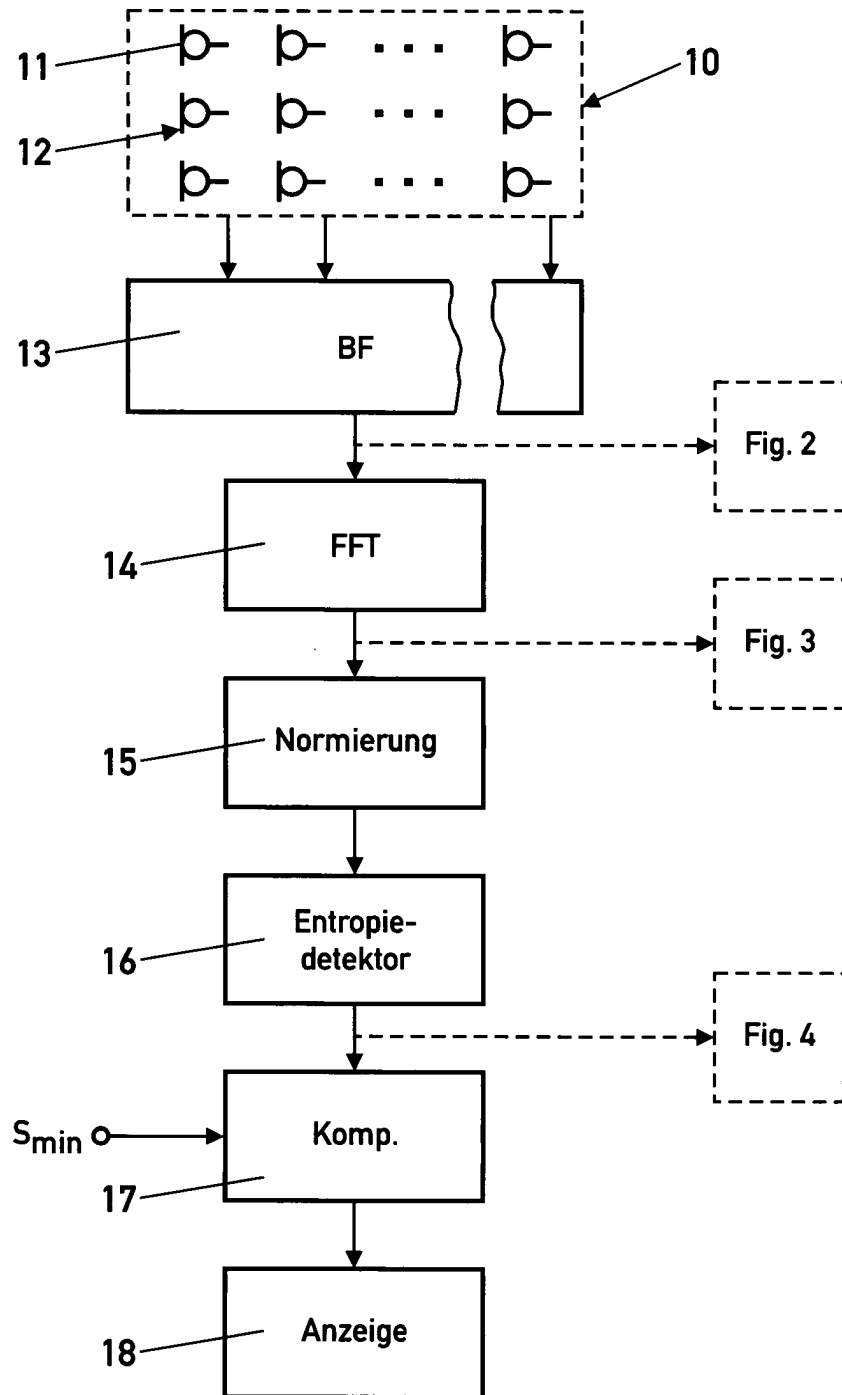


Fig. 1

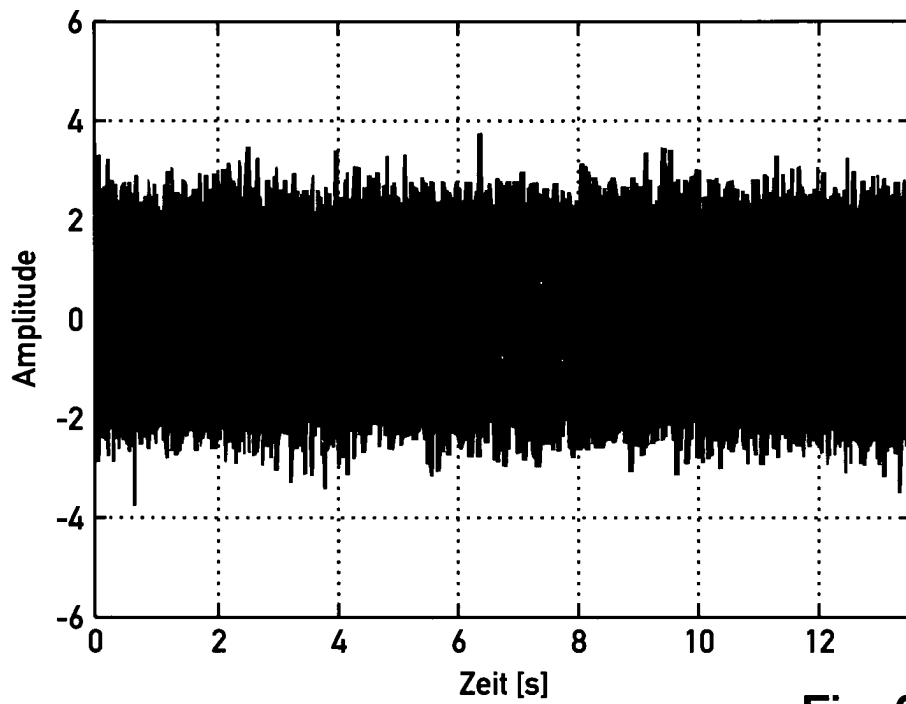


Fig. 2

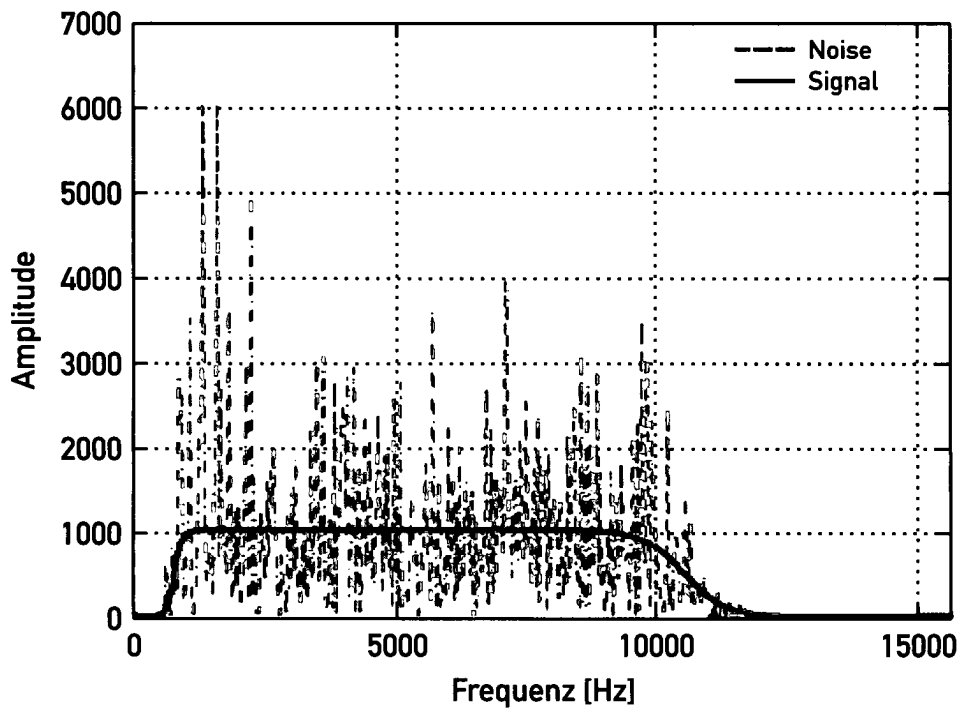


Fig. 3

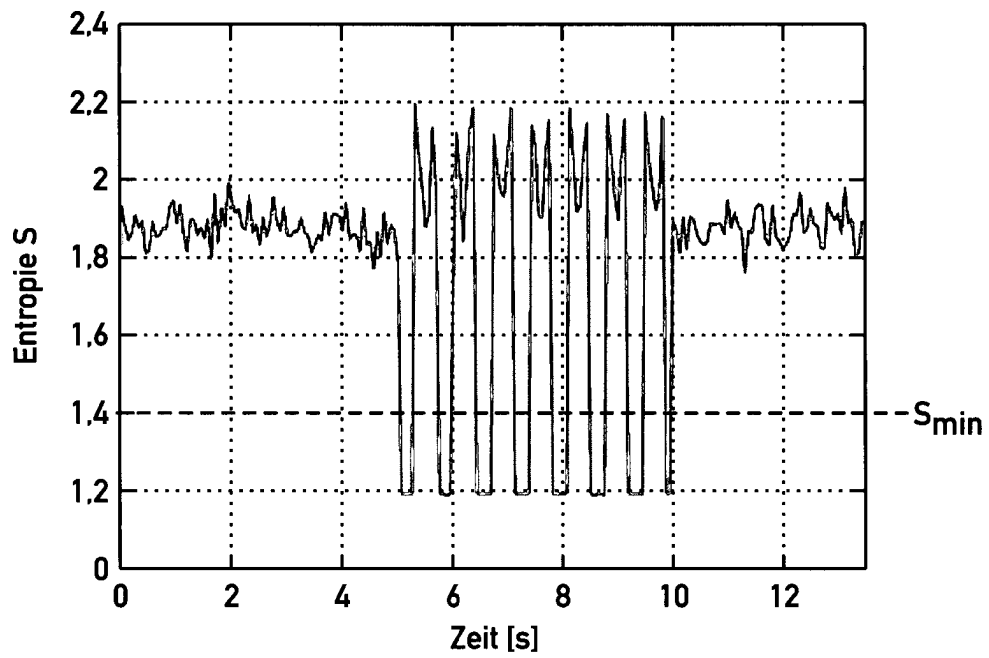


Fig. 4

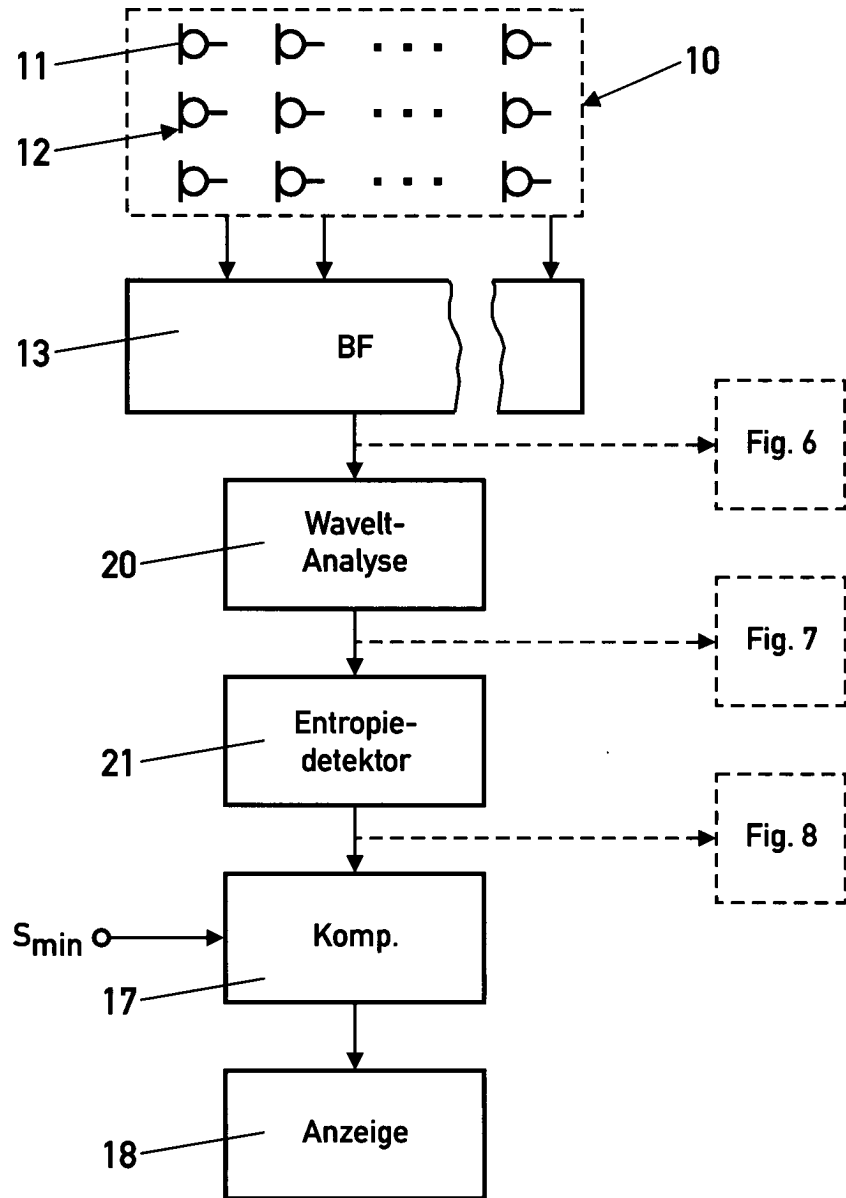


Fig. 5

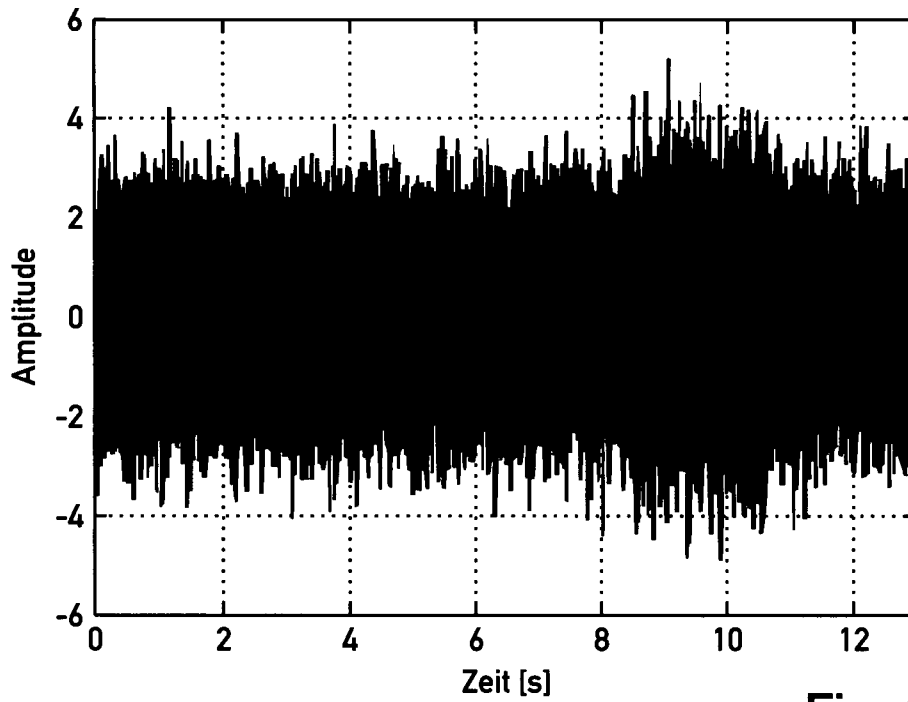


Fig. 6

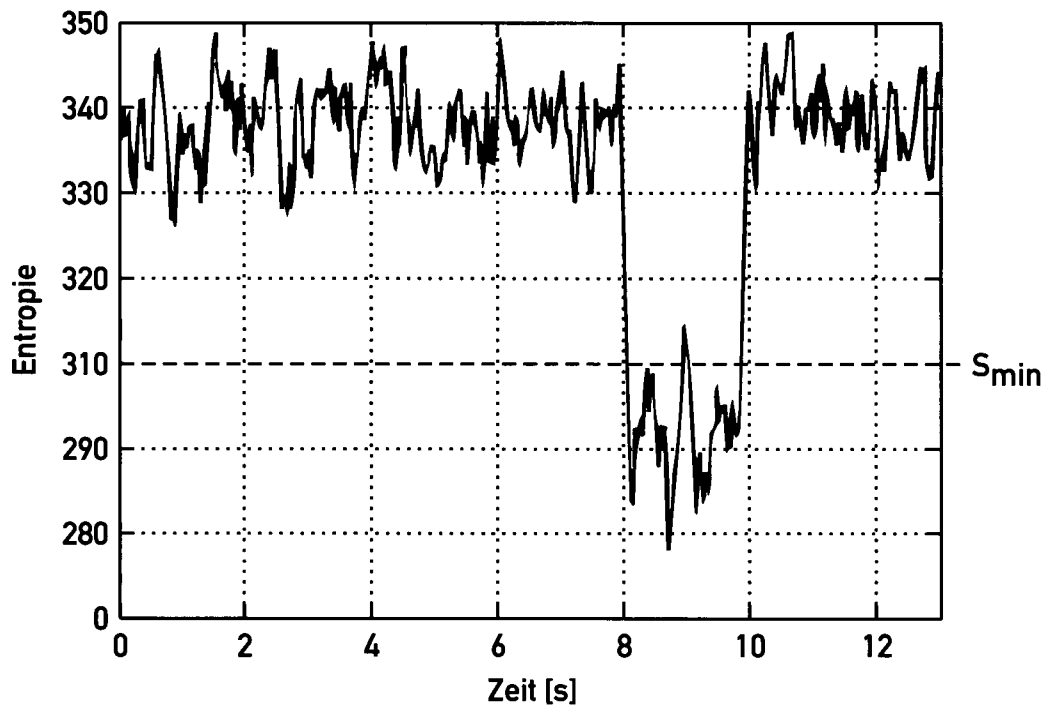


Fig. 8

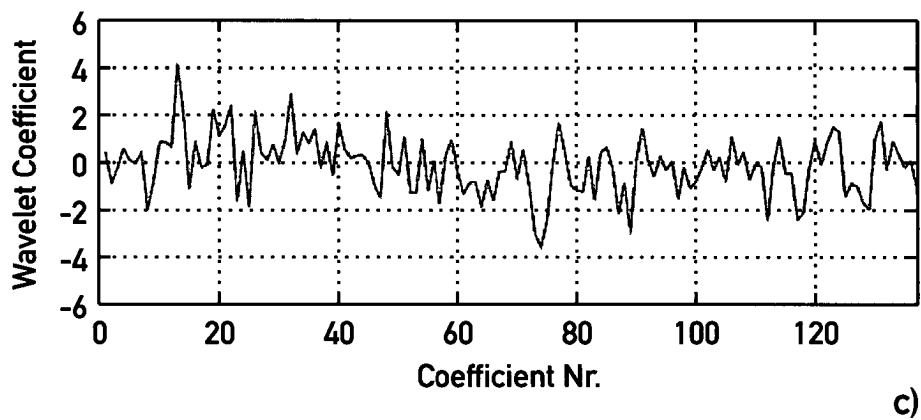
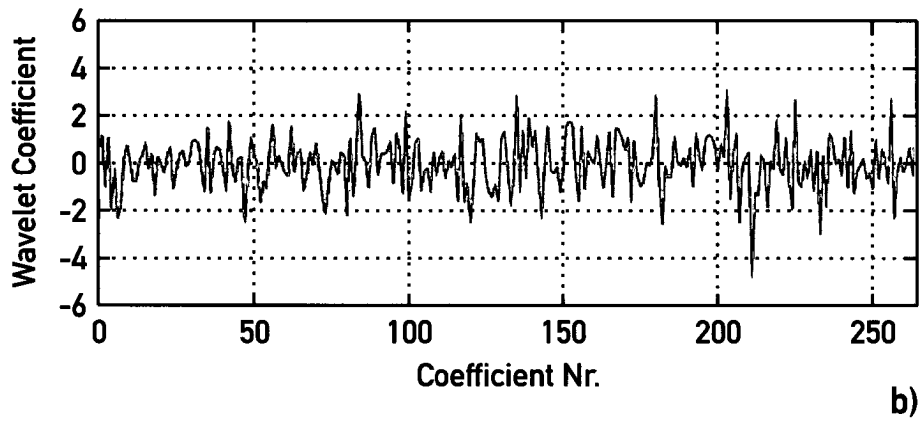
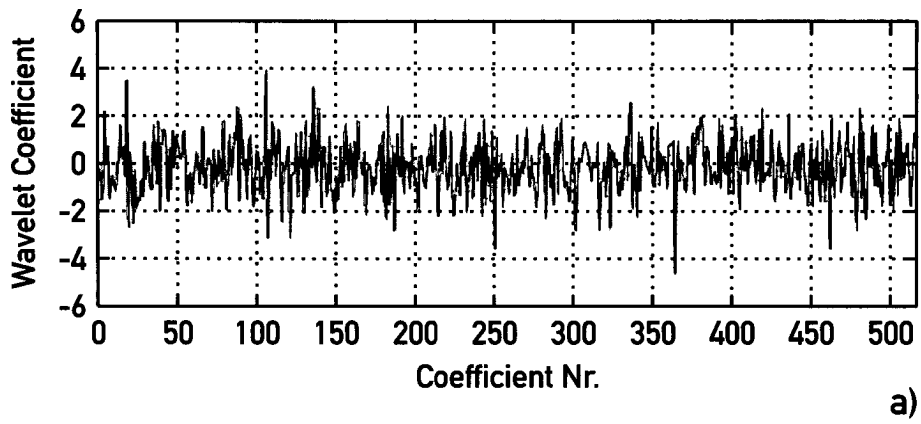


Fig. 7