

(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  
6. April 2006 (06.04.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2006/034763 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:

**Nicht klassifiziert**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/009254

(22) Internationales Anmeldedatum:  
26. August 2005 (26.08.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 047 042.1  
28. September 2004 (28.09.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): **ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG**  
[DE/DE]; Mühldorfstrasse 15, 81671 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FELDHAUS, Gregor**

[DE/DE]; Fromundstr. 48, 81547 München (DE). **ECK-  
ERT, Hagen** [DE/DE]; Wendelsteinstr. 8, 86415 Mering  
(DE).

(74) Anwälte: **KÖRFER, Thomas** usw.; Mitscherlich & Part-  
ner, Sonnenstrasse 33, Postfach 33 06 09, 80066 München  
(DE).

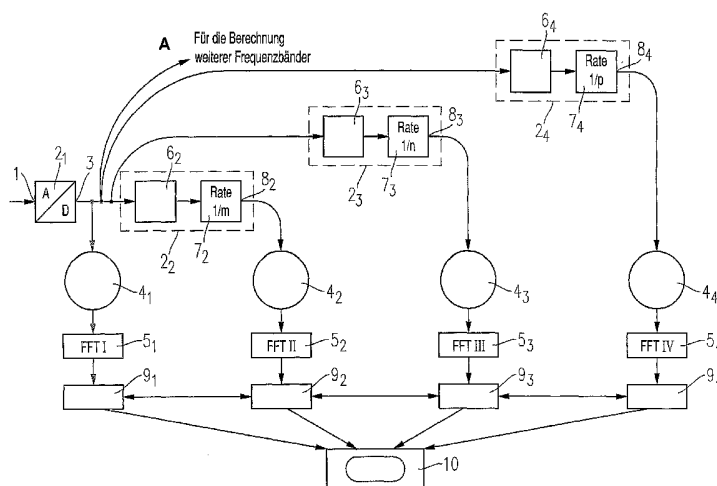
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA,  
MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,  
OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL,  
SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,  
VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PERFORMING SPECTRUM ANALYSIS OF A WANTED SIGNAL OR NOISE SIG-  
NAL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR SPEKTRUMANALYSE EINES NUTZ- ODER RAUSCHSIG-  
NALS



A... FOR THE CALCULATION OF ADDITIONAL FREQUENCY BANDS

(57) Abstract: The invention relates to a method for performing spectrum analysis of a signal in a plurality of frequency bands with respective different frequency resolutions. Said method comprises a data acquisition step (S10, S20) and a subsequent data evaluation step (S40) for every frequency band. The data acquisition step (S10, S20) and the subsequent data evaluation step (S40) proceeds cyclically and continuously for every frequency band of the spectrum analysis. The corresponding device for performing spectrum analysis of a signal cyclically stores a scanning sequence of the signal for every frequency band in one circular buffer (41, 42, 43, 44, - 41', 42', 43', 44') each. A discrete Fourier transformer (51, 52, 53, 54, - 51', 52', 53', 54') uses the cyclically stored scanning sequences to calculate the spectral values pertaining to the respective frequency band.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

---

**(57) Zusammenfassung:** Ein Verfahren zur Spektrumanalyse eines Signals in mehreren Frequenzbändern mit jeweils unterschiedlicher Frequenzauflösung besteht aus einem Datenerfassungsschritt (S10, S20) und einem nachfolgenden Datenauswertungsschritt (S40) je Frequenzband. Der Datenerfassungsschritt (S10, S20) und der nachfolgende Datenauswertungsschritt (S40) läuft für jedes Frequenzband der Spektrumanalyse zyklisch ohne Unterbrechung ab. Die zugehörige Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals speichert für jedes Frequenzband in jeweils einem Ringspeicher ( $4_1, 4_2, 4_3, 4_4, -4_1', 4_2', 4_3', 4_4'$ ) eine Abtastfolge des Signals zyklisch ab. Aus den zyklisch abgespeicherten Abtastfolgen berechnet jeweils ein diskreter Fourier-Transformator ( $5_1, 5_2, 5_3, 5_4, -5_1', 5_2', 5_3', 5_4'$ ) die zum jeweiligen Frequenzband gehörigen Spektralwerte zyklisch.

## Verfahren und Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Nutz- oder Rauschsignals

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung  
5 zur Spektrumanalyse eines Nutz- oder Rauschsignals.

Die Analyse eines Nutz- oder Rauschsignals mit einem Spektrumanalysator oder an einem Rauschmeßplatz erfordert eine Spektrumanalyse über einen weiten Frequenzbereich.  
10 Zur effizienten Messung des Signal- oder Rauschspektrums wird der gesamte zu vermessende Frequenzbereich in mehrere Frequenzbänder unterteilt, die jeweils mit unterschiedlicher Frequenzauflösung vermessen werden. Beispielsweise kann es sinnvoll sein, die Frequenzauflösung mit zunehmenden Frequenzabstand zum Meßsignal zu verringern.  
15 Dadurch werden tieferfrequente Frequenzbänder (Frequenzbänder mit geringem Frequenzoffset zum Meßsignal) mit einer höheren Frequenzauflösung als höherfrequente Frequenzbänder (Frequenzbänder mit großem Frequenzoffset zum Meßsignal) vermessen.  
20

Typischerweise arbeiten moderne Spektrumsanalysatoren nach dem Überlagerungsprinzip. Für hohe Frequenzauflösungen wird das Zwischenfrequenzsignal abgetastet und einer FFT-Analyse unterworfen. Für geringe Frequenzauflösungen  
25 werden analoge Filter im ZF-Zwischenpfad verwendet und der Analysator in einem Sweep-Modus betrieben.

Bei einem nach der diskreten Fast-Fourier-Analyse (FFT-Analyse) arbeitenden Spektrumanalysator ergibt sich die Gesamtmeßzeit  $T_{\text{MGes}}$  aus der Summe der Meßzeiten  $T_{\text{Mi}}$  der einzelnen Frequenzbänder. Die Meßzeit  $T_{\text{Mi}}$  je Frequenzband setzt sich gemäß Fig. 1A wiederum aus einem der Anzahl an Mittelungen entsprechenden Vielfachen der additiven Verknüpfung aus Datenerfassungszeit  $T_{\text{Mesi}_j}$  und Datenauswertungszeit  $T_{\text{FFTi}_j}$  für die Fourier-Analyse zzgl. einer Mittelungszeit  $T_{\text{Mit}_i}$  und Darstellungszeit  $T_{\text{Dispi}}$  zusammen. Die Datenerfassungszeit  $T_{\text{Mesi}_j}$  im jeweiligen Frequenzband ist wiederum proportional zu Frequenzauflösung des jeweiligen

Frequenzbandes. Die Gesamtmeßzeit  $T_{MGes}$  ergibt sich folglich gemäß Gleichung (1a).

$$T_{MGes} = \sum_{i=1}^M T_{Mi} = \sum_{i=1}^M \left( \sum_{j=1}^m (T_{Mesi\_j} + T_{FFTi\_j}) + T_{Miti} + T_{Dispi} \right) \quad (1a)$$

5

Auch bei einer kompakten, entsprechend der Anzahl an Mittelungen wiederholt durchzuführenden Datenerfassung und eine anschließenden kompakten, entsprechend der Anzahl an Mittelungen wiederholt durchzuführenden Datenauswertung  
 10 mittels Fourier-Analyse gemäß Fig. 1B kann keine Reduzierung der Gesamtmeßzeit  $T_{MGes}$  erzielt werden. Die Gesamtmeßzeit  $T_{MGes}$  ergibt sich wiederum gemäß Gleichung (1a). Erst eine Parallelisierung der Datenerfassung und Datenauswertung mittels Fourier-Analyse führt zu einer  
 15 Verringerung der Gesamtmeßzeit  $T_{MGes}$  gemäß Gleichung (1b).

$$T_{MGes} = \sum_{i=1}^M T_{Mi} = \sum_{i=1}^M \left( \sum_{j=1}^m (T_{Mesi\_j}) + T_{FFTi} + T_{Miti} + T_{Dispi} \right) \quad (1b)$$

Insgesamt weist ein derartiger nach der diskreten Fourier-  
 20 Analyse arbeitender Spektrumanalysator mit mehreren Frequenzbändern unterschiedlicher Frequenzauflösung, der den Stand der Technik darstellt, eine vergleichsweise zu große Gesamtmeßzeit auf. Diese zu große Meßzeit ist insbesondere auf die starke sequenzielle Datenerfassung für die  
 25 einzelnen Frequenzbänder über mehrere Mittelungen zurückzuführen. Diese sequenzielle Datenerfassung für die einzelnen Frequenzbänder bedingt eine lückenhafte zeitliche Aufzeichnung des Signals für die einzelnen Frequenzbänder, die nachteilig eine längere Meßzeit er-  
 30 forderlich macht.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur digitale Spektrumanalyse, insbesondere digitalen Fourier-Analyse, eines  
 35 Signals in mehreren Frequenzbändern zu schaffen, wobei die Frequenzauflösung in den verschiedenen Bändern unterschiedlich sein kann. Das Verfahren und die Vorrich-

tung zur digitalen Spektrumanalyse, insbesondere Fourier-Analyse, soll einerseits eine unterbrechungsfreie Datenerfassung für jedes Frequenzband ermöglichen und andererseits die Gesamtmeßzeit der digitalen  
5 Spektrumanalyse erheblich minimieren.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Verfahren zur Spektrumanalyse eines Signals mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch eine Vorrichtung zur Spektrumanalyse  
10 eines Signals mit den Merkmalen nach Anspruch 14 gelöst.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren und bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals wird für jedes Frequenzband zyklisch ohne Unterbrechung  
15 aus dem zu analysierenden Signal im Rahmen der Datenerfassung eine Abtastfolge mit einer für das jeweilige Frequenzband erforderlichen Abtastfrequenz generiert. Diese für jedes Frequenzband spezifische Abtastfolge wird über mehrere Abtast-Einheiten - Analog-  
20 Digital-Wandler oder Dezimierungs-Einheiten - erzeugt und in einem zum jeweiligen Frequenzband gehörigen Ringspeicher zyklisch abgespeichert. Sobald eine für die Fourier-Analyse im jeweiligen Frequenzband erforderliche Anzahl von Abtastwerten aktualisiert im jeweiligen  
25 Ringspeicher vorrätig ist, werden diese Abtastwerte ohne Unterbrechung der Datenerfassung von einem zum jeweiligen Frequenzband gehörigen FFT-Analysator ausgelesen und zur zyklischen Berechnung der aktualisierten Spektralwerte für das jeweilige Frequenzband herangezogen.

30 Auf diese Weise wird die Gesamtmeßzeit gemäß Gleichung (1c), die weiter unter aufgeführt ist, näherungsweise durch das Frequenzband mit dem größten Produkt aus Datenerfassungszeit und Anzahl der Mittelungen bestimmt.

35 Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht als wesentlichen Vorteil gegenüber dem Stand der Technik eine beschleunigte und lückenlose online-Datenauswertung der erfaßten Daten für alle

- Frequenzbänder, während parallel im Hintergrund bereits die Daten für den nächsten Zyklus erfaßt werden. Während beim Stand der Technik die erfaßten Daten für alle Frequenzbänder erst nach Abschluß der gesamten FFT-Analyse dargestellt werden können, erlaubt das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Datenanzeige bereits im Verlauf der Datenerfassung, sobald von den ersten erfaßten Daten Auswertungen vorliegen.
- 10 Um den Hard- und Software-Aufwand zur Erzeugung jeder für das jeweilige Frequenzband spezifischen Abtastfolge des zu analysierenden Signals zu minimieren, werden in einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mehrere Abtast-Einheiten sequenziell und/oder parallel
- 15 zueinander geschaltet. Während die erste Abtast-Einheit ein reiner Analog-Digital-Wandler ist, handelt es sich bei der zweiten und allen weiteren Abtast-Einheiten um Dezimierungs-Einheiten bestehend aus einem Filter mit nachgeschalteten Unterabtastungseinheit. Durch geschickte
- 20 Wahl der Teilungsfaktoren in den einzelnen Unterabtastungseinheiten der einzelnen Dezimierungs-Einheiten und durch eine geschickt gewählte Struktur der seriellen und/oder parallelen Verschaltung der einzelnen Dezimierungs-Einheiten kann der Aufwand für die benötigten Dezimierungs-Einheiten gegenüber einer Realisierung, in der für
- 25 jedes Frequenzband jeweils eine eigene Abtast-Einheit - Analog-Digital-Wandler oder Dezimierungs-Einheit - vorgesehen ist, deutlich reduziert werden.
- 30 Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals liegt in der Nutzung der an den Rändern bzw. Überlappungsbereichen der FFT-Analysen vorliegenden Spektralwerte bzw. Leistungsdichtewerte für andere Frequenz-
- 35 bänder. Beispielsweise können Spektrallinien einer höherfrequenten Frequenzanalyse im Überlappungsbereich zu einer tieferfrequenten Analyse temporär zur Messung und Anzeige verwendet und durch die später eintreffende Analyse des tieferfrequenten Bandes ersetzt werden. Vorteile ergeben

sich auch, falls aneinandergrenzende Bänder mit unterschiedlicher Frequenzauflösung arbeiten. Der Überlappungsbereich liegt beispielsweise mit niedriger und mit hoher Frequenzauflösung vor. Durch Nutzung der Spektralwerte mit unterschiedlicher Frequenzauflösung kann der Übergangsbereich zwischen den Frequenzbändern mit unterschiedlicher Auflösung geglättet werden.

Schließlich können für die Mittelung der aus den Spektralwerten gewonnenen Leistungsdichtewerte an den Rändern der einzelnen Frequenzbändern die von den FFT-Analysatoren der jeweils benachbarten Frequenzbänder berechneten Spektralwerte bzw. Leistungsdichtewerte an den Rändern der jeweils benachbarten Frequenzbänder gegenseitig ausgetauscht und genutzt werden. Liegen überlappende Frequenzbänder vor, so können ganz analog die Spektralwerte bzw. Leistungsdichtewerte im Überlappungsbereich des jeweils zum benachbarten Frequenzband gehörigen FFT-Analysators ebenfalls ausgetauscht und zur Mittelung genutzt werden. Auf diese Weise kann die Meßdatenauswertungszeit reduziert werden und somit früher Meßdaten angezeigt werden.

Die beiden Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens und erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals werden im folgenden unter Berücksichtigung der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig.1A,1B ein Zeitdiagramm einer ersten und zweiten Ausführungsform des Verfahrens und der Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals nach den Stand der Technik,

Fig. 2A,2B ein Blockdiagramm einer ersten und zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals,

- Fig. 3 ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Spektrumanalyse eines Signals,
- Fig. 4 ein Zeitdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals und
- Fig. 5 ein Frequenzspektrum des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals mit vier überlappenden FFT-Frequenzbändern.

Die in Fig. 2A dargestellte erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Nutz- oder Rauschsignals wird am Eingang 1 der ersten Abtast-Einheit  $2_1$ , die als Analog-Digital-Wandler ausgeführt ist, mit dem zu analysierenden Nutz- oder Rauschsignal beaufschlagt. In der ersten Abtast-Einheit  $2_1$  erfolgt eine Abtastung des analogen Nutz- oder Rauschsignals mit einer bestimmten Abtastfrequenz  $f_s$ . Die am Ausgang 3 der ersten Abtast-Einheit  $2_1$  anliegende Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals wird einem ersten Ringspeicher  $4_1$  zugeführt.

Der erste Ringspeicher  $4_1$ , der eine bestimmte Speicherkapazität aufweist, wird zyklisch ohne Unterbrechung mit der Abtastfolge des mit der Abtastfrequenz  $f_s$  abgetasteten Nutz- oder Rauschsignals beschrieben. Sobald im ersten Ringspeicher  $4_1$  eine für eine nachfolgende Fourier-Analyse ausreichende Anzahl an neuen Abtastwerten des mit der Abtastfrequenz  $f_s$  digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals abgespeichert sind, liest ein erster diskreter Fourier-Transformator  $5_1$  die für eine neue diskrete Fourier-Analyse erforderliche Anzahl an Abtastwerten des mit der Abtastfrequenz  $f_s$  digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals aus und berechnet daraus die diskreten Spektralwerte des Frequenzbandes I im höchsten darzustellenden Frequenzbereich.

Die für eine Darstellung in einem bestimmten Frequenzband erforderliche Abtastrate des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals ist nach dem Nyquist-Kriterium mindestens mit dem doppelten Wert der oberen Grenzfrequenz des Frequenzbandes auszulegen. Gleichzeitig ergibt sich bei  
5 gegebener Frequenzauflösung im Frequenzband eine zur Frequenzauflösung proportionale Meßzeit des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals.

10 Somit ergibt sich - bei gleicher FFT-Auswertelänge und ohne Berücksichtigung von Mittelungen - für ein höherfrequenteres Frequenzband eine höhere Abtastfrequenz des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals und aufgrund der niedrigeren Frequenzauflösung eine kleinere Meßzeit als  
15 für ein tieferfrequenteres Frequenzband.

Erfindungsgemäß werden für die Darstellung in den übrigen niederfrequenteren Frequenzbändern parallel Abtastfolgen des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals in der  
20 jeweils geeigneten Abtastfrequenz erzeugt. Hierzu sind für die beispielsweise drei niederfrequenteren Frequenzbänder II, III und IV der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals in Fig. 2A jeweils eine als Dezimierungs-Einheit realisierte zweite, dritte und vierte  
25 Abtast-Einheit  $2_2$ ,  $2_3$  und  $2_4$  vorgesehen, die jeweils mit dem Ausgang 3 der ersten Abtast-Einheit  $2_1$  verbunden sind.

Die Dezimierungs-Einheit  $2_2$ ,  $2_3$  und  $2_4$  besteht jeweils aus einer Serienschaltung eines Tiefpaßfilters  $6_2$ ,  $6_3$  und  $6_4$   
30 und einer Unterabtastungseinheit  $7_2$ ,  $7_3$  und  $7_4$ . Die Unterabtastungseinheiten  $7_2$ ,  $7_3$  und  $7_4$  weisen jeweils einen unterschiedlichen Frequenzteilungsfaktor  $1/m$ ,  $1/n$  und  $1/p$  auf, so daß am Ausgang  $8_2$  der Dezimierungs-Einheit  $2_2$  eine Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals  
35 mit einer Abtastfrequenz von  $f_s/m$ , am Ausgang  $8_3$  der Dezimierungs-Einheit  $2_3$  eine Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals mit einer Abtastfrequenz  $f_s/n$  und am Ausgang  $8_4$  der Dezimierungs-

Einheit 2<sub>4</sub> eine Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals mit einer Abtastfrequenz von  $f_s/p$  anliegt.

Diese Abtastfolgen des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals mit jeweils unterschiedlicher Abtastfrequenz werden jeweils einem zweiten, dritten und vierten Ringspeicher 4<sub>2</sub>, 4<sub>3</sub> und 4<sub>4</sub> zyklisch ohne Unterbrechung zugeführt. Liegen im zweiten, dritten und vierten Ringspeicher 4<sub>2</sub>, 4<sub>3</sub> und 4<sub>4</sub> eine für die Fourier-Analyse im jeweiligen Frequenzband II, III und IV ausreichende Anzahl an neu abgespeicherten Abtastwerten des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals vor, so liest der jeweilige zweite, dritte und vierte diskrete Fourier-Transformator 5<sub>2</sub>, 5<sub>3</sub> und 5<sub>4</sub> diese neu abgespeicherten Abtastwerte aus und berechnet aus diesen Abtastwerten die aktualisierten Spektralwerte  $\underline{A}_i(f)$  des jeweiligen Frequenzbandes II, III und IV mittels einer diskreten Fourier-Analyse. Ohne Einschränkung der Allgemeinheit kann die Frequenzauflösung für jedes Teilband durch Wahl einer entsprechenden FFT-Auswertelänge gleich oder auch unterschiedlich eingestellt werden. In den an die diskreten Fouriertransformatoren 5<sub>1</sub>, 5<sub>2</sub>, 5<sub>3</sub> und 5<sub>4</sub> jeweils anschließenden Funktionseinheiten 9<sub>1</sub>, 9<sub>2</sub>, 9<sub>3</sub> und 9<sub>4</sub> werden aus den einzelnen Spektralwerten  $\underline{A}_i(f)$  die jeweiligen Leistungswerte  $L_i(f)$  des Leistungsspektrum gemäß Gleichung (2) und mittels Mittelung über mehrere Mittelungsintervalle die Leistungsdichtewerte  $\overline{L}_i(f)$  des Leistungsdichtespektrums gemäß Gleichung (3) berechnet.

$$L_i(f) = |\underline{A}_i(f)|^2 \quad (2)$$

$$\overline{L}_i(f) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i(f) \quad (3)$$

Das Leistungsdichtespektrum  $\overline{L}_i(f)$  für alle beispielsweise vier Frequenzbänder wird anschließend in einer Anzeigeeinrichtung 10 visualisiert.

In Fig. 2B ist eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals

dargestellt. Für identische Merkmale der zweiten Ausführungsform zur ersten Ausführungsform werden die gleichen Bezugszeichen verwendet und auf eine wiederholte Beschreibung dieser Merkmale verzichtet.

5

Im Gegensatz zur ersten Ausführungsform mit einer rein parallelen Verschaltung der Dezimierungs-Einheiten  $2_2$ ,  $2_3$ ,  $2_4$  usw. werden in der zweiten Ausführungsform die Dezimierungs-Einheiten  $2_2'$ ,  $2_3'$ ,  $2_4'$  usw. nicht nur  
10 parallel, sondern auch seriell verschaltet. Durch die serielle Verschaltung der Dezimierungs-Einheiten ist es möglich, eine Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals mit einer bestimmten Abtastfrequenz zu generieren und dabei die Teilungsfaktoren der einzelnen  
15 Unterabtastungseinheiten - gegenüber der ersten Ausführungsform - in den einzelnen Dezimierungs-Einheiten zu verkleinern. Kleinere Teilungsfaktoren der Unterabtastungseinheiten bedingen einen geringeren Aufwand in der Hard- und Software der einzelnen Dezimierungs-Einheiten.  
20 So können das jeweils zugeordnete Tiefpaßfilter wie auch die internen Ringspeicher der jeweiligen Dezimierungsstufen deutlich kleiner ausgelegt werden.

Bei der zweiten Ausführungsform in Fig. 2B mit einer  
25 beispielsweise halbdekadischen Auslegung der einzelnen Frequenzbänder - Frequenzband I: 30kHz -100 kHz, Frequenzband II: 10 kHz -30 kHz, Frequenzband III: 3 kHz - 10 kHz, Frequenzband IV: 1 kHz - 3 kHz - wird die Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals für das  
30 Frequenzband I beispielsweise mit einer Abtastfrequenz von 250 kHz unter Berücksichtigung der Nyquist-Bedingung von der ersten Abtast Einheit  $2_1$  erzeugt. Die Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals für das Frequenzband II wird mit einer Abtastfrequenz von 250/3  
35 kHz von der Dezimierungs-Einheit  $2_2'$  mit einem Teilungsfaktor von 1/3 durch den zugeordnete Unterabtastungseinheit  $7_2'$  aus der Abtastfolge am Ausgang 3 der ersten Abtast-Einheit  $2_1$  generiert. Die Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals für das

Frequenzband III wird mit einer Abtastfrequenz von 250/10 kHz von der Dezimierungs-Einheit  $3_1'$  mit einem Teilungsfaktor von 1/10 durch die zugeordnete Unterabtastungseinheit  $7_3'$  aus der Abtastfolge am Ausgang 3 der ersten Abtast-Einheit  $2_1$  erzeugt. Schließlich wird die Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals für das Frequenzband IV mit einer Abtastfrequenz von 250/30 kHz durch Serienschaltung der Dezimierungs-Einheit  $2_4'$  mit einem Teilungsfaktor von 1/10 durch die zugeordnete Unterabtastungseinheit  $7_4'$  und der Dezimierungs-Einheit  $2_3'$  mit einem Teilungsfaktor von 1/3 durch die zugeordnete Unterabtastungseinheit  $7_3'$  aus der Abtastfolge am Ausgang 3 der ersten Abtast-Einheit  $2_1$  generiert.

Die Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals am Ausgang  $8_3'$  der Dezimierungs-Einheit  $2_3'$  mit einer Abtastfrequenz von 250/10 kHz und die Abtastfolge des digitalisierten Nutz- oder Rauschsignals am Ausgang  $8_4'$  der Dezimierungs-Einheit  $2_4'$  mit einer Abtastfrequenz von 250/300 kHz können weiteren Dezimierungs-Einheiten  $2_i'$  - beispielsweise Dezimierungs-Einheit  $2_5'$  in Fig. 2B - zugeführt werden. Auf diese Weise lassen sich Abtastfolgen mit Abtastfrequenzen realisieren, die der Multiplikation der Teilungsfaktoren der Unterabtastungseinheiten der jeweils seriell gekoppelten Dezimierungs-Einheiten mit der Abtastfrequenz der Abtastfolge am Ausgang 3 der ersten Abtast Einheit  $2_1$  entsprechen.

In Fig. 3 ist ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Spektrumanalyse eines Nutz- oder Rauschsignals dargestellt.

In Verfahrensschritt S10 werden aus dem analogen Nutz- oder Rauschsignals für jedes Frequenzband jeweils eine Abtastfolge mit einer zum jeweiligen Frequenzband passenden Abtastfrequenz erzeugt. Die Erzeugung der Abtastfolge für jedes Frequenzband mittels Abtastung erfolgt zyklisch ohne Unterbrechung und quasi-parallel.

Einzig am Beginn der Abtastung liegt auf Grund einer möglichen seriellen Verschaltung mehrerer Abtast-Einheiten für die Abtastfolgen in niederfrequenteren Frequenzbändern eine Verzögerung  $T_{\text{delay}}$  vor.

5

Jede dieser Abtastfolgen mit einer für das jeweilige Frequenzband spezifischen Abtastfrequenz werden im nächsten Verfahrensschritt S20 zyklisch ohne Unterbrechung in jeweils einen Ringspeicher eingeschrieben.

10

Sobald im für das jeweilige Frequenzband bestimmten Ringspeicher eine für die nachfolgende Fourier-Analyse im jeweiligen Frequenzband ausreichende Anzahl an Abtastwerten der jeweiligen Abtastfolge neu abgespeichert ist, erfolgt im darauffolgenden Verfahrensschritt S30 das Auslesen dieser für die Fourier-Analyse ausreichenden Anzahl an neuen Abtastwerten der jeweiligen Abtastfolge. Auch dieses Auslesen der Abtastwerte der jeweiligen Abtastfolge erfolgt im Zyklus.

20

Aus den ausgelesenen Abtastwerten des mit der zum jeweiligen Frequenzband passenden Abtastfrequenz abgetasteten Nutz- oder Rauschsignals wird in Verfahrensschritt S40 in jeweils einem diskreten Fourier-Transformator je Frequenzband über eine diskrete Fourier-Analyse die zum jeweiligen Frequenzband passenden diskreten Spektralwerte berechnet.

25

Im nächsten Verfahrensschritt S50 erfolgt für jeden Frequenzrasterpunkt in jedem Frequenzband die Berechnung der einzelnen Leistungswerte  $L_i(f)$  des Leistungsspektrums aus den Spektralwerten der Fourier-Analyse gemäß Gleichung (2).

30

In Verfahrensschritt S60 wird aus in mehreren Zyklen jeweils ermittelten Leistungswerten  $L_i(f)$  des Leistungsspektrum für jeden Frequenzrasterpunkt des jeweiligen Frequenzbandes ein Leistungsdichtewerte  $\bar{L}_i(f)$  des Leistungsdichtespektrums gemäß Gleichung (3) berechnet. Der

35

Verfahrensschritt S60 zur Mittelung der Leistungswerte  $L_i(f)$  bei jedem Frequenzrasterpunkt in jedem Frequenzband kann insbesondere auch zur Mittelung über die Frequenzbandgrenze hinaus genutzt werden.

5

Durch Parallelisierung der Verarbeitung wird die Datenannahmezeit zur Meßauswertung bereits aufgenommener Meßdaten genutzt.

- 10 Im abschließenden Verfahrensschritt S80 werden die einzelnen mittels Fourier-Analyse und Leistungsberechnung und -mittelung berechneten Leistungsdichtewerte  $\bar{L}_i(f)$  jedes Frequenzbandes in einer Anzeigeeinrichtung 10 dargestellt. Die Meßauswertung für die verschiedenen
- 15 Frequenzbänder werden im allgemeinen für die Darstellung in einem Diagramm zusammengefaßt. Wie bereits geschildert können in den Randbereichen der einzelnen Frequenzbänder Sonderbehandlungen vorgenommen werden, um die Meßkurve durch Nutzung der höheren Frequenzauflösung des jeweils
- 20 tieferfrequenten Bandes zu glätten. Es ist jedoch auch möglich, nur einzelne Teilbänder in eigenen Meßfenstern zu visualisieren.

- Neben der beschriebenen Mittelung der Frequenzbänder und
- 25 der Überlappungsbereiche nach dem sogenannten Welch-Verfahren (Glg. (3)) können auch andere Mittelungsverfahren, wie z.B. eine gleitende Mittelung gemäß der Beziehung in Glg. (4) Anwendung finden.

30 
$$\bar{L}_i(n, f) = a \cdot L_i(f) + (a-1) \cdot L_i(n-1, f) \quad \text{mit } 0 \leq a \leq 1 \quad (4)$$

- Auch die parallele und sukzessive Anwendung mehrerer gleichartiger oder unterschiedlicher Mittelungsverfahren ist vorteilhaft möglich. So kann beispielsweise auf eine
- 35 Serie bereits gemittelter Meßergebnisse eine weitere Mittelung angewendet werden, um die Meßergebnisse weiter zu glätten. Durch die parallele Anwendung von verschiedenen Mittelungsverfahren und Darstellung der gemittelten Meßergebnisse beider Verfahren können

vorteilhaft Rückschlüsse auf die Zeitvarianz der Meßergebnisse vorgenommen werden.

In Fig. 4 sind in einem Zeitdiagramm beispielhaft für die vier Frequenzbänder der beiden Ausführungsformen in Fig. 2A und 2B die Zeitverteilung für die Datenerfassung und Datenauswertung in jedem Frequenzband dargestellt. Aus Fig. 4 ist ersichtlich, wie obig schon mehrmals beschrieben ist, daß die Datenerfassung und -auswertung jedes Frequenzband zyklisch ohne Unterbrechung erfolgt. Bei gleicher Anzahl von Spektrallinien in jedem der vier Frequenzbänder ergibt sich für jedes Frequenzband eine Frequenzauflösung und Meßzeit, die indirekt proportional zur Startfrequenz des jeweiligen Frequenzbandes ist. Für das hochfrequente Frequenzband I ergibt sich also im Vergleich zum niederfrequenten Frequenzband IV eine deutlich kleinere Meßzeit (Meßzeit in Frequenzband I:  $1 \cdot T$ ; Meßzeit in Frequenzband IV:  $30 \cdot T$ ). Die Datenauswertungen können in den betreffenden Recheneinheiten im Hintergrund quasi parallel stattfinden, ohne daß die Datenannahme und Dezimierung der Daten in den entsprechenden Verarbeitungsstufen davon berührt ist. Insbesondere kann im Hintergrund und quasi parallel für höherfrequente Bänder bereits Mittelungsoperationen vorgenommen werden, während die Datenannahme und -verarbeitung für tieferfrequente Bänder noch nicht abgeschlossen ist. Einzig in den niederfrequenten Frequenzbändern II, III und IV kommt es zu Beginn der Datenerfassung und Datenauswertung aufgrund von Verzögerungszeiten in den seriell geschalteten Dezimierungs-Einheiten zu jeweils unterschiedlich großen Verzögerungszeiten  $T_{\text{Delay}i}$  im jeweiligen Frequenzband i.

Durch die erfindungsgemäße Parallelisierung der Datenerfassung und -auswertung in einzelnen Frequenzbändern ergibt sich die Gesamtmeßzeit  $T_{\text{MGes}}$  näherungsweise gemäß Gleichung (1c).

$$T_{\text{MGes}} \approx T_{\text{MMAX}} = \max \{T_{Mi}\} \text{ mit}$$

$$\begin{aligned}
 T_{Mi} &= \sum_{j=1}^m (T_{Mesi\_j}) + T_{Delayi} + T_{FFTi} + T_{Miti} + T_{Dispi} \\
 &= m \cdot T_{Mesi} + T_{Delayi} + T_{FFTi} + T_{Miti} + T_{Dispi}
 \end{aligned}
 \tag{1c}$$

Die Gesamtmeßzeit  $T_{MGes}$  des erfindungsgemäßen Verfahrens und  
 5 der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Gleichung (1c) ergibt sich im wesentlichen aus dem Frequenzband mit der größten Einzelmeßzeit. Diese wird wiederum vorwiegend aus dem Produkt der Datenerfassungszeit für eine einzelne Meßauswertung und der Anzahl der Mittelungen für dieses  
 10 Frequenzband bestimmt. Die weiteren additiven Terme sind dadurch verursacht, daß die entsprechenden Operationen nicht mehr parallel zur Datenannahme durchführbar sind, sondern erst sequentiell nach Fertigstellung der vorangehenden Operationen. Beispielsweise können bei m  
 15 Mittelungen (m-1) FFTs parallel zur Datenannahme durchgeführt werden, die letzte FFT aber erst, wenn die entsprechende Datenannahme für die letzte FFT bereits abgeschlossen ist. Damit ergibt sich eine deutliche Reduzierung gegenüber der Gesamtmeßzeit  $T_{MGes}$  des Verfahrens  
 20 und der Vorrichtung des Stand der Technik mit einer Gesamtmeßzeit  $T_{MGes}$ , die sich nach Gleichung (1a) oder (1b) aus der Summe der Einzelmeßzeiten  $T_{Mi}$  ergibt.

In Fig. 5 ist das aus vier überlappenden Frequenzbändern  
 25 (1) bis (4) kombinierte Frequenzspektrum dargestellt. Aufgrund der Überlappung - schraffierte Flächen in Fig. 5 - können für tieferfrequente Frequenzbänder die für die jeweils höherfrequenten Frequenzbänder bereits erfaßten Spektralwerte für die Datenauswertung herangezogen werden.  
 30 Somit reduziert sich durch Anwendung der sukzessiven Filterung, Dezimation und Fourier-Analyse im erfindungsgemäßen Verfahren und in der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals die erforderliche Meßzeit.

35

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellte Ausführungsformen beschränkt. Insbesondere ist auch ein Verfahren und eine Vorrichtung von der Erfindung abge-

deckt, bei der im Gegensatz zur obigen Darstellung die  
Messung in Richtung von tieferen Frequenzen zu hohen Fre-  
quenzen erfolgt. Auch ist von der Erfindung anstelle einer  
online-Datenauswertung eine offline-Datenauswertung der  
5 erfaßten, digital gewandelten und abgespeicherten Daten  
abgedeckt.

**Ansprüche**

1. Verfahren zur Spektrumanalyse eines Signals in  
5 mehreren Frequenzbändern mit jeweils unterschiedlicher  
Frequenzauflösung, das zumindest einen  
Datenerfassungsschritt (S10,S20) und einen nachfolgenden  
Datenauswertungsschritt (S40) je Frequenzband umfaßt,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
10 daß der Datenerfassungsschritt (S10,S20) und der  
nachfolgende Datenauswertungsschritt (S40) für jedes  
Frequenzband der Spektrumanalyse zyklisch ohne  
Unterbrechung abläuft.
- 15 2. Verfahren zur Spektrumanalyse nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das Signal ein Nutzsignal, ein Rauschsignal, ein  
Nutzsignal mit überlagertem Rauschsignal oder / und ein  
überlagerten Störsignalen, oder ein Rauschsignal mit  
20 überlagerten Nutz- oder / und Störsignalen ist.
3. Verfahren zur Spektrumanalyse nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Datenerfassungsschritt (S10,S20) eine Abtastung  
25 (S10) des Signals in einer zum jeweiligen Frequenzband  
passenden Abtastfrequenz und eine Abspeicherung (S20) der  
jeweils abgetasteten Werte des Signals in einem zum  
jeweiligen Frequenzband gehörigen Ringspeicher  
( $4_1, 4_2, 4_3, 4_4, 4_1', 4_2', 4_3', 4_4'$ ) beinhaltet.  
30
4. Verfahren zur Spektrumanalyse nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Datenauswertungsschritt (S40) ein digitales  
spektrales Schätzverfahren beinhaltet.  
35
5. Verfahren zur Spektrumanalyse nach Anspruch 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das digitale spektrale Schätzverfahren eine Fourier-  
Analyse ist.

6. Verfahren zur Spektrumanalyse nach einem der Ansprüche 3 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**
- 5 daß die Abtastung (S10) des Signals für jedes Frequenzband sukzessive über mindestens eine untergeordnete Abtastung erfolgt.
7. Verfahren zur Spektrumanalyse nach Anspruch 6,  
10 **dadurch gekennzeichnet,**  
daß die erste untergeordnete Abtastung eine Analog-Digital-Wandlung ist.
8. Verfahren zur Spektrumanalyse nach Anspruch 6 oder 7,  
15 **dadurch gekennzeichnet,**  
daß die zweite und alle folgenden untergeordneten Abtastungen jeweils aus einer Filterung und einer nachfolgenden Untabtastung bestehen.
- 20 9. Verfahren zur Spektrumanalyse nach einem der Ansprüche 4 bis 8,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die bereits in einer Fourier-Analyse berechneten Spektralwerte eines höherfrequenten Frequenzbandes für  
25 niederfrequente Frequenzbänder als temporäre Spektralwerte genutzt werden, bis in den tieferfrequenten Frequenzbändern alle Spektralwerte mittels Fourier-Analyse berechnet sind.
- 30 10. Verfahren zur Spektrumanalyse nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die einzelnen Frequenzbänder aneinander angrenzen oder sich ganz oder teilweise überlappen.
- 35 11. Verfahren zur Spektrumanalyse nach Anspruch 10,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß für mindestens ein Frequenzband im Anschluß an oder während mehrerer zyklisch durchlaufenen Datenerfassungs-

schritten (S10,S20) und Datenauswertungsschritten (S40) mindestens ein Mittelungsschritt (S50) der in den einzelnen Datenauswertungsschritten (S40) jeweils berechneten Spektralwerte erfolgt.

5

12. Verfahren zur Spektrumanalyse nach Anspruch 11,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß für die Mittelung (S50) der Spektralwerte am Rand des jeweiligen Frequenzbandes die Spektralwerte am Rand des  
10 jeweiligen Frequenzbandes und/oder Spektralwerte am Rand des jeweils angrenzenden Frequenzbandes oder Spektralwerte im Überlappungsbereich des sich mit dem jeweiligen Frequenzband überlappenden weiteren Frequenzbandes berücksichtigt werden.

15

13. Verfahren zur Spektrumanalyse nach Anspruch 11 oder 12,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß nach der Fourier-Analyse (S40) und Mittelung (50) der  
20 Spektralwerte jedes Frequenzbandes die Darstellung (S60) der Spektralwerte erfolgt.

14. Vorrichtung zur Spektrumanalyse eines Signals in mehreren Frequenzbändern mit jeweils gleicher oder unterschiedlicher Frequenzauflösung,

25

**dadurch gekennzeichnet,**

daß für jedes Frequenzband in jeweils einem Ringspeicher  $(4_1, 4_2, 4_3, 4_4, 4_1', 4_2', 4_3', 4_4')$  eine Abtastfolge des Signals zyklisch abgespeichert ist, aus der jeweils ein diskreter  
30 Fourier-Transformator  $(5_1, 5_2, 5_3, 5_4, 5_1', 5_2', 5_3', 5_4')$  die zum jeweiligen Frequenzband gehörigen Spektralwerte zyklisch berechnet.

15. Vorrichtung zur Spektrumanalyse nach Anspruch 14,

35 **dadurch gekennzeichnet,**

daß mehrere Abtast-Einheiten  $(2_1, 2_2, 2_3, 2_4; 2_2', 2_3', 2_4')$  die zum jeweiligen Frequenzband gehörige Abtastfolge mit der zum Frequenzband passenden Abtastfrequenz erzeugen.

16. Vorrichtung zur Spektrumanalyse nach Anspruch 15,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Abtast-Einheiten  $(2_1, 2_2', 2_3', 2_4')$  seriell und/oder parallel zueinander geschaltet sind.

5

17. Vorrichtung zur Spektrumanalyse nach Anspruch 15 oder 16,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die erste Abtast-Einheit  $(2_1)$  ein Analog-Digital-

10 Wandler ist.

18. Vorrichtung zur Spektrumanalyse nach einem der Ansprüche 15 bis 17,

**dadurch gekennzeichnet,**

15 daß die zweite und alle weiteren Abtast-Einheiten  $(2_2, 2_3, 2_4, 2_2', 2_3', 2_4')$  jeweils eine Dezimierungs-Einheit  $(2_2, 2_3, 2_4, 2_2', 2_3', 2_4')$  bestehend aus einem Tiefpaßfilter  $(6_2, 6_3, 6_4, 6_2', 6_3', 6_4')$  und einer nachfolgenden Unterabta-  
stungseinheit  $(7_2, 7_3, 7_4, 7_2', 7_3', 7_4')$  ist.

20

19. Vorrichtung zur Spektrumanalyse nach einem der Ansprüche 14 bis 18,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß jedem diskreten Fouriertransformator  $(5_1, 5_2, 5_3, 5_4)$

25 jeweils eine Funktionseinheit zur Leistungs- und Leistungs-  
dichte-Berechnung  $(9_1, 9_2, 9_3, 9_4)$  nachgeschaltet ist,  
welche wiederum mit einer Anzeigeeinrichtung (10)  
verbunden sind.

1/5

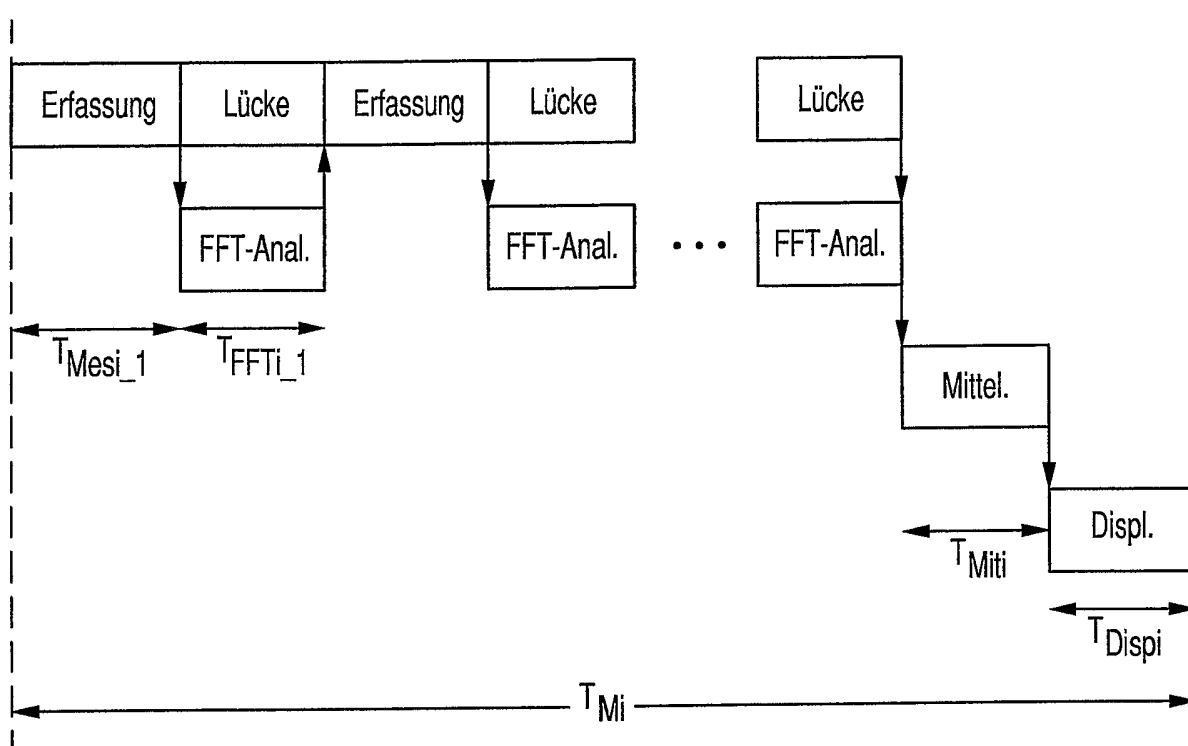


Fig. 1A (Stand der Technik)

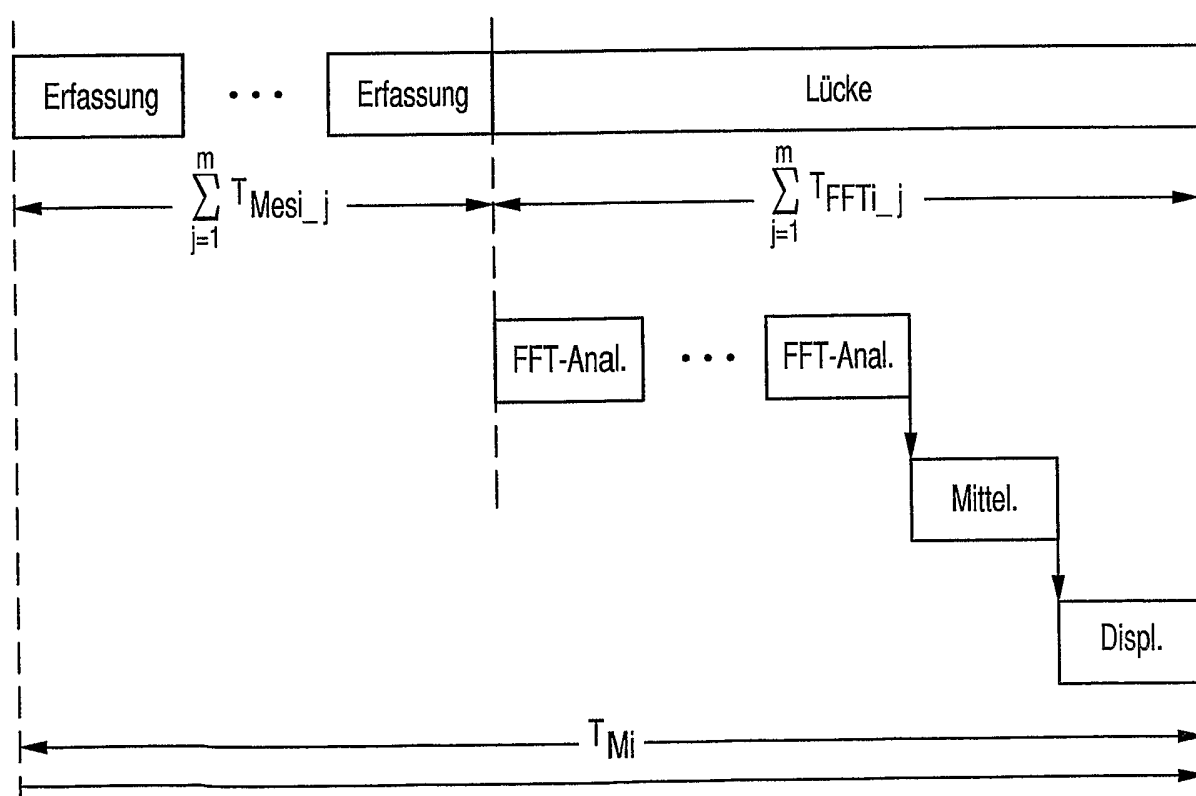


Fig. 1B (Stand der Technik)

2/5

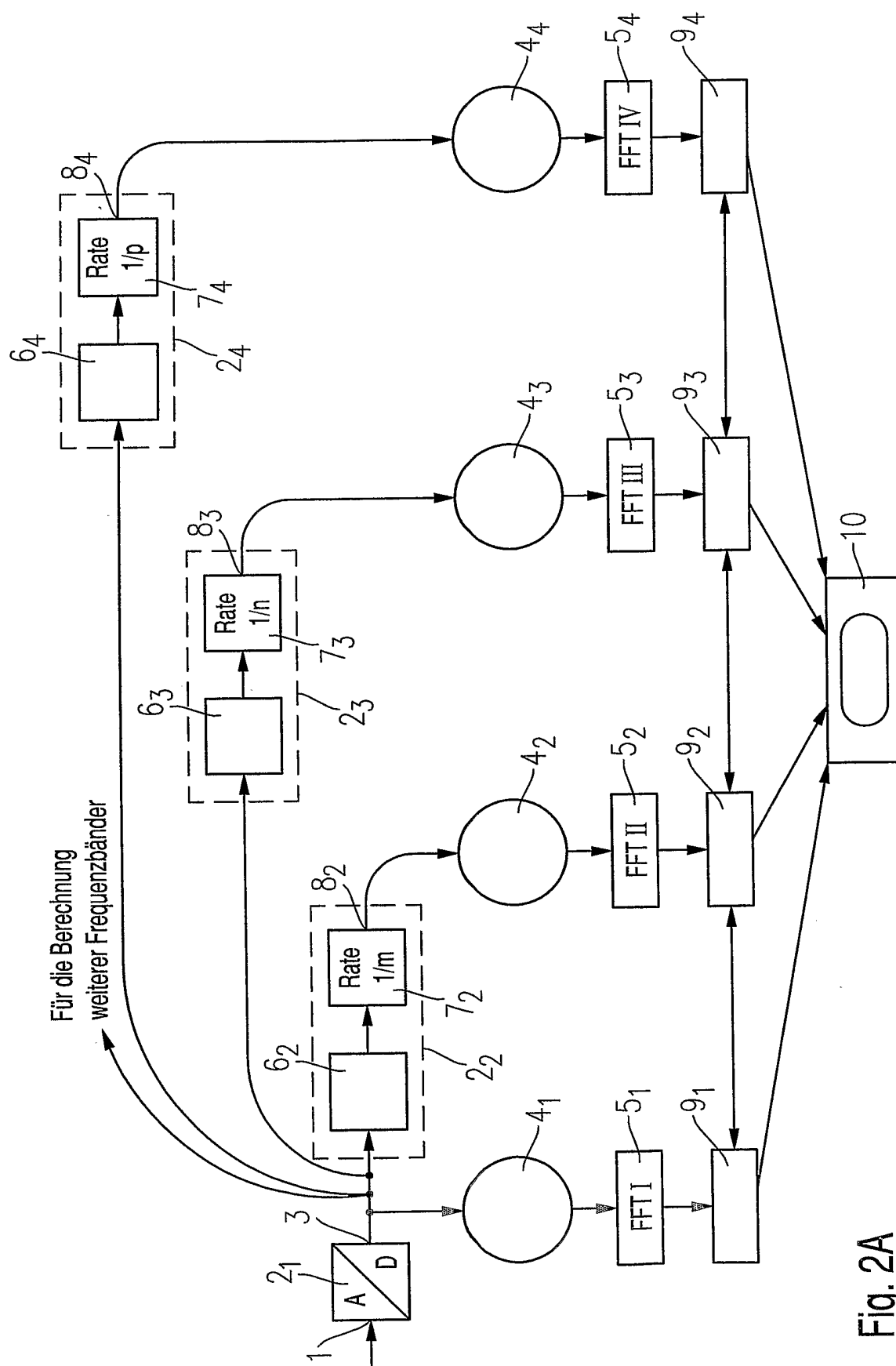


Fig. 2A

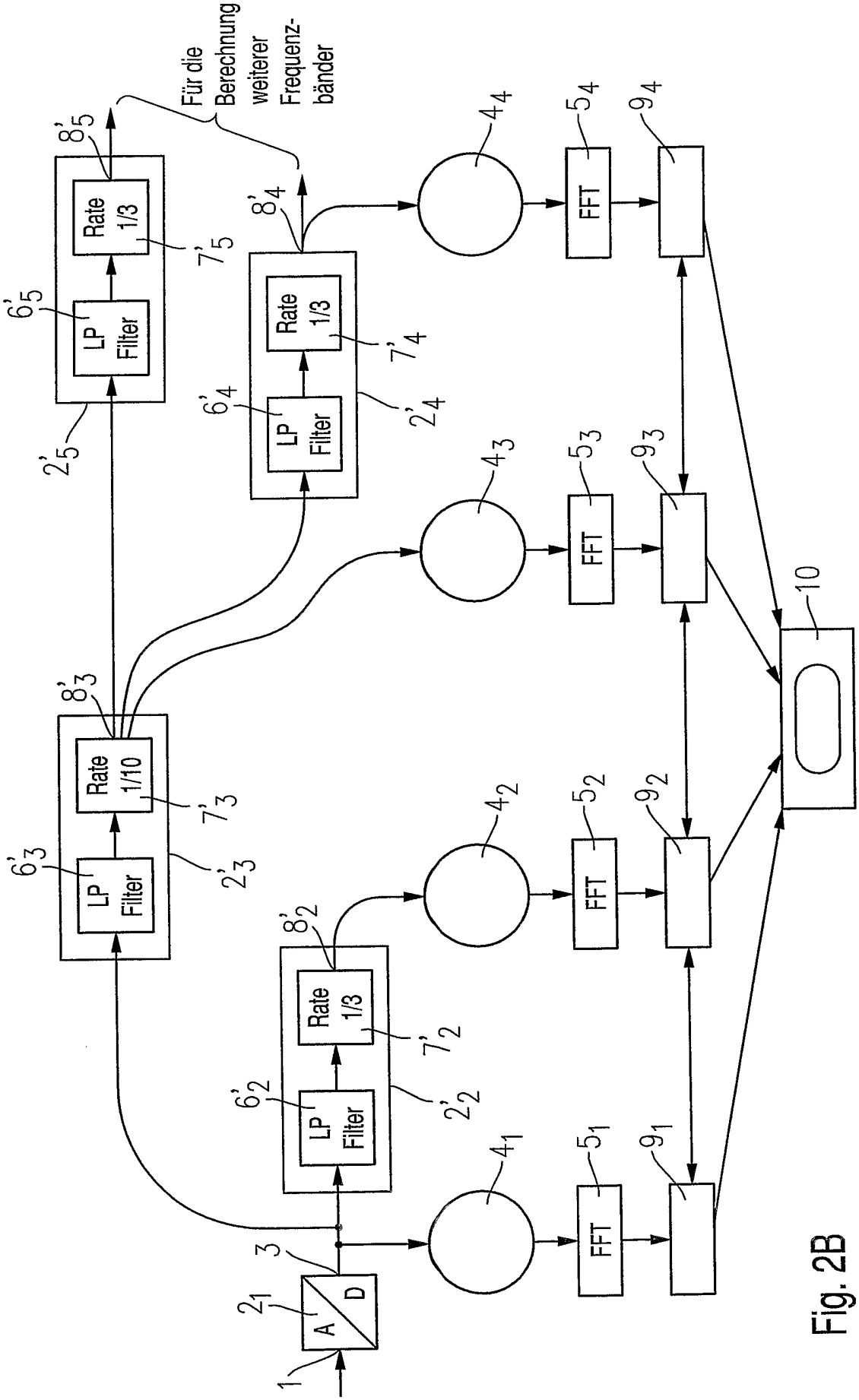


Fig. 2B

4/5

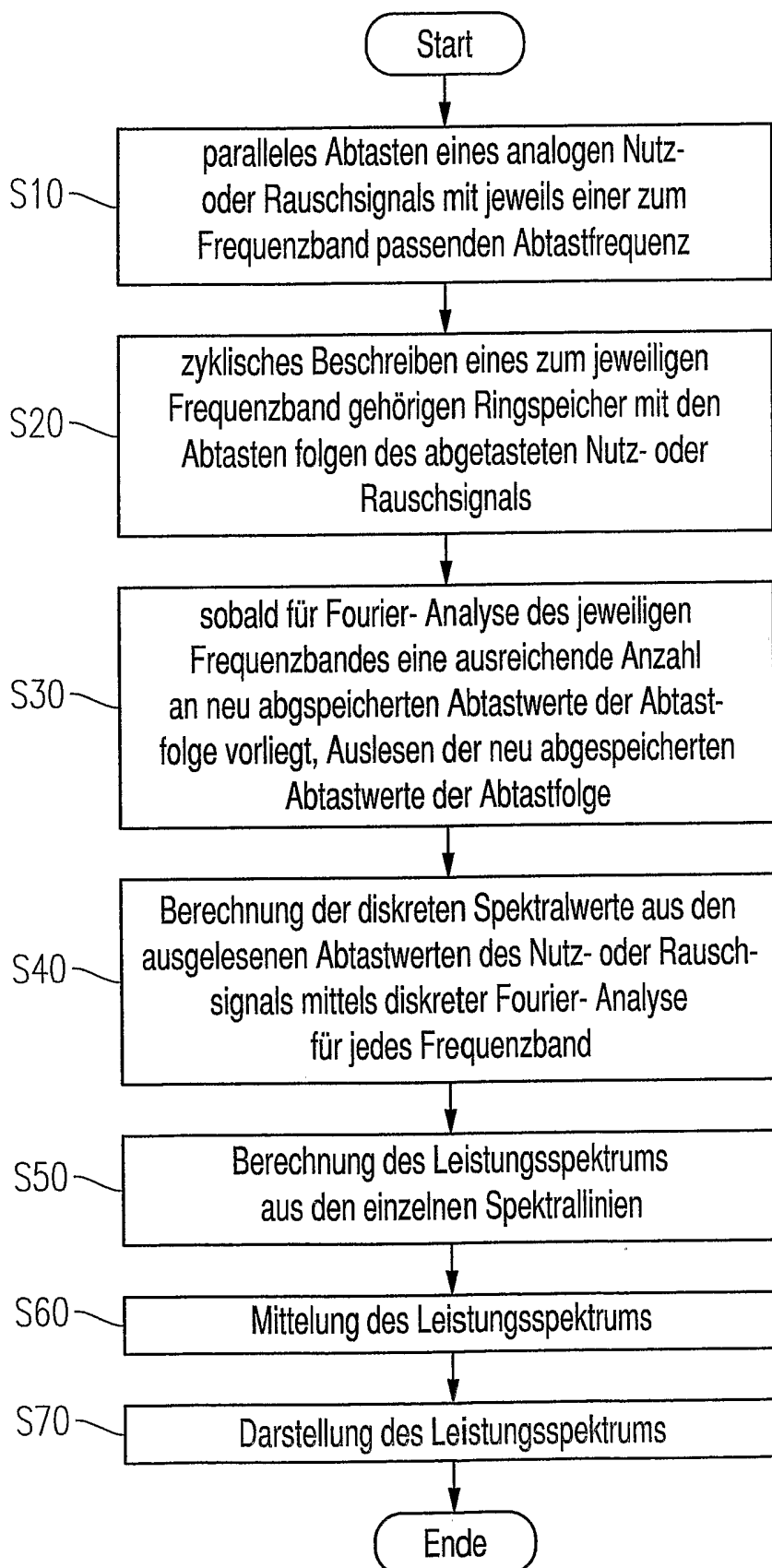


Fig. 3

5/5

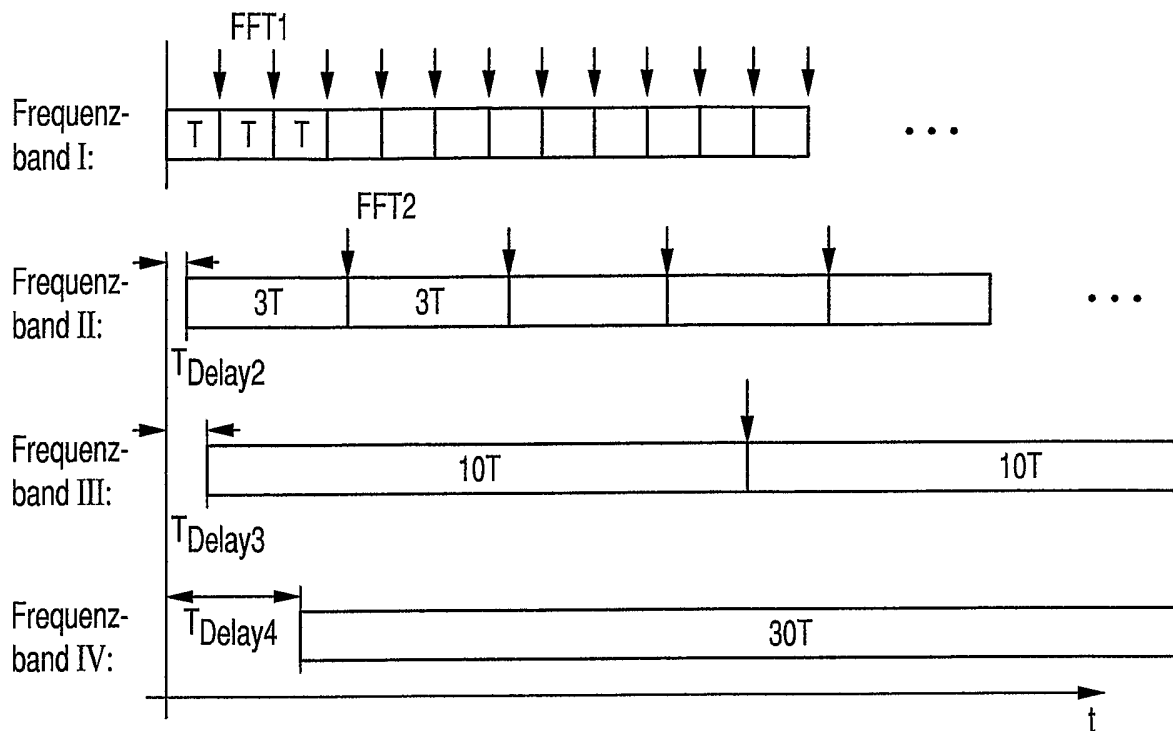


Fig. 4

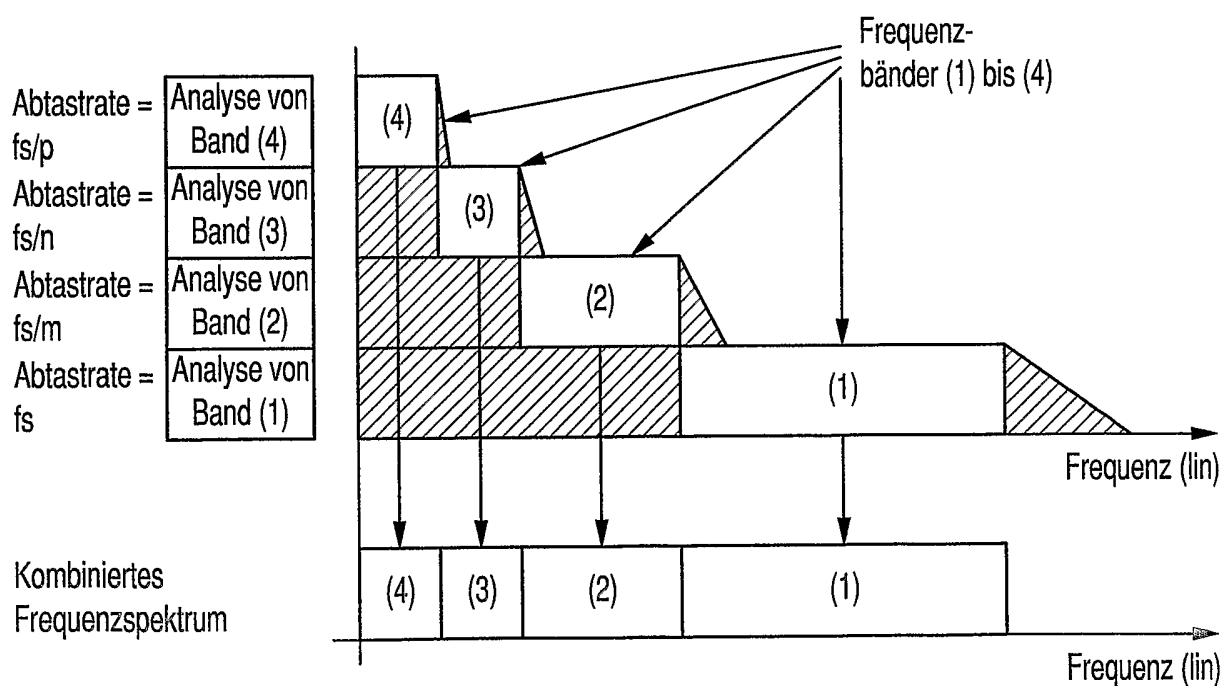


Fig. 5