



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2004 012 976 T2 2009.06.04**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 597 822 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H03F 1/32 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2004 012 976.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FI2004/000104**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **04 714 811.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/077660**

(86) PCT-Anmeldetag: **26.02.2004**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **10.09.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **23.11.2005**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **09.04.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.06.2009**

(30) Unionspriorität:

**449848 P 27.02.2003 US**

(73) Patentinhaber:

**Nokia Siemens Networks Oy, Espoo, FI**

(74) Vertreter:

**COHAUSZ & FLORACK, 40211 Düsseldorf**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,  
TR**

(72) Erfinder:

**KARJALAINEN, Miia, FIN-90630 Oulu, FI;  
SAARINEN, Samu, FIN-90630 Oulu, FI;  
HEINIKOSKI, Kauko, FIN-90650 Oulu, FI;  
TOLONEN, Teemu, FIN-90550 Oulu, FI; YLINEN,  
Juha, FIN-90650 Oulu, FI; SUONPERÄ, Jani,  
FIN-90630 Oulu, FI; LEHTINEN, Risto, F-06370  
Mouans-sartoux, FR**

(54) Bezeichnung: **DATENÜBERTRAGUNGSVERFAHREN, BASISSTATION UND SENDER**

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

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

**Beschreibung**

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen US-Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 60/449,848 mit dem Titel „Data Transmission Method, Base Station and Transmitter“ („Datenübertragungsverfahren, Basisstation und Sender“), die am 27. Februar 2003 eingereicht wurde.

## ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

## Gebiet der Erfindung

**[0002]** Die Erfindung betrifft ein Datenübertragungsverfahren, eine Basisstation und einen Sender in einem Telekommunikationssystem.

## Beschreibung des Standes der Technik

**[0003]** Leistungsverstärker sind bei drahtlosen Telekommunikationssystemen erforderlich, um Signale zu verstärken, bevor das Signal übertragen wird, weil ein Funksignal sich auf dem Funkweg abschwächt. Leider neigen leistungsstarke Hochfrequenzverstärker dazu, nichtlineare Vorrichtungen zu sein und verursachen daher in vielen Fällen Verzerrungen. Diese Verzerrung wird zum Beispiel als Intersymbolstörung oder Außerbandleistung bei benachbarten Frequenzbändern ausgedrückt. Das ACLR (Adjacent Carrier Leakage Ratio – Verhältnis von Nachbarkanalleistung zu Nutzkanalleistung) misst die übertragene Außerbandleistung und daher muss es innerhalb bestimmter Grenzen bleiben.

**[0004]** Gemäß dem Stand der Technik gibt es mehrere verschiedene Verfahren, um die Nichtlinearität von Leistungsverstärkern zu kompensieren. Die Kompensation von Nichtlinearitäten von Leistungsverstärkern lässt sich in drei Hauptkategorien einteilen: Rückkopplung (feedback), Vorwärtskopplung (feedforward) und Vorverzerrung (predistortion). Vorverzerrung wird häufig Vorkompensierung (preemphasizing) genannt.

**[0005]** Die Rückkopplungstechnik wird insbesondere bei Tonverstärkern verwendet. Die Rückkopplungssteuerung bei Funkfrequenzen wird jedoch aufgrund der Durchführung einer Rückkopplungsschaltung in Echtzeit schwierig. Ein linearisierter Mehrband-Leistungsverstärker wurde ebenfalls vorgeschlagen. Er verwendet die kartesische Rückkopplung. Diese Technik ist aufgrund ihres recht schmalen Frequenzbandes nicht anwendbar bei Breitbandsendern.

**[0006]** Bei der Linearisierung von Breitbandanwendungen, wie zum Beispiel WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), wird die Vorwärtskopplung beim Stand der Technik am meisten verwendet. Bei einem Verstärker mit Vorwärtskopplung wird das Ver-

zerrungs- oder Fehlersignal, das in dem Verstärker erzeugt wird, durch das Vergleichen der Eingangs- und Ausgangssignale erfasst. Die erfassten Fehlersignale werden in einen linearen Subverstärker geleitet, um sie bis auf den gleichen Pegel wie den des Leistungsverstärkers zu verstärken. Das verstärkte Fehlersignal wird dann von dem Ausgang des Leistungsverstärkers subtrahiert. Das Problem besteht darin, dass die Linearität des Subverstärkers hoch sein muss, und dies kann den Gesamtwirkungsgrad verringern.

**[0007]** Bei einem Vorverzerrer-Verstärker fügt ein Vorverzerrer einem Eingangssignal vorab ein Vorverzerrungssignal hinzu, um die in Verstärkern erzeugte Verzerrung aufzuheben. Das Problem besteht darin, dass die Kompensationsleistung sich verschlechtert, wenn die Verstärkerparameter von den geplanten Werten abweichen.

**[0008]** Es gibt Lösung nach dem Stand der Technik, um einen Vorverzerrer-Verstärker anzupassen, wie zum Beispiel WO 01/08294. Das Problem bei den Lösungen nach dem Stand der Technik liegt jedoch darin, dass die Linearisierung von verzerrten Signalen unzureichend ist. Vorverzerrungsparameter werden üblicherweise in einer Nachschlagtabelle gespeichert, aber bei dieser Methode wird leicht die Speichergröße erweitert und ein Quantisierungsgeräusch erzeugt, weil Parameterwerte sich üblicherweise durch vorgegebene Schritte voneinander unterscheiden.

## KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0009]** Eine Zielsetzung der Erfindung besteht darin, eine verbesserte Methode zu liefern, um die Verzerrung zu kompensieren, die durch nichtlineare Vorrichtungen in der Übertragungskette, wie zum Beispiel Leistungsverstärker, verursacht wird.

**[0010]** Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist ein Datenübertragungsverfahren zum Kompensieren von Nichtlinearitäten einer Übertragungskette vorgesehen, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: erstes Bilden von mindestens einem Parametervektor zur Kompensation im Zeitbereich; zweites Bilden von mindestens einem Parametervektor zur Kompensation im Frequenzbereich; drittes Bilden von mindestens einem Parametervektor zur Kompensation im Quadraturmodulator; Bestimmen von mindestens einer Gruppe von Signaleigenschaften, die die Nichtlinearitäten in einer Übertragungskette formen; viertes Bilden, aufgrund der mindestens einen Gruppe von Signaleigenschaften, von mindestens einem Zustandsexpansionsvektor, der Mengen umfasst, die ein Signal kennzeichnen; das Verändern der Signal kennzeichnenden Mengen von mindestens einem Zustandsexpansionsvektor mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im

Zeitbereich, mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im Frequenzbereich und mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im Quadraturmodulator, um ein vorverzerrtes Signal zu bilden; fünftes Bilden eines Rückkopplungssignals aus einem Ausgangssignal einer Übertragungskette; erstes Anpassen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich anhand eines Restfehlers zwischen einem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal; zweites Anpassen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich anhand des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal; und drittes Anpassen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator anhand des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal.

[0011] Die Erfindung betrifft ebenfalls einen Sender zum Kompensieren von Nichtlinearitäten einer Übertragungskette, wobei der Sender Folgendes umfasst: erste Bildungsmittel zum Bilden mindestens eines Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich; zweite Bildungsmittel zum Bilden mindestens eines Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich; dritte Bildungsmittel zum Bilden mindestens eines Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator; Bestimmungsmittel zum Bestimmen mindestens einer Gruppe von Signaleigenschaften, die Nichtlinearitäten in einer Übertragungskette formen; vierte Bildungsmittel zum Bilden, aufgrund der mindestens einen Gruppe von Signaleigenschaften, von mindestens einem Zustandsexpansionsvektor, der Mengen umfasst, die ein Signal kennzeichnen; Veränderungsmittel zum Verändern der Signal kennzeichnenden Mengen von mindestens einem Zustandsexpansionsvektor mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im Zeitbereich, mit dem mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich und mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im Quadraturmodulator, um ein vorverzerrtes Signal zu bilden; fünfte Bildungsmittel zum Bilden eines Rückkopplungssignals aus einem Ausgangssignal einer Übertragungskette; erste Anpassungsmittel zum Anpassen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich aufgrund eines Restfehlers zwischen einem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal; zweite Anpassungsmittel zum Anpassen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal; und dritte Anpassungsmittel zum Anpassen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal.

[0012] Ferner wird die Linearisierung durch eine

weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung weiter verbessert, da die Verzerrung im Frequenzbereich, die üblicherweise bei analogen Schaltungen auftritt, ebenfalls kompensiert wird.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0013] Im Folgenden soll die Erfindung ausführlicher beschrieben werden mit Bezug auf die bevorzugten Ausführungsformen und die beigefügten Zeichnungen, bei denen:

[0014] [Fig. 1](#) ein vereinfachtes Beispiel eines Telekommunikationssystems gemäß einer Ausführungsform der Erfindung darstellt;

[0015] [Fig. 2](#) ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Kompensieren von Nichtlinearitäten einer Übertragungskette gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist;

[0016] [Fig. 3A–B](#) ein weiteres Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Kompensieren von Nichtlinearitäten einer Übertragungskette gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist;

[0017] [Fig. 4](#) ein Blockdiagramm eines Teils eines Senders gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist; und

[0018] [Fig. 5](#) ein Beispiel für einen Transceiver einer Basisstation gemäß einer Ausführungsform der Erfindung zeigt.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0019] Es wird Bezug genommen auf [Fig. 1](#), auf der ein Beispiel eines Datenübertragungssystems gezeigt wird, bei dem die bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung angewendet werden können. In [Fig. 1](#) wird die Ausführungsform in einem vereinfachten Funksystem beschrieben, das zum Beispiel ein CDMA-System (Code Division Multiple Access – Codemultiplex-Vielfachzugriff) darstellt. Die Code Division Multiple Access-Technik wird heutzutage zum Beispiel in Funksystemen verwendet, die mindestens durch die Namen IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) und UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) bekannt sind. Die Ausführungsformen sind jedoch nicht auf diese Systeme, die als Beispiele angeführt sind, beschränkt, sondern ein Fachmann kann die Lösung auf andere Funksysteme, die mit den erforderlichen Eigenschaften versehen sind, anwenden.

[0020] [Fig. 1](#) ist ein vereinfachtes Blockdiagramm, das die wichtigsten Netzwerkelemente des Funksystems und die Schnittstellen zwischen ihnen beschreibt. Die Struktur und Funktion der Netzwerkele-

mente werden nicht ausführlich beschrieben, da sie allgemein bekannt sind.

**[0021]** Die Hauptteile des Funksystems sind ein Kernnetz (CN – core network) **100**, ein Funkzugangszugangnetz **130** und Teilnehmergeräte (UE – user equipment) **170**. Der Begriff UTRAN ist eine Abkürzung von UMTS Terrestrial Radio Access Network, d. h. das Funkzugangszugangnetz gehört zu der dritten Generation und wird durch WCDMA (wideband code division multiple access) realisiert. Allgemein lässt sich das Funksystem auch wie folgt definieren: Das Funksystem besteht aus einem Benutzerendgerät, das auch Teilnehmerendgerät oder Mobilstation genannt wird, und aus einem Netzwerkteil, das die feste Infrastruktur des Funksystems umfasst, d. h. ein Kernnetz, ein Funkzugangszugangnetz und ein Basisstationssystem.

**[0022]** Eine Funkvermittlungsstelle (MSC – mobile service switching center) **102** ist das Zentrum der leitungsvermittelten Seite des Kernnetzes **100**. Die Funkvermittlungsstelle **102** wird verwendet, um als Verbindungen des Funkzugangszugangnetzes **130** zu dienen. Die Aufgaben der Funkvermittlungsstelle **102** umfassen üblicherweise die Vermittlung, den Funkruf, die Standorterfassung der Benutzerendgeräte, die Steuerung des Handovers, die Sammlung der Teilnehmergebühreninformationen, die Verwaltung der Parameter zur Datenverschlüsselung, die Verwaltung der Frequenzzuweisung und die Echokompensierung.

**[0023]** Die Anzahl der Funkvermittlungsstellen **102** kann schwanken. Ein Betreiber eines kleinen Netzwerks kann zum Beispiel nur eine Funkvermittlungsstelle **102** aufweisen, während große Kernnetze **100** mehrere aufweisen können. [Fig. 1](#) zeigt eine weitere Funkvermittlungsstelle **106**, aber ihre Verbindungen mit anderen Netzwerkelementen sind nicht veranschaulicht, damit [Fig. 1](#) ausreichend deutlich bleibt.

**[0024]** Große Kernnetze **100** können eine getrennte Netzübergangs-Funkvermittlungsstelle (GMSC – Gateway mobile service switching center) **110** aufweisen, die für leitungsvermittelte Verbindungen zwischen dem Kernnetz **100** und externen Netzen **180** verantwortlich ist. Die Netzübergangs-Funkvermittlungsstelle **110** befindet sich zwischen den Funkvermittlungsstellen **102**, **106** und den externen Netzen **180**. Das externe Netz **180** kann zum Beispiel ein öffentliches landgestütztes Mobilfunknetz PLMN oder ein öffentliches leitungsvermitteltes Telefonnetz PSTN sein.

**[0025]** Das Kernnetz **100** weist üblicherweise auch noch andere Teile auf, wie zum Beispiel ein Heimatregister (HLR – home location register), das ein permanentes Teilnehmerregister aufweist, falls das Funksystem GPRS unterstützt, eine Paketdatenprotokoll(PDP – packet data protocol)-Adresse und ein

Besucherregister (VLR – visitor location register), das Informationen über das Roaming der Benutzerendgeräte **170** im Bereich der Funkvermittlungsstelle **102** aufweist. Nicht alle Teile des Kernnetzes sind in [Fig. 1](#) dargestellt, damit es deutlich bleibt.

**[0026]** Ein Serving GPRS Support Node (SGSN) **118** ist das Zentrum der paketvermittelten Seite des Kernnetzes **100**. Eine der Hauptaufgaben des Serving GPRS Support Nodes **118** besteht darin, Pakete mit der das Benutzerendgerät **170** unterstützenden paketvermittelten Übertragung durch Verwendung des Funkzugangszugangnetzes **130** zu senden und zu empfangen. Der Serving GPRS Support Node **118** weist Benutzerinformationen und Standortinformationen über das Benutzerendgerät **170** auf.

**[0027]** Ein Gateway GPRS Support Node (GGSN) **120** auf der paketvermittelten Seite entspricht der Netzübergangs-Funkvermittlungsstelle **110** der leitungsvermittelten Seite, mit der Ausnahme, dass der Gateway GPRS Support Node **120** in der Lage sein muss, den abgehenden Verkehr von dem Kernnetz **100** zu externen Netzen **182** zu leiten, während die Netzübergangs-Funkvermittlungsstelle **110** nur den ankommenden Verkehr leitet. Bei dem Beispiel sind die externen Netze **182** durch das Internet dargestellt, über welches ein beträchtlicher Teil des drahtlosen Telefonverkehrs in Zukunft übertragen werden kann.

**[0028]** Das Funkzugangszugangnetz **130** besteht aus Funknetzsubsystemen **140**, **150**. Jedes Funknetzsubsystem **140**, **150** besteht aus Radio Network Controllern (RNC) **146**, **156** und Nodes B **142**, **144**, **152**, **154**. Der Begriff „Node B“ steht für eine „Basisstation“.

**[0029]** Der Radio Network Controller **146**, **156** ist üblicherweise zum Beispiel für folgende Aufgaben zuständig: Verwaltung der Funkressourcen der Basisstation oder Node B **142**, **144**, **152**, **154**, interzelluläres Handover, Messung von Zeitverzögerungen auf der Aufwärtsstrecke, Realisierung der Betriebs- und Management-Schnittstelle, und Verwaltung der Leistungsregelung.

**[0030]** Der Radio Network Controller **146**, **156** weist mindestens einen Transceiver auf. Ein Radio Network Controller **146**, **156** kann eine Zelle oder mehrere segmentierte Zellen versorgen. Der Zellendurchmesser kann von einigen Metern bis zu vielen Kilometern schwanken. Es wird häufig angenommen, dass der Radio Network Controller **146**, **156** auch einen Transcoder aufweist, um die Umwandlung zwischen dem Sprachkodierungsformat, das im Funksystem verwendet wird, und dem Sprachkodierungsformat, das bei dem öffentlichen leitungsvermittelten Telefonsystem verwendet wird, durchzuführen. In der Praxis befindet sich der Transcoder jedoch üblicher-

weise in der Funkvermittlungsstelle **102**. Der Radio Network Controller **146**, **156** ist üblicherweise zum Beispiel für folgende Aufgaben zuständig: Messungen auf der Aufwärtsstrecke, Kanalkodierung, Verschlüsselung und Verwürfelungskodierung.

**[0031]** Das Benutzerendgerät **170** besteht aus zwei Teilen: der mobilen Einheit (ME – mobile equipment) **172** und einem UMTS-Teilnehmer-Identifizierungsmodul (USIM – UMTS subscriber identity module) **174**. Das Benutzerendgerät **170** weist mindestens einen Transceiver zum Herstellen einer Funkverbindung mit dem Funkzugangsnetz **130** auf. Das Benutzerendgerät **170** kann mindestens zwei verschiedene Teilnehmer-Identifizierungsmodule aufweisen. Außerdem weist das Teilnehmerendgerät **170** eine Antenne, eine Benutzerschnittstelle und eine Batterie auf. Heutzutage stehen verschiedene Arten von Benutzerendgeräten **170** zur Verfügung, zum Beispiel Endgeräte, die in einem Auto installiert sind, und tragbare Endgeräte. Die Benutzerendgeräte **170** weisen auch Eigenschaften auf, die denen eines Personal Computers oder eines tragbaren Rechners ähneln.

**[0032]** USIM **174** enthält Informationen über den Benutzer und insbesondere Informationen über Datensicherheit, zum Beispiel einen Verschlüsselungsalgorithmus.

**[0033]** Es ist für einen Fachmann offensichtlich, dass die Schnittstellen, die in dem Funktelekommunikationssystem enthalten sind, durch die Hardwareimplementierung und den verwendeten Standard bestimmt werden, wodurch die Schnittstellen des Systems sich von den in [Fig. 1](#) gezeigten unterscheiden können. Bei UMTS sind die wichtigsten Schnittstellen die Iu-Schnittstelle zwischen dem Kernnetz und dem Funkzugangsnetz, die in die IuCs(CS = leitungsvermittelt)-Schnittstelle der leitungsvermittelten Seite und der IuPs(PS = paketvermittelt)-Schnittstelle der paketvermittelten Seite unterteilt ist, und die Uu-Schnittstelle zwischen dem Funkzugangsnetz und dem Benutzerendgerät. Die Schnittstelle legt fest, welche Art von Nachrichten verschiedene Netzelemente verwenden können, um miteinander zu kommunizieren. Das Ziel der Standardisierung von Schnittstellen besteht darin, den Betrieb zwischen Netzelementen verschiedener Hersteller zu ermöglichen. In der Praxis sind jedoch einige der Schnittstellen herstellerspezifisch.

**[0034]** [Fig. 2](#) zeigt ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform eines Verfahrens, um eine digitale Vorverzerrung oder Preemphasis gemäß der Erfindung durchzuführen. Ein Ziel des Verfahrens besteht darin, die Nichtlinearitäten einer Übertragungskette zu kompensieren. Kurz beschrieben erfolgt die Linearisierung üblicherweise durch das Hinzufügen eines Vorverzerrungssignals zu einem modulierten Basisbandsignal, wodurch eine Breitbandverzerrung am

Ausgang der nichtlinearen Vorrichtung kompensiert wird. Das Verfahren ist besonders geeignet, um Nichtlinearitäten von Signalen, die durch Leistungsverstärker in Sendern verursacht werden, zu kompensieren.

**[0035]** Ein Leistungsverstärker weist drei Hauptanforderungen auf: hohe Ausgangsleistung, hoher Wirkungsgrad und geringe Verzerrung. Die Planung eines Leistungsverstärkers ist üblicherweise ein Kompromiss zwischen diesen Anforderungen. Ein nichtlinearer Hochleistungsverstärker verzerrt sowohl die Amplitude als auch die Phase eines Signals. Nichtlinearität verursacht ebenfalls Intermodulationsverzerrungen und Spectral Regrowth (Spektrumsaufweitung durch Intermodulation). Diese verursachen Nachbarkanalstörungen, aufgrund derer sich die Netzleistung verschlechtert. Eine Übertragungskette, die einen Leistungsverstärker aufweist, bezieht auch nichtlineare Frequenzübertragungsfunktionen ein. Andererseits weist ein linearer Verstärker eine niedrige Leistung auf, die zu geringerer Zuverlässigkeit, erhöhten Kosten und einer Steigerung bei der Wärmeerzeugung führt.

**[0036]** Linearisierung ist üblicherweise erforderlich, um die Nachbarkanalleistung (ACP – adjacent channel leakage power) auf einem vorgegebenen Pegel, der von einer Systemspezifikation festgelegt wird, zu halten. Das Verfahren wird insbesondere angewandt, wenn hohe Übertragungsleistungen benötigt werden.

**[0037]** Es sollte beachtet werden, dass Signalwerte bei dem Verfahren vorzugsweise in einem Polarkoordinatensystem dargestellt werden, weil es üblicherweise genauere Ergebnisse liefert. Es ermöglicht ebenfalls, dass die Erfindung Signale im tatsächlichen Format statt komplexe Werte verarbeiten kann.

**[0038]** Das Verfahren beginnt in Block **200**. In Block **202** wird mindestens ein Parametervektor zur Kompensation im Zeitbereich gebildet. Ein Parametervektor kann ein oder mehrere Untervektoren aufweisen, von denen jeder mit einer spezifischen Signalkennlinie verbunden ist, die mit der Nichtlinearität eines Leistungsverstärkers in Beziehung steht.

**[0039]** Ein Parametervektor (Funktion) bestimmt durch die Angabe seiner Koeffizienten ein Polynom, eine Spline oder eine andere Funktion. Bei dieser Anwendung bedeutet Vektor auch einen matrixartigen Vektor. Eine Spline lässt sich als eine Funktion kennzeichnen, die auf jedem Subintervall einer vorgegebenen Gruppe in ihrem Bereich ein Polynom ist. Eine Spline ist an den Rändern der Subintervalle ebenfalls glatt. Ein Parametervektor zur Kompensation im Zeitbereich wird für Vorverzerrung im Zeitbereich verwendet.

**[0040]** Durch Funktionen (oder Vektoren) lassen

sich die komplizierten Auswirkungen, die durch Nichtlinearität verursacht werden, üblicherweise besser darstellen als durch Verwendung einzelner Werte, hauptsächlich, weil die Größe eines Speichers (nach dem Stand der Technik werden Nachschlagtabellen verwendet) aus Gründen der Anwendbarkeit begrenzt sein muss. Üblicherweise sind mehrere Vektoren erforderlich, weil die Verwendung verschiedener Vektoren ein genaueres Ergebnis liefert. Die Anzahl der ausgewählten Vektoren sowie die Vektoren selbst hängen von den besonderen Funkbedingungen des Systems und natürlich von der gewünschten Genauigkeit der Kompensation ab. Folgende vier Funktionen werden üblicherweise verwendet: gedächtnislose, dynamische, gewichtete dynamische integrale und dynamische Vorverzerrungsfunktion mit Wechselwirkung. Der Unterschied zwischen diesen Funktionen lässt sich wie folgt erklären. Die gedächtnislose Vorverzerrungsfunktion verwendet abgetastete Amplitudenwerte. Die dynamische Vorverzerrungsfunktion verwendet auch vorherige Amplitudenwerte und kann daher die Richtung zukünftiger Veränderungen besser vorhersagen. Die Integralvorverzerrungsfunktion verwendet eine längere Prüfdauer als die dynamische Vorverzerrungsfunktion. Durch das Verwenden einer längeren Prüfdauer können Veränderungen aufgrund von Temperaturschwankungen bei einem Verhalten einer nichtlinearen Vorrichtung aufgespürt werden. Die dynamische Vorverzerrungsfunktion mit Wechselwirkung verwendet gedächtnislose, dynamische und integrale Funktionen. Üblicherweise multipliziert sie Werte, die durch diese Funktionen festgelegt sind. Anders gesagt wird die Wechselwirkungsfunktion durch das Verknüpfen der Ausgaben anderer Blöcke auf geeignete Art und Weise gebildet.

**[0041]** In Block **204** wird mindestens ein Parametervektor (oder Funktion) im Frequenzbereich gebildet. Theoretisch können Beeinträchtigungen, die durch Nichtlinearität verursacht werden, beseitigt werden, indem das Gegenteil der Übertragungsfunktion von Nichtlinearitäten auf das Übertragungssignal angelegt wird. In der Praxis treten jedoch immer zusätzlich zu Fehlern im Zeitbereich Fehler im Frequenzbereich auf, und daher ist auch eine Vorverzerrung im Frequenzbereich erforderlich. Der Parametervektor zur Frequenzkompensation wird vorzugsweise dadurch gebildet, dass die Sende- und Rückkopplungssignale analysiert werden und das Rückfiltern aufgrund der Ergebnisse angepasst wird.

**[0042]** In Block **206** wird mindestens ein Parametervektor zur Kompensation im Quadraturmodulator gebildet. Bei der AQM-(Analog Quadrature Modulator – Analog Quadraturmodulator) und auch bei der AQ-DeMod-(Analog Quadrature DeModulator – Analog Quadraturdemodulator) Kompensation werden tatsächliche und imaginäre Teile des Komplexsignals angepasst, um den Fehler, der durch Quadraturmo-

dulation oder Quadraturdemodulation verursacht wird, auf ein Mindestmaß zu beschränken. Diese Kompensation erfolgt üblicherweise dadurch, dass vorgegebenen Mustern eines I-(in-phase – gleichphasig) und Q-(Quadratur)modulierten Signals ein Korrekturterm hinzugefügt wird. Dieser Korrekturterm wird üblicherweise von den aktuellen I- und Q-Mustern abgeleitet, indem auch Verlaufsdaten verwendet werden. Die Korrekturterme werden üblicherweise aus einer vorgegebenen Funktion, deren Argumente aktuelle und vergangene I- und Q-Muster (AQM-Zustandsexpandervektoren) sind, und aus vorher festgelegten AQM-Kompensationsparametern berechnet. Bei einer typischen Realisierung hängt die Funktion der aktuellen und vergangenen I- und Q-Muster und vorher festgelegten AQM-Kompensationsparameter linear von den Vorverzerrkoeffizienten und den Elementen der AQM-Zustandsexpandervektoren ab. Es gibt viele andere Möglichkeiten für die Berechnung der Korrekturterme. Es ist zum Beispiel möglich, eine komplexere Struktur zu verwenden, bei der der Korrekturterm nicht linear, sondern auf kompliziertere Art und Weise von den Parametern abhängt.

**[0043]** Der AQM-Zustandsexpandervektor weist als Komponenten verschiedene Funktionen von I und Q und deren vorherige Werte auf. Typische AQM-Zustandsexpanderverteiler sind Erzeugnisse mit niedriger I- und Q-Leistung und ihre vorherigen Werte sowie einige hinzugefügte Funktionen vorheriger Werte, wie zum Beispiel das Integral der Amplitude des Quadrats der Signalabtastwerte über eine bestimmte Zeit. Es ist möglich, dass sowohl die gleichphasige Komponente als auch die Quadraturkomponente einen eigenen AQM-Zustandsexpandervektor aufweisen. Üblicherweise ist eine Komponente des AQM-Zustandsexpanders konstant. Dieser Term wird für die Kompensation des DC-Offset (DC = direct current – Gleichstrom) verwendet.

**[0044]** Die AQM-Kompensationsparameter lassen sich herausfinden, indem ein Algorithmus verwendet wird, der ein vorgegebenes Optimierungskriterium, das auf dem Rückkopplungs- und dem Ursprungssignal basiert, maximiert. Das Optimierungskriterium besteht üblicherweise darin, dass das Minimum der mittleren quadratischen Abweichung zwischen dem Ursprungs- und einem oder mehreren Rückkopplungssignalen maximiert wird. Wird ein lineares Modell verwendet, können LMS-(least means square) oder RLS-(recursive least squares) Algorithmen nach dem Stand der Technik bei der Anpassung verwendet werden. Bei der AQM-Anpassung kann ein geringer Frequenzversatz der Rückkopplungskette hinzugefügt werden, um lineare Fehler zwischen dem Modulator und dem Demodulator auszusondern.

**[0045]** Es ist ebenfalls möglich, die AQDeMod(Analog Quadrature De-Modulator)-Kompensation durch-

zuführen. Grundsätzlich können AQDeMod und AQM durch Verwendung desselben Verfahrens kompensiert werden, aber die Kompensation wird üblicherweise in verschiedenen Anpassungsrunden durchgeführt: zunächst die AQM-Kompensation und dann die AQDeMod unter Verwendung des Restfehlers. Bei der AQDeMod-Anpassung kann ein geringer Frequenzversatz der Rückkopplungskette hinzugefügt werden, um lineare Fehler zwischen dem Modulator und dem Demodulator auszusondern.

**[0046]** Bei einer Ausführungsform des Verfahrens wird die AQM(Analog Quadrature Modulator – analoger Quadraturmodulator)- und die AQDeMod(Analog Quadrature Demodulator – Analoger Quadraturdemodulator)-Kompensation nicht durchgeführt.

**[0047]** In Block **208** wird mindestens eine Gruppe von Signaleigenschaften, die die Nichtlinearitäten in einer Übertragungskette formen, festgelegt. Üblicherweise weisen einige der Eigenschaften des in der Erfindung verwendeten Signals die Amplitude, Phase oder Frequenz auf. In vielen Fällen ist eine Gruppe von Signaleigenschaften genug, aber manchmal können mehrere Gruppen erforderlich sein, um ein genaueres Ergebnis zu liefern. Die Nichtlinearitäten der Übertragungskette werden geformt, um die Parameter zum Bilden eines Zustandsexpansionsvektors in Block **210** festzulegen.

**[0048]** In Block **210** wird mindestens ein Zustandsexpansionsvektor gebildet, basierend auf mindestens einer Gruppe von Signaleigenschaften. Ein Zustandsexpansionsvektor besteht aus Mengen, die Nichtlinearitäten in Abhängigkeit von ausgewählten Signaleigenschaften kennzeichnen. Ein Zustandsexpansionsvektor kann zum Beispiel aus einer vorgegebenen Anzahl verschiedener Stärken von Amplitudenwerten bestehen, die in einem Vektor angeordnet sind. Ein weiteres Beispiel ist, dass ein Zustandsexpansionsvektor aus einer vorgegebenen Anzahl von Leistungen der Zeitableitung der Amplitude besteht. Ein weiteres Beispiel ist, dass ein Zustandsexpansionsvektor aus Amplitudenwerten gebildet ist, die auf verschiedene Arten verarbeitet werden: durch Differenzieren, Integrieren, usw. Es ist auch möglich, Amplitudenwerte, die auf verschiedene Arten verarbeitet wurden, zu verknüpfen. Daher kann ein Zustandsexpansionsvektor aus einem oder mehreren Amplitudenwerten bestehen, einem oder mehreren abgeleiteten Amplitudenwerten, einem oder mehreren integrierten Amplitudenwerten und/oder verknüpften Werten, die Cross-Terme genannt werden können.

**[0049]** Die Anzahl der erforderlichen Arten von Termen bei den Zustandsexpansionsvektoren schwankt: Manchmal kann ein gutes Ergebnis erzielt werden, indem nur eine Art von Term (zum Beispiel Amplitude) verwendet wird, aber bei komplizierteren Situationen können mehr Arten von Termen erforderlich sein.

Die Länge eines Zustandsexpansionsvektors hängt von den Anforderungen an die Vorverzerrung ab. In anderen Worten, die Anzahl der Terme hängt von der erforderlichen Qualität der Vorverzerrung ab. Manchmal kann ein gutes Ergebnis erzielt werden, indem ein kurzer Vektor verwendet wird, aber bei komplizierteren Situationen kann die Länge eines Vektors erhöht werden.

**[0050]** Aufgrund einer Frequenz, Bandbreite, Leistung oder einer anderen Variablen einer Übertragungskette ist es möglich, verschiedene Einstellungen innerhalb eines Zustandsexpanders zu verwenden und verschiedene Gruppen von Kompensationsparametern sowohl für die Vorverzerrung im Zeit- und Frequenzbereich als auch für die AQM-Kompensation auszuwählen.

**[0051]** In Block **212** werden Signal kennzeichnende Mengen mit mindestens einem Parametervektor zur Kompensation im Zeitbereich, mit mindestens einem Parametervektor zur Kompensation im Frequenzbereich und mindestens einem Parametervektor zur AQM-Kompensation verändert, um ein vorverzerrtes Signal zu bilden. Eine Veränderung im Zeitbereich erfolgt üblicherweise dadurch, dass vorgegebene, Signal kennzeichnende Mengen von einem oder mehreren Zustandsexpansionsvektoren mit ausgewählten Parametern von einem oder mehreren Parametervektoren zur Kompensation im Zeitbereich multipliziert werden. Die multiplizierten Mengen sind üblicherweise die Amplituden- und/oder Phasenparameter. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Vorverzerrung im Zeitbereich in einem Polarkoordinatensystem. Nach der Kompensation im Zeitbereich werden kompensierte Parameter verknüpft, um einen Wert pro Parameter zu erhalten, zum Beispiel einen Phasenwert und einen Amplitudenwert pro Ursprungsdatenwert.

**[0052]** Die Kompensation im Frequenzbereich erfolgt vorzugsweise durch das Filtern eines im Zeitbereich vorverzerrten Signalwertes. Die Struktur des Kompensationsfilters weist üblicherweise einen oder mehrere Filter oder Filterbänke zum Kompensieren der Nichtlinearitäten eines Frequenzganges auf. Diese Verzerrung wird durch einen Filter kompensiert. Der Frequenzgang, der ein Spiegelbild sein soll, wird mit einer Übertragungskette verglichen. Der Zweck besteht darin, den Frequenzgang einer Übertragungskette zu linearisieren. Grundsätzlich kann der Frequenzgang der Übertragungskette durch das Bilden eines Umkehrfilters durch Vergleichen des Fehlers zwischen dem Sende- und dem Rückkopplungssignal ausgeglichen werden. Ein Zustandsexpander steuert üblicherweise das Verhalten und die Eigenschaften der Vorverzerrung im Frequenzbereich.

**[0053]** Ist keine Kompensation im Frequenzbereich erforderlich, können die Filteranzapfkoeffizienten auf

den Wert 1 gesetzt werden.

**[0054]** Die AQM-Kompensation erfolgt üblicherweise durch das Multiplizieren vorgegebener, Signal kennzeichnender Mengen von einem oder mehreren AQM-Zustandsexpansionsvektoren mit ausgewählten Parametern von einem oder mehreren Parametervektoren zur AQM-Kompensation. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die AQM-Kompensation in einem kartesischen Koordinatensystem.

**[0055]** In Block **214** bildet ein Rückkopplungssignal ein Ausgangssignal der Übertragungskette. Dies erfolgt üblicherweise durch das Verwenden einer Rückkopplungskette, die aus einem Analog-Digital-Wandler und anderen erforderlichen Funktionen besteht. Das Rückkopplungssignal wird für die Anpassung in Block **216**, **218** und **220** benötigt.

**[0056]** In Block **216** werden ein oder mehrere Parametervektoren zur Kompensation im Zeitbereich anhand des Restfehlers zwischen dem Sendee- und dem Rückkopplungssignal angepasst. Zu diesem Zweck werden die Signalwerte vorzugsweise rückgekoppelt. Signalwerte eines Rückkopplungssignals und die Signalwerte der Ursprungsdaten werden verglichen, und anhand des Ergebnisses werden die Parametervektoren zur Kompensation durch das Verändern von Koeffizienten angepasst. Bei einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Anpassung durch die Verwendung eines Polarkoordinatensystems.

**[0057]** In Block **218** werden ein oder mehrere Parametervektoren zur Kompensation im Frequenzbereich anhand des Restfehlers zwischen dem Sendee- und dem Rückkopplungssignal angepasst. Zu diesem werden die Signalwerte vorzugsweise rückgekoppelt, um die Kompensationsfilterstruktur anzupassen. Signalwerte nach einem Leistungsverstärker und die Signalwerte der Ursprungsdaten werden verglichen, und anhand des Ergebnisses werden die Filteranzapfkoeffizienten bestimmt, um den Filter anzugleichen, um die Verzerrung im Frequenzbereich besser zu kompensieren.

**[0058]** In Block **220** werden ein oder mehrere Parametervektoren zur Kompensation im Quadraturmodulator anhand des Restfehlers zwischen dem Sendee- und dem Rückkopplungssignal angepasst. Zu diesem werden die Signalwerte vorzugsweise rückgekoppelt, um die Kompensationsparameter anzupassen. Signalwerte nach einem Leistungsverstärker und die Signalwerte der Ursprungsdaten werden verglichen, und anhand des Ergebnisses werden die Parametervektoren zur AQM-Kompensation bestimmt, um die AQM-Verzerrung besser zu kompensieren.

**[0059]** Das Verfahren endet in Block **222**. Der Pfeil

**224** veranschaulicht, dass das Verfahren sich wiederholen kann.

**[0060]** Fig. 3 zeigt ein Ablaufdiagramm einer weiteren bevorzugten Ausführungsform eines Verfahrens zur Realisierung digitaler Vorverzerrung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Bei dieser Ausführungsform des Verfahrens wird mehr Filterung verwendet. Die zweite Filterung wird eingesetzt, um frequenzabhängige Nichtlinearitäten zu kompensieren, die in einer Abwärtsmischungskette entstehen. Es ist auch möglich, die Filterstruktur mit einem oder mehreren Filtern oder Filterbänken, je nach System, auszuführen. Dies erfolgt vorzugsweise durch das Vergleichen der Signalwerte eines Rückkopplungssignals mit den Signalwerten der ursprünglichen Daten und durch das Bestimmen der Filteranzapfkoeffizienten anhand des Ergebnisses.

**[0061]** Das Verfahren beginnt in Block **300**. In Block **302** wird mindestens ein Parametervektor zur Kompensation im Zeitbereich gebildet. Ein Parametervektor kann aus einem oder mehreren Untervektoren bestehen, von denen jeder mit einer spezifischen Signalkennlinie verbunden ist, die die Nichtlinearität eines Leistungsverstärkers verursacht. Bei dieser Anwendung bedeutet Vektor auch matrixartige Vektoren.

**[0062]** Ein Parametervektor (Funktion) bestimmt durch die Angabe seiner Koeffizienten ein Polynom, eine Spline oder eine andere Funktion. Eine Spline lässt sich als eine Funktion kennzeichnen, die auf jedem Subintervall einer vorgegebenen Gruppe in ihrem Bereich ein Polynom ist. Eine Spline ist an den Rändern der Subintervalle ebenfalls glatt. Ein Parametervektor zur Kompensation im Zeitbereich wird für Vorverzerrung im Zeitbereich verwendet.

**[0063]** Durch Funktionen (oder Vektoren) lassen sich die komplizierten Auswirkungen, die durch Nichtlinearität verursacht werden, üblicherweise besser darstellen als durch Verwendung einzelner Werte, hauptsächlich, weil die Größe eines Speichers (nach dem Stand der Technik werden Nachschlagtabellen verwendet) aus Gründen der Anwendbarkeit begrenzt sein muss. Üblicherweise sind mehrere Vektoren erforderlich, weil die Verwendung verschiedener Vektoren ein genaueres Ergebnis liefert. Die Anzahl der ausgewählten Vektoren sowie die Vektoren selbst hängen von den besonderen Funkbedingungen des Systems und natürlich von der gewünschten Genauigkeit der Kompensation ab. Folgende vier Funktionen werden üblicherweise verwendet: gedächtnislose, dynamische, gewichtete dynamische integrale und dynamische Vorverzerrungsfunktion mit Wechselwirkung. Der Unterschied zwischen diesen Funktionen lässt sich wie folgt erklären. Die gedächtnislose Vorverzerrungsfunktion verwendet abgetastete Amplitudenwerte. Die dynamische



Vorverzerrungsfunktion verwendet auch vorherige Amplitudenwerte und kann daher die Richtung zukünftiger Veränderungen besser vorhersagen. Die Integralvorverzerrungsfunktion verwendet eine längere Prüfdauer als die dynamische Vorverzerrungsfunktion. Durch das Verwenden einer längeren Prüfdauer können Veränderungen aufgrund von Temperaturschwankungen bei einem Verhalten einer nichtlinearen Vorrichtung aufgespürt werden. Die dynamische Vorverzerrungsfunktion mit Wechselwirkung verwendet gedächtnislose, dynamische und integrale Funktionen. Üblicherweise multipliziert sie Werte, die durch diese Funktionen festgelegt sind. Anders gesagt wird die Wechselwirkungsfunktion durch das Verknüpfen der Ausgaben anderer Blöcke auf geeignete Art und Weise gebildet.

**[0064]** In Block **304** wird mindestens ein Parametervektor (oder Funktion) im Frequenzbereich gebildet. Theoretisch können Beeinträchtigungen, die durch Nichtlinearität verursacht werden, beseitigt werden, indem das Gegenteil der Übertragungsfunktion von Nichtlinearitäten auf das Übertragungssignal angelegt wird. In der Praxis treten jedoch immer zusätzlich zu Fehlern im Zeitbereich Fehler im Frequenzbereich auf, und daher ist auch eine Vorverzerrung im Frequenzbereich erforderlich. Der Parametervektor zur Frequenzkompensation wird vorzugsweise dadurch gebildet, dass die Frequenzgänge bestimmter Signale analysiert werden und die Umkehrfilterung aufgrund der Ergebnisse angepasst wird.

**[0065]** In Block **306** wird mindestens ein Parametervektor zur Kompensation im Quadraturmodulator gebildet. Bei der AQM-(Analog Quadrature Modulator – Analog Quadraturmodulator) und auch bei der AQ-DeMod-(Analog Quadrature DeModulator – Analog Quadraturdemodulator)Kompensation werden tatsächliche und imaginäre Teile des Komplexsignals angepasst, um den Fehler, der durch Quadraturmodulation oder Quadraturdemodulation verursacht wird, auf ein Mindestmaß zu beschränken. Diese Kompensation erfolgt üblicherweise dadurch, dass vorgegebenen Mustern eines I-(in-phase – gleichphasig) und Q-(Quadratur)modulierten Signals ein Korrekturterm hinzugefügt wird. Dieser Korrekturterm wird üblicherweise von den aktuellen I- und Q-Mustern abgeleitet, indem auch Verlaufsinformationen verwendet werden. Die Korrekturterme werden üblicherweise aus einer vorgegebenen Funktion, deren Argumente aktuelle und vergangene I- und Q-Muster (AQM-Zustandsexpandervektoren) sind, und aus vorher festgelegten AQM-Kompensationsparametern berechnet. Bei einer typischen Realisierung hängt die Funktion der aktuellen und vergangenen I- und Q-Muster und vorher festgelegten AQM-Kompensationsparameter linear von den Vorverzerrkoeffizienten und den Elementen der AQM-Zustandsexpandervektoren ab. Es gibt viele andere Möglichkeiten für die Berechnung der Korrekturterme. Es ist

zum Beispiel möglich, eine komplexere Struktur zu verwenden, bei der der Korrekturterm nicht linear, sondern auf kompliziertere Art und Weise von den Parametern abhängt.

**[0066]** Der AQM-Zustandsexpandervektor weist als Komponenten verschiedene Funktionen von I und Q und deren vorherige Werte auf. Typische AQM-Zustandsexpanderverteiler sind Erzeugnisse mit niedriger I- und Q-Leistung und ihre vorherigen Werte sowie einige hinzugefügte Funktionen vorheriger Werte, wie zum Beispiel das Integral der Amplitude des Quadrats der Signalabtastwerte über eine bestimmte Zeit. Es ist möglich, dass sowohl die gleichphasige Komponente als auch die Quadraturkomponente einen eigenen AQM-Zustandsexpandervektor aufweisen. Üblicherweise ist eine Komponente des AQM-Zustandsexpanders konstant. Dieser Term wird für die Kompensation des DC-Offset (DC = direct current – Gleichstrom) verwendet.

**[0067]** Die AQM-Kompensationsparameter lassen sich herausfinden, indem ein Algorithmus verwendet wird, der ein vorgegebenes Optimierungskriterium, das auf dem Rückkopplungs- und dem Ursprungssignal basiert, maximiert. Das Optimierungskriterium besteht üblicherweise darin, dass das Minus der mittleren quadratischen Abweichung zwischen dem Ursprungs- und einem oder mehreren Rückkopplungssignalen maximiert wird. Wird ein lineares Modell verwendet, können LMS-(least means square) oder RLS-(recursive least squares)Algorithmen nach dem Stand der Technik bei der Anpassung verwendet werden. Bei der AQM-Anpassung kann ein geringer Frequenzversatz der Rückkopplungskette hinzugefügt werden, um lineare Fehler zwischen dem Modulator und dem Demodulator auszusondern.

**[0068]** Es ist ebenfalls möglich, die AQDeMod(Analog Quadrature De-Modulator)-Kompensation durchzuführen. Grundsätzlich können AQDeMod und AQM durch Verwendung desselben Verfahrens kompensiert werden, aber die Kompensation wird üblicherweise in verschiedenen Anpassungsrunden durchgeführt: zunächst die AQM-Kompensation und dann die AQDeMod unter Verwendung des Restfehlers. Bei der AQDeMod-Anpassung kann ein geringer Frequenzversatz der Rückkopplungskette hinzugefügt werden, um lineare Fehler zwischen dem Modulator und dem Demodulator auszusondern.

**[0069]** Bei einer Ausführungsform des Verfahrens wird die AQM(Analog Quadrature Modulator – analoger Quadraturmodulator)- und die AQDeMod(Analog Quadrature Demodulator – Analog Quadraturdemodulator)-Kompensation nicht durchgeführt.

**[0070]** In Block **308** wird mindestens eine Gruppe von Signaleigenschaften, die die Nichtlinearitäten in einer Übertragungskette formen, festgelegt. Übli-

cherweise weisen die Eigenschaften des verwendeten Signals die Amplitude, Phase oder Frequenz auf. In vielen Fällen ist eine Gruppe von Signaleigenschaften genug, aber manchmal können mehrere Gruppen erforderlich sein, um ein genaueres Ergebnis zu liefern. Die Nichtlinearitäten der Übertragungskette werden geformt, um die Parameter zum Bilden eines Zustandsexpansionsvektors in Block **310** festzulegen.

**[0071]** In Block **310** wird mindestens ein Zustandsexpansionsvektor gebildet, basierend auf mindestens einer Gruppe von Signaleigenschaften. Ein Zustandsexpansionsvektor besteht aus Mengen, die Nichtlinearitäten in Abhängigkeit von ausgewählten Signaleigenschaften kennzeichnen. Ein Zustandsexpansionsvektor kann zum Beispiel aus einer vorgegebenen Anzahl verschiedener Stärken von Amplitudenwerten bestehen, die in einem Vektor angeordnet sind. Ein weiteres Beispiel ist, dass ein Zustandsexpansionsvektor aus einer vorgegebenen Anzahl von Leistungen der Zeitableitung der Amplitude besteht. Ein weiteres Beispiel ist, dass ein Zustandsexpansionsvektor aus Amplitudenwerten gebildet ist, die auf verschiedene Arten verarbeitet werden: durch Differenzieren, Integrieren, usw. Es ist auch möglich, Amplitudenwerte, die auf verschiedene Arten verarbeitet wurden, zu verknüpfen. Daher kann ein Zustandsexpansionsvektor aus einem oder mehreren Amplitudenwerten bestehen, einem oder mehreren abgeleiteten Amplitudenwerten, einem oder mehreren integrierten Amplitudenwerten und/oder verknüpften Werten, die Cross-Terme genannt werden können.

**[0072]** Die Anzahl der erforderlichen Arten von Termen bei den Zustandsexpansionsvektoren schwankt: Manchmal kann ein gutes Ergebnis erzielt werden, indem nur eine Art von Term (zum Beispiel Amplitude) verwendet wird, aber bei komplizierteren Situationen können mehr Arten von Termen erforderlich sein. Die Länge eines Zustandsexpansionsvektors hängt von den Anforderungen an die Vorverzerrung ab. In anderen Worten, die Anzahl der Terme hängt von der erforderlichen Qualität der Vorverzerrung ab. Manchmal kann ein gutes Ergebnis erzielt werden, indem ein kurzer Vektor verwendet wird, aber bei komplizierteren Situationen kann die Länge eines Vektors erhöht werden.

**[0073]** Aufgrund einer Frequenz, Bandbreite, Leistung oder einer anderen Variablen einer Übertragungskette ist es möglich, verschiedene Einstellungen innerhalb eines Zustandsexpanders zu verwenden und verschiedene Gruppen von Kompensationsparametern sowohl für die Vorverzerrung im Zeit- und Frequenzbereich als auch für die AQM-Kompensation auszuwählen.

**[0074]** In Block **312** werden Signal kennzeichnende Mengen mit mindestens einem Parametervektor zur

Kompensation im Zeitbereich, mit mindestens einem Parametervektor zur Kompensation im Frequenzbereich und mindestens einem Parametervektor zur AQM-Kompensation verändert, um ein vorverzerrtes Signal zu bilden. Eine Veränderung im Zeitbereich erfolgt üblicherweise dadurch, dass vorgegebene, Signal kennzeichnende Mengen von einem oder mehreren Zustandsexpansionsvektoren mit ausgewählten Parametern von einem oder mehreren Parametervektoren zur Kompensation im Zeitbereich multipliziert werden. Die multiplizierten Mengen sind üblicherweise die Amplituden- und/oder Phasenparameter. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Vorverzerrung im Zeitbereich in einem Polarkoordinatensystem. Nach der Kompensation im Zeitbereich werden kompensierte Parameter verknüpft, um einen Wert pro Parameter zu erhalten, zum Beispiel einen Phasenwert und einen Amplitudenwert pro Ursprungsdatenwert.

**[0075]** Die Kompensation im Frequenzbereich erfolgt vorzugsweise durch das Filtern eines im Zeitbereich vorverzerrten Signalwertes. Die Struktur des Kompensationsfilters weist üblicherweise einen oder mehrere Filter oder Filterbänke zum Kompensieren der Nichtlinearitäten eines Frequenzganges auf. Diese Verzerrung wird durch einen Filter kompensiert. Der Frequenzgang, der ein Spiegelbild sein soll, wird mit einer Übertragungskette verglichen. Der Zweck besteht darin, den Frequenzgang einer Übertragungskette zu linearisieren. Grundsätzlich kann der Frequenzgang der Übertragungskette durch das Bilden eines Umkehrfilters durch Vergleichen des Fehlers zwischen dem Sende- und dem Rückkopplungssignal ausgeglichen werden. Ein Zustandsexpander steuert üblicherweise das Verhalten und die Eigenschaften der Vorverzerrung im Frequenzbereich.

**[0076]** Die AQM-Kompensation erfolgt üblicherweise durch das Multiplizieren vorgegebener, Signal kennzeichnender Mengen von einem oder mehreren AQM-Zustandsexpansionsvektoren mit ausgewählten Parametern von einem oder mehreren Parametervektoren zur AQM-Kompensation. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die AQM-Kompensation in einem kartesischen Koordinatensystem.

**[0077]** In Block **314** wird ein Rückkopplungssignal des Ausgangssignals der Übertragungskette gebildet. Das linearisierte Ausgangssignal der Übertragungskette wird rückgekoppelt, um Vorverzerrungsfunktionen im Zeit- und Frequenzbereich anzupassen. Die Anpassung richtet sich auf die Zeit-, Frequenz-, Amplituden- und/oder Phasenvarianzeigenschaften einer Übertragungskette. Ein Rückkopplungssignal wird in der Praxis vorzugsweise wie folgt erzeugt: ein linearisiertes RF-Ausgangssignal wird einem Abwärtsmischungsteil zugeführt, um ein Zwischenfrequenzsignal zu erhalten. Dieses Zwischen-

frequenzsignal wird dann einem Analog-Digital-Wandler (ADC – analog to digital converter) zugeführt, wo es abgetastet und in ein digitales Signal umgewandelt wird, an dem die Demodulation (zum Beispiel IQ-Demodulation) erfolgt. Dieses üblicherweise komplexe digitale Signal wird dann Anpassungsroutinen zugeführt, bei denen das komplexe digitale Rückkopplungssignal mit dem entsprechenden ursprünglichen komplexen Eingangssignal verglichen wird.

**[0078]** In Block **316** wird das Rückkopplungssignal gefiltert, um die Nichtlinearitäten eines Frequenzganges, die in einer Abwärtsmischungskette verursacht werden, auf ein Mindestmaß zu senken. Dies erfolgt, um die Anpassung sowohl der Parametervektoren zur Kompensation im Zeitbereich als auch die Parametervektoren zur Kompensation im Frequenzbereich zu verbessern.

**[0079]** In Block **318** werden ein oder mehrere Parametervektoren zur Kompensation im Zeitbereich angepasst. Zu diesem Zweck werden Signalwerte vorzugsweise rückgekoppelt. Signalwerte nach der Abwärtsmischung und die entsprechenden Signalwerte mit den Ursprungsdaten werden verglichen. Die Vorverzerrungsfunktion wird durch das Verändern eines Parametervektors anhand des Vergleichs angepasst.

**[0080]** In Block **320** werden ein oder mehrere Parametervektoren zur Kompensation im Frequenzbereich anhand des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal angepasst. Zu diesem Zweck werden Signalwerte vorzugsweise rückgekoppelt, um die Kompensationsfilterstruktur anzupassen. Signalwerte nach der Abwärtsmischung und die entsprechenden Signalwerte mit den Ursprungsdaten werden verglichen. Anhand des Ergebnisses werden die Filteranzapfkoeffizienten bestimmt, um den Filter anzugleichen, um die Verzerrung im Frequenzbereich besser zu kompensieren.

**[0081]** In Block **322** werden ein oder mehrere Parametervektoren zur Kompensation im Quadraturmodulator anhand des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal angepasst. Zu diesem Zweck werden die Signalwerte vorzugsweise rückgekoppelt, um die Kompensationsfilterstruktur anzupassen. Signalwerte nach einem Leistungsverstärker und die Signalwerte der Ursprungsdaten werden verglichen, und anhand des Ergebnisses werden die Parametervektoren zur AQM-Kompensation bestimmt, um die AQM-Kompensation anzugleichen, um die AQM-Verzerrung besser zu kompensieren.

**[0082]** In Block **324** werden die Koeffizienten des Rückkopplungsfilters in ähnlicher Weise wie die Vektoranpassung zur Kompensation im Frequenzbereich angepasst.

**[0083]** Das Verfahren endet in Block **326**. Der Pfeil **328** veranschaulicht, dass es sich wiederholen kann.

**[0084]** **Fig. 4** veranschaulicht ein Blockdiagramm eines Teils eines Senders gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. **Fig. 4** zeigt hauptsächlich die Teile eines Senders, mit denen das oben beschriebene Vorverzerrungs-(oder Vorkompensierungs-)verfahren realisiert werden kann. Es ist für einen Fachmann offensichtlich, dass die Senderstruktur von der in **Fig. 4** dargestellten Struktur abweichen kann. Block **400** ist eine Schaltmatrix, die zum Beispiel die Sendeleistung, die Frequenz oder die Bandbreite zum Auswählen der geeigneten Vorverzerrungsvektoren und/oder -koeffizienten, zum Beispiel für verschiedene Leistungsstufen, Frequenzen oder Bandbreiten, überprüft. Die verschiedenen Vektorgruppen sind in **Fig. 4** durch die Zahlen **404, 422, 406, 424, 428, 430** gekennzeichnet. Die Anzahl der Gruppen kann schwanken.

**[0085]** Block **402** ist ein Zustandsexpander, der ein Signal zwecks geeigneter Vorverzerrung verarbeitet. Ein Zustandsexpansionsvektor besteht aus Mengen, die Nichtlinearitäten in Abhängigkeit von ausgewählten Signaleigenschaften kennzeichnen. Ein Zustandsexpansionsvektor besteht zum Beispiel aus einer vorgegebenen Anzahl verschiedener Stärken von Amplitudenwerten, die in einem Vektor angeordnet sind. Ein weiteres Beispiel ist, dass ein Zustandsexpansionsvektor aus einer vorgegebenen Anzahl von verschiedenen Stärken einer Amplitude besteht, die durch eine vorgegebene Anzahl von Abtastwerten verzögert wird. Ein weiteres Beispiel ist, dass ein Zustandsexpansionsvektor aus Amplitudenwerten gebildet ist, die auf verschiedene Arten verarbeitet werden: durch Differenzieren, Integrieren, usw. Es ist auch möglich, Amplitudenwerte, die auf verschiedene Arten verarbeitet wurden, zu verknüpfen. Daher kann ein Zustandsexpansionsvektor aus einem oder mehreren Stärken von Amplitudenwerten bestehen, einem oder mehreren Stärken der Ableitung eines Amplitudenwertes, einem oder mehreren integrierten Amplitudenwerten und/oder verknüpften Werten, die Cross-Terme genannt werden können.

**[0086]** Ein Zustandsexpander kann aus Filtern und Einheiten bestehen, die eine vorgegebene Anzahl von Werten für jeden Eingabewert erzeugen, zum Beispiel einen Amplitudenwert. Ein Zustandsexpander kann einen Signalwert auf eine vorgegebene Anzahl von Werten erweitern. Falls die Struktur Filter aufweist, handelt es sich üblicherweise entweder um Finite Impulse Response (FIR – mit endlicher Impulsantwort)- oder um Infinite Impulse Response (IIR – mit unendlicher Impulsantwort)-Filter. Der Ausgang eines Zustandsexpanders ist ein Vektor, der die erforderliche Anzahl von Werten aufweist, die ein zu verzerrendes Signal kennzeichnen.

**[0087]** Die Anzahl der erforderlichen Zustandsexpansionsvektoren schwankt: Manchmal kann ein gutes Ergebnis erzielt werden, wenn nur ein Vektor verwendet wird, aber bei komplizierteren Situation können mehrere Vektoren erforderlich sein. Die Länge eines Zustandsexpansionsvektors hängt von den Anforderungen an die Vorverzerrung ab. In anderen Worten, die Anzahl der Terme hängt von der erforderlichen Qualität der Vorverzerrung ab. Manchmal kann ein gutes Ergebnis erzielt werden, wenn ein kurzer Vektor verwendet wird, aber bei komplizierteren Situationen kann die Länge eines Vektors erhöht werden.

**[0088]** Es ist auch möglich, verschiedene Zustandsexpansionsvektoren für verschiedene Übertragungsfrequenzen, -leistungen, -bandbreiten und/oder andere Variablen von Übertragungsketten zu verwenden, wie in Vorrichtung **426** in [Fig. 4](#) dargestellt.

**[0089]** Die Blöcke **404**, **422** stellen Vorverzerrungsblöcke im Zeitbereich für verschiedene Übertragungsleistungspegel, Übertragungsbandbreiten, Übertragungsfrequenzen oder andere Eigenschaften einer Übertragungskette dar.

**[0090]** Die Vorverzerrung im Zeitbereich erfolgt unter Verwendung eines oder mehrerer Vektoren zur Kompensation im Zeitbereich. Bei dieser Anwendung kann der Begriff „Vektor“ auch matrixartige Vektoren umfassen. Ein Vektor kann auch die Koeffizienten eines Polynoms oder einer Spline darstellen. Vektoren zur Kompensation im Zeitbereich sind oben ausführlicher erklärt.

**[0091]** Die Blöcke **406**, **426** stellen jeweils Vorverzerrungsblöcke im Frequenzbereich für verschiedene Übertragungsleistungspegel, Übertragungsbandbreiten, Übertragungsfrequenzen oder andere Eigenschaften einer Übertragungskette dar. Die Vorverzerrung im Frequenzbereich erfolgt unter Verwendung eines oder mehrerer Parametervektoren zur Kompensation im Frequenzbereich. Vektoren im Frequenzbereich kompensieren Nichtlinearitäten eines Frequenzganges einer Übertragungskette. Die Vorverzerrung im Frequenzbereich kann als ein Filter realisiert werden, wobei der Frequenzgang ein Spiegelbild im Vergleich mit der Übertragungskette sein soll. Ein Zustandsexpander steuert üblicherweise das Verhalten und die Eigenschaften der Vorverzerrung im Frequenzbereich. In diesem Fall sind Parameter des Kompensationsvektors Anzapfkoeffizienten, und die Länge des Vektors wird durch die Länge des Filters bestimmt. Vektoren zur Kompensation im Frequenzbereich sind oben ausführlicher erklärt.

**[0092]** Block **408** führt eine Digital-Analog-(D/A)Umsetzung durch. Die D/A-Umsetzung ist im Stand der Technik bekannt und wird daher hier nicht ausführlicher erklärt.

**[0093]** Block **410** führt die analogen Funktionen eines Senders aus, wie zum Beispiel Auf- und Abwärtsmischungen und Leistungsverstärkung. Diese Funktionen sind im Stand der der Technik bekannt und werden daher nicht ausführlicher erklärt. Ein Beispiel für Auf- und Abwärtsmischungen ist der analoge Quadraturmodulator und Demodulator.

**[0094]** Ein analoger Quadraturmodulator weist üblicherweise zwei Mischer und eine Summierschaltung auf, um Mischerausgänge zu verknüpfen. Die Mischereingänge sind Informationen tragende gleichphasige (I) und Quadratur(Q)-Signale eines Basisbands und ein Kosinusteil eines lokalen Oszillatorsignals, das mit dem gleichphasigen Eingangssignal gemischt wird, und ein Sinusteil eines lokalen Oszillatorsignals, das mit dem Quadratureingang gemischt wird. Verglichen mit Quadraturmodulatoren arbeiten Quadraturdemodulatoren in umgekehrter Art und Weise. Analoge Quadraturmodulatoren sowie Demodulatoren weisen verschiedene Mängel auf, die die Qualität des übertragenen Spektrums und der Linearität im Zeitbereich beeinträchtigen. Ferner können diese Beeinträchtigungen die Vorteile von linearisierenden Vorverzerrern verringern oder sogar beseitigen, und daher besteht Bedarf nach Kompensation. Deshalb wird die Kompensation durchgeführt.

**[0095]** Als nächstes wird der Rückkopplungsteil des Senders erklärt. Der Hauptzweck der Rückkopplungskette besteht darin, Informationen zum Anpassen der Vorverzerrungsvektoren zu bieten. Dies erfolgt, weil die Verzerrung sich in Abhängigkeit von der Zeit verändert.

**[0096]** Block **412** ist ein Analog-Digital(A/D)-Wandler. Die A/D-Umsetzung ist im Stand der Technik bekannt und wird daher hier nicht ausführlicher erklärt.

**[0097]** Block **414** ist ein adaptiver Filter oder eine Filterbank. Besteht in dem Rückkopplungspfad eine starke Verstärkung und Phasenwelligkeit, kann auch ein zusätzlicher Kompensationsfilter am Ausgang einer Abwärtsmischungskette vor den Anpassungsrountinen eingesetzt werden. Die Realisierungsstruktur ähnelt der, die bei der Vorverzerrung im Frequenzbereich verwendet wird.

**[0098]** Block **416** ist ein Datensynchronisierungsblock, der Abtastwerte von Ursprungsdaten synchronisiert, um Rückkopplungsabtastwerte zu korrigieren, um die Kompensationsvektoren anzupassen und auch zum Anpassen von Filtern, falls erforderlich. Es sollte angemerkt werden, dass das rückkoppelnde Verarbeiten eines Signals Zeit erfordert, und daher können die Abtastwerte des Ursprungssignals wie die Rückkopplungssignalwerte verzögert sein.

**[0099]** Die Struktur des zweiten Zustandsexpanders **420** ähnelt dem ersten Zustandsexpander **402**. Dieser

Vektor des Zustandsexpanders besteht aus Signal kennzeichnenden Mengen, die dem ersten Zustandsexpander, der bei der Vorverzerrung verwendet wird, entsprechen oder ähneln. Durch das Analysieren des Restfehlers bei dem Rückkopplungssignal gegenüber diesem Vektor des Zustandsexpanders ist es möglich, den oder die Parametervektoren zur Kompensation im Zeitbereich zwecks besserer Leistung einzustellen.

**[0100]** Block **418** ist ein Anpassungsblock, der die Vorverzerrungsblöcke im Zeitbereich **404**, **422**, die Vorverzerrungsblöcke im Frequenzbereich **406**, **424**, und die AQM-Kompensationsblöcke **428**, **430** anpasst, falls erforderlich. Außerdem wird der Rückkopplungskompensationsfilter **414** in diesem Block angepasst. Diese Anpassung ist aufgrund der Zeitvarianzeigenschaften von nichtlinearen Vorrichtungen erforderlich. Die Anpassung erfolgt schrittweise durch das Einstellen der Koeffizienten der Kompensationsvektoren oder der Anzapfkoeffizienten der Filter, um die bestmögliche Entsprechung für die Übertragungsfunktion der Übertragungskette zu finden. Dies erfolgt durch das Durchführen einer Anpassung, die den Restfehler zwischen dem Ursprungs- und dem Rückkopplungssignal abschätzt, und dann durch das Berechnen der benötigten Veränderung bei den Koeffizienten, um den betreffenden Fehler zu beseitigen. Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird der Restfehler getrennt für Phase und Amplitude berechnet, wenn es zu einer Anpassung von Parametervektoren zur Kompensation im Zeitbereich kommt. Für den Parametervektor zur Kompensation im Frequenzbereich, den Rückkopplungskompensationsfilter und den Parametervektor zur AQM-Kompensation wird der Restfehler vorzugsweise in einer kartesischen Koordinate berechnet.

**[0101]** Der Anpassungsprozess des Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich senkt die mittlere quadratische Abweichung üblicherweise auf ein Mindestmaß. Es gibt mehrere Verfahren, um die mittlere quadratische Abweichung im Stand der Technik auf ein Mindestmaß zu senken. Diese Verfahren werden hier nicht ausführlicher erklärt. Nur um ein paar Beispiele zu nennen: LMMSE (linear minimum mean square), MMSE (minimum mean square error) oder Kalman-Filterung. Es können auch andere geeignete Verfahren verwendet werden.

**[0102]** Eine Aufgabe der Anpassung der Vektoren zur Kompensation im Frequenzbereich besteht darin, den Frequenzgang der Übertragungskette zu linearisieren. Die gleichen Verfahren, die bei der Anpassung im Zeitbereich verwendet werden, können für die Anpassung im Frequenzbereich verwendet werden.

**[0103]** Die AQM-Kompensationsparameter lassen sich herausfinden, indem ein Algorithmus verwendet

wird, der ein vorgegebenes Optimierungskriterium, das auf dem Rückkopplungs- und dem Ursprungssignal basiert, maximiert. Das Optimierungskriterium besteht üblicherweise darin, dass das Minus der mittleren quadratischen Abweichung zwischen dem Ursprungs- und einem oder mehreren Rückkopplungssignalen maximiert wird. Wird ein lineares Modell verwendet, können im Stand der Technik bekannte LMS-(least means square) oder RLS-(recursive least squares) Algorithmen bei der Anpassung verwendet werden.

**[0104]** Die Blöcke **428**, **430** stellen die Kompensation im Quadraturmodulator (AQM = Analoger Quadraturmodulator) für verschiedene Übertragungsleistungspegel, Übertragungsbandbreiten, Übertragungsfrequenzen oder andere Eigenschaften einer Übertragungskette dar. Die Kompensation im Quadraturmodulator erfolgt unter Verwendung eines oder mehrerer Kompensationsvektoren. Bei dieser Anwendung kann der Begriff „Vektor“ auch matrixartige Vektoren umfassen. Die AQM-Kompensation ist oben ausführlicher erklärt.

**[0105]** Es ist ebenfalls möglich, die AQDeMod(Analog Quadrature DeModulator)-Kompensation durchzuführen, Block **432**. Grundsätzlich können AQDeMod und AQM durch Verwendung des gleichen Verfahrens kompensiert werden, aber die Anpassung der Kompensation wird üblicherweise in verschiedenen Anpassungsrunden durchgeführt: zunächst die AQM-Kompensation und dann die AQDeMod unter Verwendung des Restfehlers. Bei der AQDeMod- und der AQM-Anpassung kann ein geringer Frequenzversatz der Rückkopplung hinzugefügt werden, um lineare Fehler zwischen dem Modulator und dem Demodulator auszusondern.

**[0106]** Bei einer Ausführungsform des Verfahrens wird die AQM(Analog Quadrature Modulator – analoger Quadraturmodulator)- und die AQDeMod(Analog Quadrature Demodulator – Analoger Quadraturdemodulator)-Kompensation nicht durchgeführt.

**[0107]** In [Fig. 5](#) ist ein Blockdiagramm dargestellt, um einen Transceiver zu veranschaulichen, auf den die vorgenannten Verfahren angewandt werden können. Es ist für einen Fachmann offensichtlich, dass ein Transceiver auch andere Teile als die in [Fig. 5](#) gezeigten aufweisen kann.

**[0108]** Der Verarbeitungsblock für digitale Signale **500** stellt die Teile eines Transceivers dar, die erforderlich sind, um die Benutzersprache oder -daten in einem Sender zu erzeugen. Ein Signal oder eine Informationskette, die aus Symbolen besteht, d. h. einem oder mehr Bits, wird in dem Sender auf verschiedene Arten verarbeitet. Die Signalverarbeitung, zu der zum Beispiel das Kodieren/Dekodieren und die Verschlüsselung/Entschlüsselung gehören, wird

üblicherweise in einem digitalen Signalprozessor (DSP) durchgeführt. Erfolgt die Übertragung in dem System in Rahmen, die aus Zeitschlitzten bestehen, werden die Rahmen üblicherweise gebildet und Symbole werden in dem DSP verschachtelt. Der Zweck der Signalkodierung und – verschachtelung besteht darin zu gewährleisten, dass die übertragenen Informationen in dem Empfänger wiederhergestellt werden können, auch wenn nicht alle Informationsbits empfangen werden können. Der Block zur digitalen Signalverarbeitung (DSP) besteht aus einem Empfänger und einem Sender. Alternativ können getrennte DSP-Blöcke sowohl für den Empfänger als auch für den Sender vorgesehen werden.

**[0109]** Bei einem Sender in Block **502** wird das Datensignal durch ein gewünschtes Modulationsverfahren moduliert. Modulationsverfahren sind im Stand der Technik bekannt und werden daher hier nicht ausführlicher erklärt. In dem in [Fig. 5](#) gezeigten Beispiel setzt der Datenmodulator **502** ein Modulationsverfahren ein, bei dem das Signal in gleichphasige (I) und Quadratur(Q)-Komponenten aufgeteilt wird. Ein Beispiel für ein derartiges Modulationsverfahren ist die Quadraturphasenumtastung(QPSK – quadrature Phase shift keying) und Abwandlungen davon, wie zum Beispiel das Offset-QPSK-Verfahren.

**[0110]** Da das System aus [Fig. 5](#) ein Breitbandssystem ist, wird das Signal zum Beispiel durch Multiplizieren mit einem langen pseudozufälligen Code gespreizt. Ein Beispiel für ein derartiges Breitbandssystem ist das UMTS. Die Spreizung erfolgt in Block **504**. Falls das System ein Schmalbandsystem ist, kann der Spreizblock nicht erforderlich sein.

**[0111]** Die Modulation, die in Block **506** erfolgt, betrifft Mehrbandssysteme, zum Beispiel, bei denen verschiedene Träger auf dem Frequenzbereich auf eine Weise, die auf die Erfindung anwendbar ist, angeordnet sind. Es ist daher möglich, einen Sender mit mehreren Trägern vorzusehen. Die Modulation in Block **506** kann unter Verwendung einer im Stand der Technik bekannten Art und Weise durchgeführt werden. In [Fig. 5](#) ist um der Klarheit willen nur ein Träger dargestellt.

**[0112]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Vorverzerrung und/oder Anpassung in einem getrennten DSP-Vorverzerrungsblock **508**. Die Rückkopplungskette, die für die Anpassung erforderlich ist, ist um der Deutlichkeit willen nicht in [Fig. 5](#) dargestellt.

**[0113]** Ein Signal wird in Block **510** von einer digitalen in eine analoge Form umgewandelt. RF-Teile **512** mischen das Signal aufwärts auf eine gewählte Übertragungsfrequenz, entweder direkt oder durch ein erstes Umwandeln des Signals auf eine Zwischenfrequenz, wonach das Signal verstärkt und gefiltert wird,

falls erforderlich. Die Antenne **514** kann entweder eine einzelne Antenne oder eine Gruppenantenne sein, die aus mehreren Antennenelementen besteht. Falls sowohl der Sender als auch der Empfänger die gleiche Antenne benutzen, wird ein Duplexfilter **516** benötigt, um das zu übertragende Signal von dem zu empfangenden Signal zu trennen.

**[0114]** In einem Empfänger wird ein empfangenes Signal abwärts gemischt, was ein umgekehrter Vorgang der Aufwärtsmischung in Block **518** ist. Dann wird das Signal in Block **520** von einer analogen in eine digitale Form umgewandelt.

**[0115]** Dann wird das Signal in Block **522** demoduliert. Die Demodulation, die in Block **522** erfolgt, betrifft Mehrbandssysteme, zum Beispiel, bei denen verschiedene Träger in dem Frequenzbereich auf eine Weise, die auf das gegenwärtig verwendete System anwendbar ist, getrennt werden müssen. Die Demodulation in Block **522** kann unter Verwendung einer im Stand der Technik bekannten Art und Weise durchgeführt werden. In [Fig. 5](#) ist um der Klarheit willen nur ein Träger dargestellt.

**[0116]** Ist das System ein Breitbandsystem, ist das empfangene Signal ein Breitbandsignal, das zur weiteren Verarbeitung möglicherweise in ein Schmalbandsignal übertragen werden muss. Das Signal wird entspreizt, zum Beispiel, indem es mit demselben langen Pseudozufallscode multipliziert wird, der in dem Spreizprozess verwendet wurde. Die Entspreizung erfolgt in Block **524**.

**[0117]** Als nächstes wird das Signal in Block **526** demoduliert. Diese Demodulation wird manchmal Datendemodulation genannt. Demodulationsverfahren sind ebenfalls im Stand der Technik bekannt und werden daher hier nicht ausführlicher erklärt. Eine Aufgabe der Demodulation besteht darin, die in dem Sender erfolgte Modulation zu beseitigen.

**[0118]** Die offenbarten Funktionen der beschriebenen Ausführungsformen des Datenübertragungsverfahrens können vorteilhafterweise mit Hilfe von Software ausgeführt werden, die sich üblicherweise in dem digitalen Signalprozessor befindet. Die Lösung zur Durchführung kann zum Beispiel auch eine ASIC(Application Specific Integrated Circuit)-Komponente sein. Eine Mischform dieser verschiedenen Ausführungsformen ist ebenfalls möglich.

## Patentansprüche

1. Datenübertragungsverfahren zum Kompensieren von Nichtlinearitäten einer Übertragungskette, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:  
 erstes Bilden (**202**) von mindestens einem Parametervektor zur Kompensation im Zeitbereich;  
 zweites Bilden (**204**) von mindestens einem Parame-

tervektor zur Kompensation im Frequenzbereich;  
 drittes Bilden (**206**) von mindestens einem Parametervektor zur Kompensation im Quadraturmodulator;  
 Bestimmen (**208**) von mindestens einer Gruppe von Signaleigenschaften, die die Nichtlinearitäten in einer Übertragungskette formen;  
 viertes Bilden (**210**), aufgrund der mindestens einen Gruppe von Signaleigenschaften, von mindestens einem Zustandsexpansionsvektor, der Mengen umfasst, die ein Signal kennzeichnen;  
 das Verändern (**212**) der Signal kennzeichnenden Mengen von mindestens einem Zustandsexpansionsvektor mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im Zeitbereich, mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im Frequenzbereich und mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im Quadraturmodulator, um ein vorverzerrtes Signal zu bilden;  
 fünftes Bilden (**214**) eines Rückkopplungssignals aus einem Ausgangssignal einer Übertragungskette;  
 erstes Anpassen (**216**) des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich aufgrund eines Restfehlers zwischen einem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal;  
 zweites Anpassen (**218**) des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal; und  
 drittes Anpassen (**220**) des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des ersten Bildens (**202**) ferner das Auswählen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich aufgrund mindestens einer Sendeleistung, einer Frequenz, einer Bandbreite und einer weiteren Eigenschaft einer Übertragungskette umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des zweiten Bildens (**204**) ferner einen Schritt des Auswählens des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich aufgrund mindestens einer Sendeleistung, Frequenz, Bandbreite und einer weiteren Eigenschaft einer Übertragungskette umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des dritten Bildens (**206**) ferner einen Schritt des Auswählens des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator aufgrund mindestens einer Sendeleistung, Frequenz, Bandbreite und einer weiteren Eigenschaft einer Übertragungskette umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend einen Schritt des Auswählens von Zustandsexpanderfunktionen aufgrund mindestens einer Sendeleis-

tung, einer Frequenz, einer Bandbreite und einer weiteren Eigenschaft einer Übertragungskette.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des vierten (**210**) Bildens des mindestens einen Zustandsexpansionsvektors ferner einen Schritt des Einbeziehens einer Funktion umfasst, die ausgewählt wird aus mindestens einer der Funktionen für gedächtnisloses Vorverzerrern, für dynamisches Vorverzerrern, für gewichtetes dynamisches Integralvorverzerrern und für dynamisches Vorverzerrern mit Wechselwirkung.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des ersten Anpassens (**216**) ferner einen Schritt des Konfigurierens von Kompensationsparametern des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des zweiten Anpassens (**218**) ferner einen Schritt des Konfigurierens von Kompensationsparametern des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des dritten Anpassens (**220**) ferner einen Schritt des Konfigurierens von Kompensationsparametern des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des ersten Bildens (**202**) ferner einen Schritt des Durchsuchens mindestens eines Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich nach vorgegebenen Signaleigenschaften umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des zweiten Bildens (**204**) ferner einen Schritt des Durchsuchens mindestens eines Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich nach vorgegebenen Signaleigenschaften umfasst.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des dritten Bildens (**206**) ferner einen Schritt des Durchsuchens mindestens eines Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator nach vorgegebenen Signaleigenschaften umfasst.

13. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend einen Schritt des Durchführens einer Vorverzerrung im Zeitbereich in einem Polarkoordinatensystem.

14. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend einen Schritt des Durchführens einer Vorverzerrung im Zeitbereich, und der Schritt des Anpassens

umfasst ferner einen Schritt des Durchführens des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich in einem Polarkoordinatensystem.

15. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Durchführen einer analogen Kompensation im Quadraturdemodulator.

16. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Durchführen einer analogen Kompensation und Anpassung im Quadraturdemodulator.

17. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Filtern (**316**) des Rückkopplungssignals, um einen nichtlinearen Frequenzgang einer Rückkopplungskette auf ein Mindestmaß zu senken.

18. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend: viertes Anpassen (**324**) von mindestens einem Kompensationsparametervektor eines Rückkopplungsfilters aufgrund eines Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal.

19. Einen Sender zum Kompensieren von Nichtlinearitäten einer Übertragungskette, wobei der Sender Folgendes umfasst:

erste Bildungsmittel (**508**) zum Bilden mindestens eines Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich;

zweite Bildungsmittel (**508**) zum Bilden mindestens eines Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich;

dritte Bildungsmittel (**508**) zum Bilden mindestens eines Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator;

Bestimmungsmittel (**508**) zum Bestimmen mindestens einer Gruppe von Signaleigenschaften, die Nichtlinearitäten in einer Übertragungskette formen;

vierte Bildungsmittel (**508**) zum Bilden, aufgrund der mindestens einen Gruppe von Signaleigenschaften, von mindestens einem Zustandsexpansionsvektor, der Mengen umfasst, die ein Signal kennzeichnen;

Veränderungsmittel (**508**) zum Verändern der Signal kennzeichnenden Mengen von mindestens einem Zustandsexpansionsvektor mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im Zeitbereich, mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im Frequenzbereich und mit dem mindestens einen Parametervektor zur Kompensation im Quadraturmodulator, um ein vorverzerrtes Signal zu bilden;

fünfte Bildungsmittel (**508**) zum Bilden eines Rückkopplungssignals aus einem Ausgangssignal einer Übertragungskette;

erste Anpassungsmittel (**508**) zum Anpassen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich aufgrund eines Restfehlers zwischen einem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal;

zweite Anpassungsmittel (**508**) zum Anpassen des

mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal; und

dritte Anpassungsmittel (**508**) zum Anpassen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal.

20. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend Auswahlmittel (**508**) zum Auswählen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich aufgrund mindestens einer Sendeleistung, einer Frequenz, einer Bandbreite oder einer weiteren Eigenschaft einer Übertragungskette.

21. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend Auswahlmittel (**508**) zum Auswählen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich aufgrund mindestens einer Sendeleistung, einer Frequenz, einer Bandbreite oder einer weiteren Eigenschaft einer Übertragungskette.

22. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend Auswahlmittel (**508**) zum Auswählen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator aufgrund einer Sendeleistung, einer Frequenz, einer Bandbreite oder einer weiteren Eigenschaft einer Übertragungskette.

23. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend Auswahlmittel zum Auswählen von Zustandsexpanderfunktionen aufgrund mindestens einer Sendeleistung, einer Frequenz, einer Bandbreite und einer weiteren Eigenschaft einer Übertragungskette.

24. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend vierte Bildungsmittel (**508**) zum Bilden des mindestens einen Zustandsexpansionsvektors durch Verwenden einer Funktion, die ausgewählt wird aus mindestens einer der Funktionen für gedächtnisloses Vorverzerrern, für dynamisches Vorverzerrern, für gewichtetes dynamisches Integralvorverzerrern und für dynamisches Vorverzerrern mit Wechselwirkung.

25. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend erste Anpassungsmittel (**508**) zum Anpassen von Kompensationsparametern des mindestens einen Kompensationsparametervektors aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal.

26. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend zweite Anpassungsmittel (**508**) zum Anpassen von Kompensationsparametern des mindestens einen Kompensationsparametervektors aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal.



27. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend dritte Anpassungsmittel (**508**) zum Anpassen von Kompensationsparametern des mindestens einen Kompensationsparametervektors aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal.

lungssignal.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

28. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend Suchmittel (**508**) zum Durchsuchen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich, des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Frequenzbereich und des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator nach vorgegebenen Signaleigenschaften.

29. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend Verzerrungsmittel (**508**) zum Durchführen einer Vorverzerrung im Zeitbereich in einem Polarkoordinatensystem.

30. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend Verzerrungsmittel (**508**) zum Durchführen einer Vorverzerrung im Zeitbereich und vierte Anpassungsmittel zum Anpassen des mindestens einen Parametervektors zur Kompensation im Zeitbereich in einem Polarkoordinatensystem.

31. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend vierte Bildungsmittel (**508**) zum Bilden des mindestens einen Zustandsexpansionsvektors, umfasst ferner einen Schritt des Einbeziehens einer Funktion, die ausgewählt wird aus mindestens einer der Funktionen für gedächtnisloses Vorverzerrern, für dynamisches Vorverzerrern, für gewichtetes dynamisches Integralvorverzerrern und für dynamische Vorverzerrung mit Wechselwirkung.

32. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend dritte Bildungsmittel (**508**) zum Bilden mindestens eines Parametervektors zur Kompensation im Quadraturmodulator unter Verwendung von mindestens einem der folgenden Parameter: Sendeleistung, Frequenz oder Bandbreite.

33. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend Mittel (**508**) zum Durchführen einer analogen Kompensation im Quadraturdemodulator.

34. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend: Filtermittel (**508**) zum Filtern des Rückkopplungssignals, um einen nichtlinearen Frequenzgang einer Rückkopplungskette auf ein Mindestmaß zu senken.

35. Sender nach Anspruch 19, ferner umfassend vierte Anpassungsmittel (**508**) zum Anpassen von mindestens einem Kompensationsparametervektor eines Rückkopplungsfilters aufgrund des Restfehlers zwischen dem Sendesignal und dem Rückkopplungssignal.

Anhängende Zeichnungen

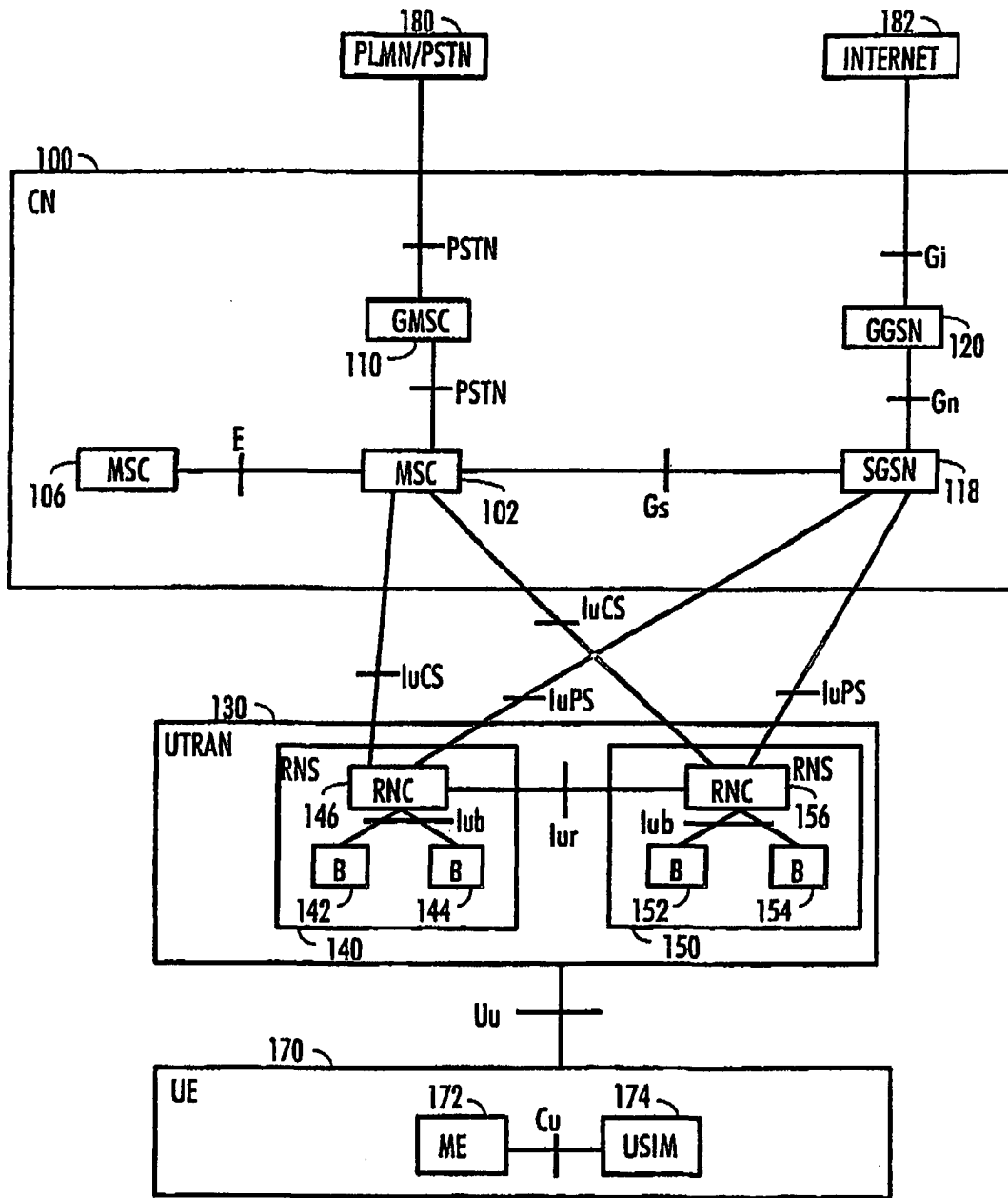


Fig. 1

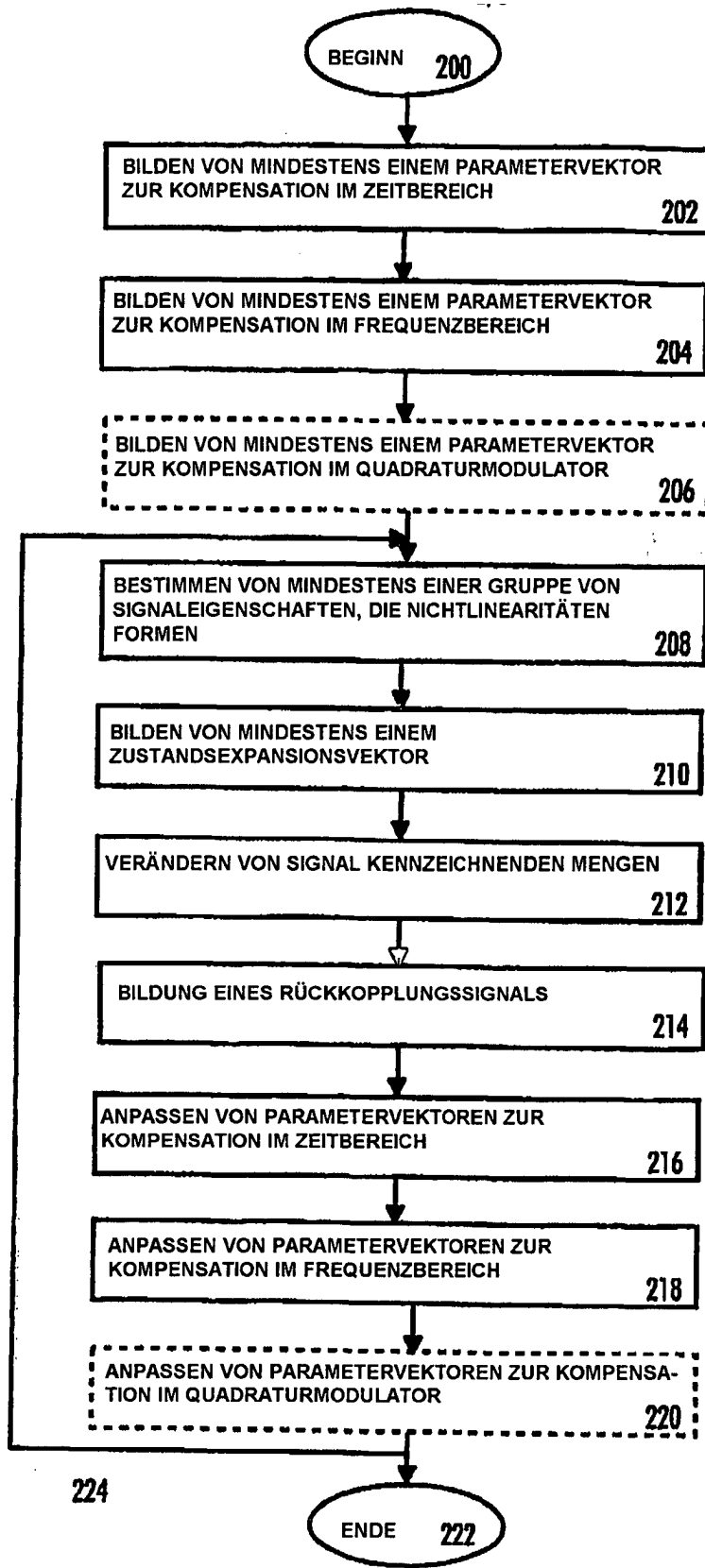


Fig. 2

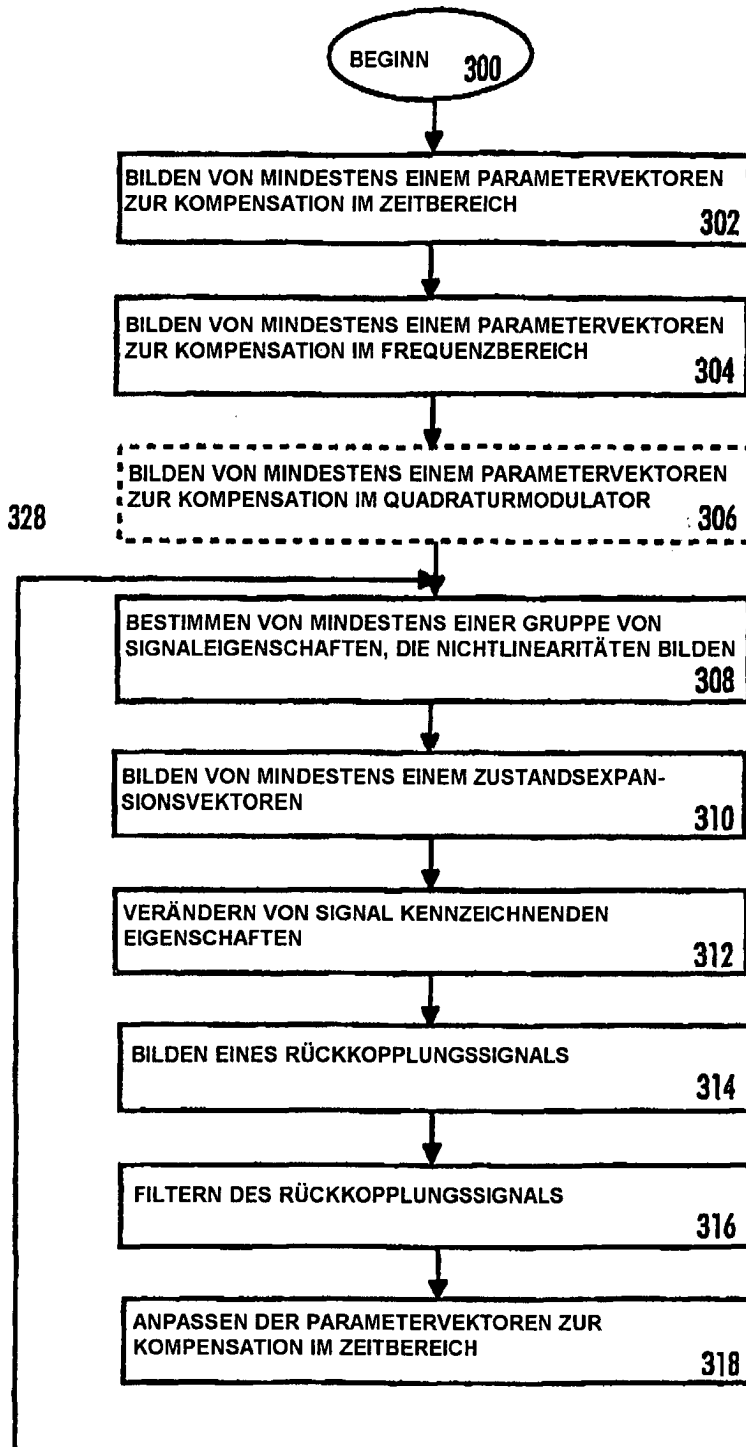


Fig. 3A

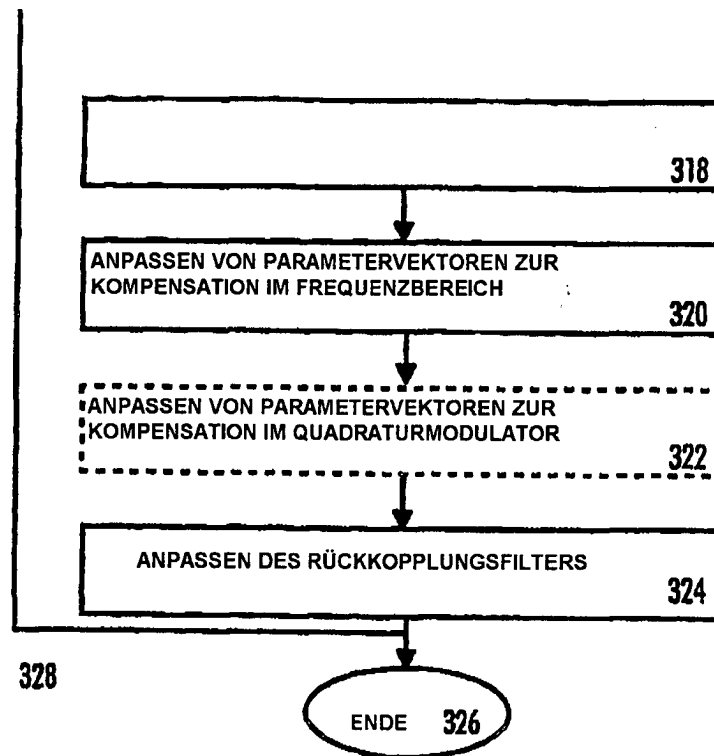


Fig. 3B

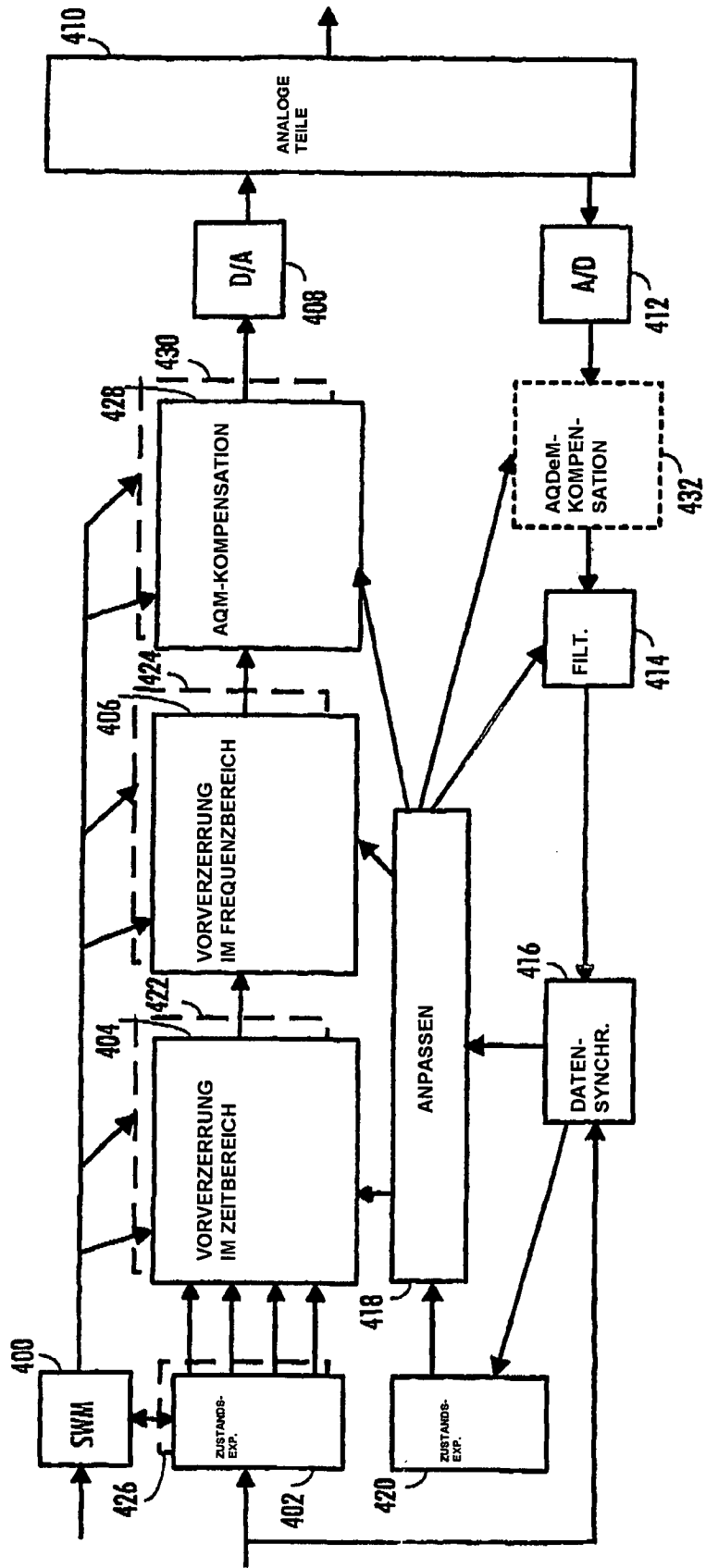


Fig. 4

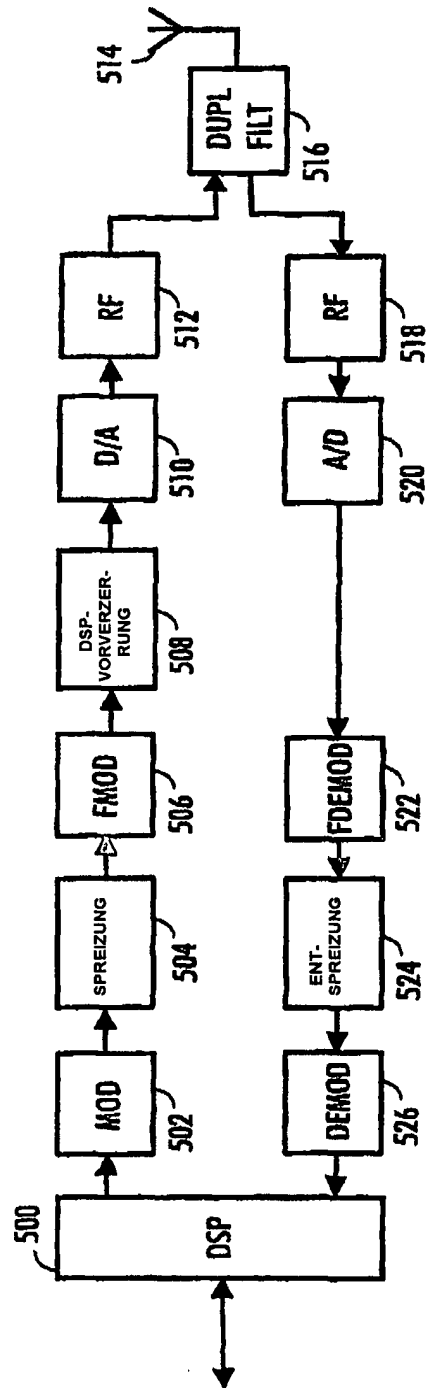


Fig. 5