



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 603 02 387 T2 2006.08.03

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 370 021 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 603 02 387.8

(96) Europäisches Aktenzeichen: 03 005 631.1

(96) Europäischer Anmeldetag: 12.03.2003

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 10.12.2003

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 23.11.2005

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 03.08.2006

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: H04L 1/20 (2006.01)

H04L 1/24 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

162405 03.06.2002 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:

Agilent Technologies, Inc., Palo Alto, Calif., US

(72) Erfinder:

Abramovitch, Daniel Yves, Palo Alto, US

(74) Vertreter:

BOEHMERT & BOEHMERT, 80336 München

(54) Bezeichnung: Messpunkt auswahl zur Erstellung eines Bitfehlerratediagramms

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 eingereicht, 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

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

#### Technisches Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft im allgemeinen das Erstellen von Diagrammen, die das Verhältnis zwischen variablen Größen darstellen, und betrifft insbesondere ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erstellen von Diagrammen, die die Beziehung zwischen der Bitfehlerrate eines digitalen Signals und einer oder mehreren variablen Größen wiedergibt.

**[0002]** Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren und eine Testvorrichtung zum Auswerten der Leistungsfähigkeit eines digitalen Kommunikationssystems gemäß den Oberbegriffen der jeweiligen Ansprüche 1 und 13. Ein Verfahren und eine Testvorrichtung dieses Typs sind aus der Veröffentlichung "New Method of Analyzing Eye Patterns and its Application to Highspeed Optical Transmission Systems", von Nishimoto H. et al., Journal of Lightwave Technology, IEEE, New York, USA, Band 6, Nr. 5, Mai 1988, Seiten 678–685, XP000759072, ISSN: 0733-8724 bekannt.

#### Beschreibung verwandten Standes der Technik

**[0003]** In Kommunikationssystemen kann eine Anzahl von Faktoren zu einer Verschlechterung der Qualität eines übertragenen Signals führen. Beispielsweise kann die Qualität eines Signals als Ergebnis eines oder mehrerer Mechanismen verschlechtert werden, die das Modulieren des Signals, das Übertragen des Signals und das Detektieren des Signals betreffen. Durch Auswerten der Signalverschlechterung in einem Kommunikationssystem kann die Leistungsfähigkeit eines bestimmten System verifiziert werden und die aus der Auswertung erhaltene Information kann zur Entwicklung neuer Systeme verwendet werden.

**[0004]** Testvorrichtungen für Bitfehlerraten (Bit Error Rate Testers, BERTs) werden häufig verwendet, um die Leistungsfähigkeit von digitalen Kommunikationssystemen auszuwerten (vergleiche "Fiber Optic Test and Measurement" von Derickson ed., Hewlett-Packard Professional Books, Upper Saddle River, 07458, NJ, USA, Prentice Hall PTR, 1998). Eine Testvorrichtung für Bitfehlerraten misst die Bitfehlerrate (Bit Error Rate, BER) für eine vorgegebene Einstellung von Steuervariablen, die mit einer zu überprüfenden Vorrichtung (Device Under Test, DUT) verknüpft sind. Ein Benutzer kann durch Auftragen der BER gegenüber verschiedenen Werten einer bestimmten Steuervariable die Spannen für diese Variable für eine vorgegebene Bitfehlerrate (BER) erstellen.

**[0005]** Beispielhafte Meßprozeduren führen zu Diagrammen, die als "V-Kurven", "Badewannen-Kurven" und "Augen-Diagramme" bezeichnet werden. Um eine V-Kurve zu erstellen, variiert der Benutzer eine Vorspannung, während andere Variablen konstant gehalten werden. Um eine Badewannen-Kurve zu erzeugen, variiert der Benutzer das Bit-Timing, während die anderen Variablen konstant gehalten werden. Um ein Augen-Diagramm zu erstellen, wird eine bestimmte Wiedergabe der Bitfehlerrate bezogen auf einem Kontrollvariablen-Paar aufgetragen. Beispielsweise kann eine Versatzzeit bzw. Offset-Zeit entlang der x-Achse und eine Vorspannung entlang der y-Achse aufgetragen werden. Die an den aufgetragenen Punkten vorliegende Bitfehlerrate kann dann in verschiedenen Weisen dargestellt werden, beispielsweise als Farbabbildung, Konturdarstellung oder als eine dreidimensionale Wiedergabe.

### ABRISS DER ERFINDUNG

**[0006]** Die vorliegende Erfindung sieht ein Verfahren zum Auswerten der Leistungsfähigkeit eines digitalen Kommunikationssystems nach Anspruch 1 sowie eine Testvorrichtung nach Anspruch 13 vor.

**[0007]** Erfindungsgemäße Ausführungen sehen ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erstellen eines Diagramms vor, welches eine Beziehung zwischen variablen Größen wiedergibt, wodurch das Diagramm mit einer beschränkten Anzahl an Meßpunkten und in einer reduzierten Zeitdauer genau erstellt werden kann.

**[0008]** Ein Verfahren zum Erstellen eines Diagramms, welches eine Beziehung zwischen variablen Größen gemäß der Erfindung wiedergibt, umfaßt das Vorsehen wenigstens eines ersten Meßpunkts, an dem die Beziehung zwischen variablen Größen für das anfängliche Erstellen des Diagramms gemessen wird. Danach wird wenigstens eine Stelle ausgewählt, an der die Beziehung zwischen den variablen Größen gemessen werden soll, wobei die wenigstens eine Stelle als eine Funktion des wenigstens einen ersten Meßpunktes ausge-

wählt wird. Die Beziehung zwischen den variablen Größen wird daraufhin an der wenigstens einen Stelle gemessen, um wenigstens einen weiteren Meßpunkt zum weiteren Erstellen des Diagramms vorzusehen.

**[0009]** Es wurde erkannt, daß durch intelligentes Auswählen der Stellen, an denen die Beziehungen zwischen den variablen Größen gemessen werden sollen, ein Diagramm, das die Beziehungen zwischen den variablen Größen genau wiedergibt, effizient erstellt werden kann. Die intelligente Auswahl der Meßpunkte kann beispielsweise eine Verringerung der Anzahl der Meßpunkte ermöglichen, die zum genauen Erstellen des Diagramms erforderlich sind,, und sie kann ferner ermöglichen, daß das Diagramm in kürzerer Zeit erstellt werden kann, als es mit üblichen Diagramm-Erstellungsprozeduren möglich ist.

**[0010]** Ferner sieht die Erfindung Ausführungen mit anderen Merkmalen und Vorteilen vor, die zu den oben betrachteten hinzu oder an deren Stelle treten. Viele dieser Merkmale oder Vorteile ergeben sich aus der folgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die folgenden Zeichnungen.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0011]** [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm, das eine Testvorrichtung für Bitfehlerraten schematisch darstellt;

**[0012]** [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) zeigen beispielhafte V-Kurven-Diagramme, welche die Beziehung zwischen der Bitfehlerrate eines digitalen Signals, das von einer zu überprüfenden Einrichtung stammt, und der Vorspannung darstellt, und die dazu dienen, die Erfindung näher zu erläutern;

**[0013]** [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) zeigen beispielhafte Badewannen-Diagramme, welche die Beziehung zwischen der Bitfehlerrate eines digitalen Signals, das von einer zu überprüfenden Einrichtung stammt, und der Versatzzeit wiedergibt, und dazu dienen, die Erfindung näher zu erläutern;

**[0014]** [Fig. 6](#) bis [Fig. 9](#) zeigen beispielhafte Augen-Diagramme, welche die Beziehung zwischen der Bitfehlerrate eines digitalen Signals, das von einer zu überprüfenden Einrichtung stammt, der Vorspannung und der Versatzzeit wiedergibt, und die dazu dienen, die Erfindung näher zu erläutern;

**[0015]** [Fig. 10A–Fig. 10C](#) zeigen Schritte eines Verfahrens zum Erstellen eines V-Kurven-Diagramms gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung;

**[0016]** [Fig. 11A–Fig. 11C](#) zeigen schematische Schritte eines Verfahrens zum Erstellen eines Badewannen-Kurvendiagramms gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung;

**[0017]** [Fig. 12](#) zeigt schematisch ein beispielhaftes, mittels Raster erzeugtes Augen-Diagramm, das dazu dient, die Erfindung näher zu erläutern;

**[0018]** [Fig. 13A–Fig. 13E](#) zeigen schematisch Schritte eines Verfahrens zum Erstellen eines Augen-Diagramms gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung;

**[0019]** [Fig. 14A–Fig. 14E](#) zeigen Schritte eines Verfahrens zum Erstellen eines Augen-Diagramms gemäß einer weiteren Ausführung der vorliegenden Erfindung;

**[0020]** [Fig. 15A–Fig. 15E](#) zeigen Schritte eines Verfahrens zum Erstellen eines Augen-Diagramms gemäß einer weiteren Ausführung der vorliegenden Erfindung; und

**[0021]** [Fig. 16](#) ist ein Flußdiagramm, das die Schritte eines Verfahrens zum Erstellen eines Diagramms zeigt, welches die Beziehung zwischen variablen Größen gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung wiedergibt.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEISPIELHAFTEN AUSFÜHRUNGEN DER ERFINDUNG

**[0022]** Die Ausführungen gemäß der vorliegenden Erfindung sehen ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erstellen eines Diagramms vor, welches das Verhältnis zwischen variablen Größen wiedergibt, und mittels dessen genaue Diagramme in einer verkürzten Zeitdauer erstellt werden können, wobei im Vergleich zu üblichen Diagramm-Erstellungsprozeduren nur eine begrenzte Anzahl von Meßpunkten verwendet wird.

**[0023]** Vor der Darlegung einer detaillierten Beschreibung ist es zweckdienlich, einige Begriffe zu definieren,

die in dieser Beschreibung verwendet werden, um das exakte Verständnis der vorliegenden Erfindung zu vereinfachen.

**[0024]** BER: Bitfehlerrate bzw. Bitfehlerverhältnis (Bit Error Rate/Bit Error Ratio). Im wesentlichen ein Maß für die Anzahl fehlerhaft empfanger Bits bezogen auf die Gesamtanzahl der empfangenen Bits.

**[0025]** Augen-Diagramm/Augen-Abbildung/Augen-Kontur: Eine dreidimensionale Darstellung der Bitfehlerraten-Werte in Bezug auf zwei Kontrollvariablen. Übliche Augen-Diagramme werden unter Verwendung von Oszilloskopen erstellt. In digitalen Oszilloskopen wird eine dreidimensionale graphische Darstellung erzeugt, indem das Oszilloskop mittels der Daten getriggert wird (oder mittels eines Takts, der von den Daten abgeleitet wird) und indem erweiterte Nachleuchtfunktionen verwendet werden. Wenn der Oszilloskopstrahl durch ein bestimmtes Pixel läuft, wird in einer "Pixel-Datenbank" ein Zähler inkrementiert. Die dritte Dimension wird unter Verwendung von Pixel-Falschfarben dargestellt, um die Auftreffsfrequenz eines bestimmten Pixels darzustellen. Die Verteilung von Pixeln, die von Daten-Kurven stammen, ähnelt üblicherweise einem Auge, wobei die Größe der Augenöffnung einen Schätzwert für das Bitfehlerverhältnis (BER) vorsieht. Zum Zwecke dieser Anmeldung werden "Augen-Diagramme" von einer BER-Vorrichtung erzeugt, die das BER für verschiedene Werte zweier Steuervariablen mißt. Die BER-Messungen werden daraufhin in einem zweidimensionalen Muster aufgetragen. Die dritte Dimension kann mittels einer dreidimensionalen Oberflächendarstellung, mittels einer Falschfarben-Abbildung auf einem zweidimensionalen Raster, oder mittels einer Konturabbildung auf einem zweidimensionalen Raster vorgesehen werden. Diese werden ferner manchmal als "Augen-Abbildungen" („Eye Maps“) oder "Augen-Konturverläufe" („Eye Contours“) bezeichnet.

**[0026]** Filtern: Ein Verfahren zum Entfernen bestimmter Komponenten aus Daten, die sich im allgemeinen auf bestimmte Frequenzen beziehen. Relativ bekannt sind Tiefpaß-, Hochpaß- und Bandpaßfilter. Diese sind für tiefe Frequenzen, hohe Frequenzen und Daten in einer jeweiligen spezifizierten Frequenz durchlässig. Das Filtern abgetasteter Daten findet statt, indem die Daten mit vorangegangenen Datenwerten kombiniert werden. Das Filtern verwendet sozusagen nur kausale Daten. Diese Kombination ist oftmals linear.

**[0027]** Glätten (Smoothing): Ähnlich wie Filtern, bis auf die Tatsache, daß Filtern sowohl kausale als auch anti-kausale Daten berücksichtigt. Mit anderen Worten kann das Glätten eines Datenabtastpunkts zum Zeitpunkt  $t_k$  die Abtastpunkte zu den Zeitpunkten vor  $t_k$  und nach  $t_k$  verwenden.

**[0028]** Oberfläche: Zum Zwecke dieser Anmeldung bezieht sich der Begriff Oberfläche auf eine Funktion von zwei (oder von möglicherweise mehreren) Variablen. Die Darstellung einer Oberfläche ist ein dreidimensionales Diagramm. In der folgenden Beschreibung sind die Eingangsvariablen höchstwahrscheinlich der Schwellwertspannungs-Versatz (threshold voltage offset) und Zeitversatz (time offset). Die Ausgabe der Funktion, d.h., der Oberflächenwert an diesem Punkt, ist das Bitfehlerverhältnis.

**[0029]** Kurvenanpassung: In diesem Dokument bedeutet Kurvenanpassung (curve fit) der Prozeß, durch den die Parameter einer analytischen Funktion so eingestellt werden, daß der Abstand zwischen einem Punktesatz und Punkten, die von der analytischen Funktion erzeugt werden, minimiert ist.

**[0030]**  $\|\cdot\|^p$ : Dies ist die p-Norm, eine Form von Abstandsmessung. Für einen Vektor der Länge n, beispielsweise  $u = [\mu_1, \mu_2, \dots \mu_n]'$ , ergibt sich die p-Norm zu

$$\|u\|^p = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^n |\mu_i|^p}.$$

Wenn  $p = 1$  ist, entspricht die p-Norm der Summe der Absolutwerte der Vektorelemente. Wenn  $p = 2$  ist, entspricht die p-Norm dem Produkt eines Vektors mit seiner komplex-konjugiert Transponierten (im Falle von komplexen Zahlen), und wird verwendet, um den euklidischen Abstand zu berechnen. Wenn  $p = \infty$ , dann wählt die p-Norm das Element mit dem größten Absolutwert.

**[0031]** Raster: Im Rahmen dieser Anmeldung ist ein Raster ein sequentieller Durchlauf durch einen rechteckigen Bereichs in einheitlich voneinander beabstandeten Schritten. Ein Rasterverfahren zum Erzeugen von Meßpunkten führt zu einem gleichmäßigen Meßpunkt raster über einen bestimmten (typischerweise rechteckigen) Bereich.

**[0032]** Bitfehlerraten-Testvorrichtungen (Bit Error Rate Testers, BERTs) werden oft verwendet, um die Leistungsfähigkeit digitaler Kommunikationssysteme zu bewerten. [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm, das eine Bitfehlerraten-Testvorrichtung schematisch in einer deutlich vereinfachten Form darstellt. Die Testvorrichtung ist im

allgemeinen mit dem Bezugszeichen **10** bezeichnet und umfaßt einen Mustergenerator **12** und einen Fehleranalysator **14**, die mittels der zu überprüfenden Testvorrichtung (Device Under Test, DUT) **16** verbunden sind. Die DUT kann beispielsweise eine oder mehrere Komponenten eines digitalen Kommunikationssystems sein, beispielsweise ein digitales optisches Übertragungssystem. Der Mustergenerator **12** erzeugt ein vorbestimmtes Datenmuster, das als Eingabe für die DUT vorgesehen ist. Der Fehleranalysator **14** empfängt das Datenmuster von der DUT, vergleicht das empfangene Datenmuster mit einem vorbestimmten Datenmuster und mißt das Bitfehlerrateverhältnis (bit error ratio, BER), das hier und im Stand der Technik oftmals als "Bitfehlerrate" (bit error rate) bezeichnet wird.

**[0033]** Der Mustergenerator **12** umfaßt eine Taktquelle **18**, die die Datenerzeugung triggert. Um einen Bitfehlerratentest auszuführen, wird der Fehleranalysator **14** mit der gleichen Rate getaktet, wie der von dem Mustergenerator stammende Datenstrom. Das Takten des Fehleranalysators **14** ist in der [Fig. 4](#) als Taktwiederherstellung **20** dargestellt und wird entweder durch Triggern des Fehleranalysators **14** mittels der Taktquelle **18** durchgeführt, die den Mustergenerator **12** triggert, wie es durch die Leitung **22** dargestellt ist, oder durch Betreiben des Fehleranalysators mit einem Takt, der aus den Daten wiederhergestellt wurde, wie es durch Leitung **24** angegeben ist. Die Taktauswahl hängt von der einzelnen Anwendung und der Nähe des Fehleranalysators **14** zu dem Mustergenerator **12** ab. Bitfehlerratentest können durchgeführt werden, auch wenn der Fehlergenerator körperlich durch einen großen Abstand von dem Fehlergenerator getrennt ist, beispielsweise durch eine Entfernung von Hunderten oder sogar Tausenden von Meilen. In einer solchen Situation ist das Wiederherstellen des Takts aus den Daten die naheliegendere Wahl. Wenn der Mustergenerator und der Fehleranalysator nahe beieinander angeordnet sind, kann der Mustergenerator und der Fehleranalysator mit der selben Taktquelle gespeist werden.

**[0034]** In einer Bitfehlerraten-Testvorrichtung, wie sie die [Fig. 1](#) zeigt, ist das Datenmuster, das von dem Mustergenerator **12** an die DUT **16** gesendet wird, ein bekanntes Muster. Die üblichsten Mustertypen umfassen eine Pseudozufall-Bitfolge (Pseudo Random Bit Sequence, PRBS), eine Pseudozufall-Wortfolge (Pseudo Random Word Sequence, PRWS) und speicherbasierte Muster. Speicherbasierte Muster sind Muster, die in einen Speicher geladen werden, bevor der Test ausgeführt wird, um diese während des Tests sequentiell auszulesen.

**[0035]** Der Bitfehlerratentester **10** mißt die Bitfehlerrate für eine vorgegebene Einstellung der Steuervariablen, die mit der DUT assoziiert sind, beispielsweise Spannung und Timing. Sobald die Möglichkeit zur Messung einer Bitfehlerrate für eine bestimmte Einstellung von Steuervariablen vorgesehen wurde, ist es oft möglich, daß ein Benutzer die Fehlerbereiche mit der DUT messen möchte. Um dies auszuführen, variiert der Benutzer eine oder mehrere Steuervariablen und mißt das BER bei jeder Einstellung. Beispielsweise durch Auftragen des BERs gegenüber verschiedenen Werten einer bestimmten Steuervariablen kann der Benutzer die Bereiche der Variable für ein bestimmtes BER erzielen.

**[0036]** Eine beispielhafte Meßprozedur führt zu einem Diagramm, das "V-Kurve" genannt wird. In diesem Meßverfahren variiert der Benutzer lediglich eine Schwellenspannung, während andere Variablen konstant gehalten werden. Das Auftragen der BER-Messungen gegenüber der Schwellenspannung bildet üblicherweise eine Kurve, die einem "V" ähnelt, wobei manchmal die Spitze des Vs fehlt und so ein abgeschnittenes V gebildet wird. Wenn die Schwellenspannung entlang x-Achse und das BER entlang der y-Achse aufgetragen wird, kann der Benutzer eine zufriedenstellende BER-Höhe finden und daraufhin horizontal das Diagramm durchlaufen, um den Spannungsbereich bei dieser BER zu finden. Die [Fig. 2](#) zeigt ein beispielhaftes V-Kurven-Diagramm **30**, das erstellt wurde, indem eine beschränkte Anzahl von Meßpunkten verwendet wurde, wobei die Messungen hinsichtlich Hardware ausgeführt wurden, die sehr wenige Fehler durch Grundrauschen („noise floor“) aufweisen. Die [Fig. 3](#) zeigt ein beispielhaftes V-Kurven-Diagramm **35**, das mittels einer größeren Anzahl von Meßpunkten erzeugt wurde, wobei Messungen an einer Hardware gemacht wurden, die ein gehobenes Grundrauschen aufweist. Es ist zu erkennen, daß die Öffnung des Vs in der Kurve von [Fig. 3](#) wesentlich schmäler als die Öffnung des Vs in der Kurve der [Fig. 2](#) ist.

**[0037]** Ein weiterer Meßprozedurstyp führt zu einem Diagramm, das als "Badewannen-Kurve" bezeichnet wird. Bei dieser Meßprozedur variiert der Benutzer lediglich das Bit-Timing, während alle anderen Variablen konstant bleiben. Messungen der BER gegenüber dem Zeitversatz bilden typischerweise eine Kurve, die in gewisser Weise dem Profil einer Badewanne ähnelt und kann auch abgeschnitten sein. Wenn der Zeitversatz entlang der x-Achse und die BER entlang der y-Achse aufgetragen ist, kann der Benutzer eine zufriedenstellende BER-Höhe finden und daraufhin horizontal das Diagramm durchlaufen, um den Timing-Bereich für diese BER zu erhalten. Die [Fig. 4](#) zeigt ein beispielhaftes Badewannen-Kurvendiagramm **40**, das mittels einer beschränkten Anzahl von Meßpunkten erzeugt wurde, wobei Messungen bezüglich Hardware mit einem sehr geringen

Grundrauschen ausgeführt wurden: Die [Fig. 5](#) zeigt ein beispielhaftes Badewannen-Kurven-Diagramme **45**, das erzeugt wurde, indem eine größere Anzahl von Meßpunkten verwendet wurde, wobei die Messungen an einer Hardware ausgeführt wurden, die ein gehobenes Grundrauschen aufweist. Es sollte wiederum bemerkt werden, daß die Öffnung am unteren Ende der Badewannen-Kurve in [Fig. 5](#) im Vergleich zu der Öffnung am unteren Ende der Badewannen-Kurve in [Fig. 4](#) schmal ist.

**[0038]** Eine dritte Meßprozedur sieht ein Diagramm vor, das als "Augen-Diagramm" bekannt ist. Obwohl Augen-Diagramme typischerweise mit Oszilloskopen verknüpft sind, kann eine BERT-Version eines Augen-Diagramms erzeugt werden, die manchmal als "Augen-Darstellung" oder "Augen-Konturverlauf" bezeichnet wird, indem die gleiche Darstellung des BERs bezogen auf ein Paar Steuervariablen aufgetragen wird. Beispielsweise kann der Zeitversatz (time delay) entlang der x-Achse und die Schwellspannung entlang der y-Achse aufgetragen sein. Die BER kann an den aufgetragenen Punkten daraufhin in verschiedenen Weisen dargestellt werden, beispielsweise als Farbdarstellung, als Konturverlaufauftragung oder als eine beliebige Darstellung einer Vielzahl dreidimensionaler Darstellungen.

**[0039]** Die [Fig. 6](#) bis [Fig. 9](#) zeigen beispielhafte Augen-Diagramme, in denen der Zeitversatz der x-Achse aufgetragen ist, die Schwellspannung auf der y-Achse aufgetragen ist und die BER als Konturverlaufsdarstellung wiedergegeben ist. Insbesondere zeigt die [Fig. 6](#) ein beispielhaftes Augen-Diagramm **50**, welches Messungen aufweist, die an einer Hardware mit sehr geringem Grundrauschen und einer beschränkten Anzahl von Punkten (48 Punkte) ausgeführt wurden. Die [Fig. 7](#) zeigt ein beispielhaftes Augen-Diagramm **51**, das ebenfalls an einer Hardware ausgeführt wurde, die eine sehr geringe Fehlerzahl durch Grundrauschen aufweist, jedoch eine große Anzahl von Meßpunkten (377 Punkte) aufweist. Die [Fig. 8](#) zeigt ein beispielhaftes Augen-Diagramm **55** mit Meßpunkten, die an einer Hardware mit gehobenem Grundrauschen und einer beschränkten Anzahl von Abtastpunkten (48 Punkte) ausgeführt wurde. Die [Fig. 9](#) zeigt ein beispielhaftes Augen-Diagramm **56** mit Messungen, die ebenfalls bezüglich Hardware mit gehobenem Grundrauschen ausgeführt wurden, jedoch mit einer großen Anzahl von Abtastpunkten (322 Punkte). Es ist zu bemerken, daß die Öffnung in dem "Auge" in den Darstellungen der [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#), d.h., der offene Abschnitt der Darstellung, im Vergleich zu der Öffnung des "Auges" der Darstellungen der [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) schmal ist.

**[0040]** Das Erstellen einer Darstellung, die das Verhältnis unter verschiedenen Größen wiedergibt, beispielsweise die V-Kurven-Diagramme der [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#), die Badewannen-Kurven-Diagramme der [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) und die Augen-Diagramme der [Fig. 6](#) bis [Fig. 9](#) erfordern das Auftragen einer Vielzahl von Meßpunkten. Jeder der Meßpunkte der [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) stellt die BER zu einem bestimmten Schwellspannungswert dar. In gleicher Weise stellt jeder der Meßpunkte in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) die BER zu einem bestimmten Zeitversatzwert dar; und die Meßwerte der [Fig. 6](#) bis [Fig. 9](#) stellen die Verhältnisse zwischen der BER und einer bestimmten Schwellenspannung zu einem Zeitversatz dar. Aus den [Fig. 2](#) bis [Fig. 9](#) ergibt sich, daß die Diagramme das Verhältnis zwischen den variablen Größen je genauer angeben, desto größer die Anzahl der Meßpunkte ist, die zum Erstellen des Diagramms verwendet werden. Es ist ferner aus den Figuren ersichtlich, daß jedoch viele der zusätzlichen Meßpunkte dazu neigen, wenig zusätzliche Information vorzusehen.

**[0041]** Um eine bestimmte Bitfehlerrate zu erstellen, beispielsweise die Bitfehlerrate bei einer bestimmten Schwellwertspannung oder bei einem bestimmten Zeitversatz, müssen eine gewisse Anzahl von Bitfehlern gemessen werden. Wenn die Bitfehlerrate hoch ist, kann die Messung einer ausreichenden Anzahl von Bitfehlern, um eine Bitfehlerrate statistisch zu erstellen, relativ einfach ausgeführt werden. Wenn jedoch die Bitfehlerrate niedrig ist, führt die Bitfehlerrate zu Einschränkungen.

**[0042]** Um beispielsweise 100 Bitfehler in einem Signal zu messen, das eine Bitfehlerrate von  $10^{-6}$  aufweist (d.h., ein Bitfehler pro  $10^6$  Bits), müssen in der Größenordnung von  $10^8$  Bits gemessen werden. Bei einer Bitrate von 10 Gbps erfordert dies ungefähr 0,01 Sekunden. Bei einer Bitrate von 10 Mbps erfordern die Messungen ungefähr 10 Sekunden. Die Tabelle 1 zeigt verschiedene Meßzeiten, die zum Messen von 10 Bitfehlern und von 100 Bitfehlern bei verschiedenen Bitraten und Fehlerraten erforderlich sind. Aus der Tabelle 1 ergibt sich, daß eine geringe Bitfehlerrate wesentlich längere Meßzeiten nach sich zieht, als hohe Bitfehlerraten.

<b>Fehlerrate</b>	<b>Bitrate</b>	<b><u>Meßzeit</u></b>	
		<b>10 Fehler</b>	<b>100 Fehler</b>
$10^{-6}$	10 Mbps ( $10^7$ bps)	1 s	10 s
$10^{-6}$	10 Gbps ( $10^{10}$ bps)	0,001 s	0,01 s
$10^{-9}$	10 Gbps ( $10^{10}$ bps)	1 s	10 s
$10^{-9}$	40 Gbps ( $4 \times 10^{10}$ bps)	0,25 s	2,5 s
$10^{-10}$	40 Gbps ( $4 \times 10^{10}$ bps)	2,5 s	25 s
$10^{-11}$	40 Gbps ( $4 \times 10^{10}$ bps)	25 s	250 s
$10^{-12}$	40 Gbps ( $4 \times 10^{10}$ bps)	250 s	2500 s

Tabelle 1

**[0043]** Bei einigen Meßverfahren ist die Zeit begrenzt, in der die Bitfehler zum Ermitteln der Bitfehlerrate gemessen werden, um die Gesamtmeßzeit zu verringern, die zum Erstellen eines Diagramms erforderlich ist. Insbesondere wenn die Bitfehlerrate niedrig ist, kann die begrenzte Zeit nicht ausreichend sein, um eine geeignete Messung von Bitfehlern auszuführen, um eine genaue Bitfehlerrate statistisch vorzusehen, wobei dies zu einem unrichtigen Diagramm führen kann.

**[0044]** Die [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) zeigen schematisch die Schritte eines Verfahrens zum Erstellen eines V-Kurven-Diagramms gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung. Insbesondere die [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) sind Darstellungen, die die Schritte eines Verfahrens zum Erstellen eines V-Kurven-Diagramms **80** (in [Fig. 10C](#) dargestellt) wiedergeben, welches die Beziehung zwischen der Bitfehlerrate (BER) eines digitalen Signals, das von einer zu überprüfenden Vorrichtung (device under test, DUT) stammt, und der Schwellenspannung wiedergibt, beispielsweise eine Bitfehlerraten-Testvorrichtung, wie sie in [Fig. 1](#) dargestellt ist. In den [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) ist eine Offsetspannung bzw. Versatzspannung entlang der x-Achse aufgetragen, und die Bitfehlerrate ist entlang der y-Achse aufgetragen.

**[0045]** Als erster Schritt in diesem Verfahren wird zumindest ein erster Meßpunkt vorgesehen, der die Beziehung zwischen der Schwellenspannung und der BER wiedergibt. In den Ausführungen, die in den [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) dargestellt sind, sind die ersten vier Meßpunkte **61**, **62**, **63** und **64** vorgesehen, wobei dies lediglich als Beispiele dienen soll. Zumindest der erste Meßpunkt kann eine beliebige Anzahl von Meßpunkten umfassen, abhängig von dem Wesen des zu erstellenden Diagramms, den Bedürfnissen eines bestimmten Benutzers und anderer Faktoren. Wenn ein V-Kurven-Diagramm erzeugt wird, wird jedoch üblicherweise bevorzugt, daß der erste Meßpunkt zumindest vier Meßpunkte umfaßt, um zu ermöglichen, daß ein V-Kurven-Diagramm, wie das anfängliche V-Kurven-Diagramm **60** der [Fig. 10A](#), durch die ersten Meßpunkte definiert werden kann.

**[0046]** Die erste Vielzahl von Meßpunkten **61** bis **64** kann vorgesehen werden, indem die gewünschten Schwellenspannungswerte gewählt werden, woraufhin die BERs an jedem der gewählten Schwellenspannungswerte gemessen werden. Wenn die ersten Meßpunkte, die in dieser Weise vorgesehen werden, umfaßt die Schwellenspannung eine Steuervariable, und die BER umfaßt eine Ausgangsvariable.

**[0047]** Die Auswahl der variablen Steuerwerte, an denen die variablen Ausgangswerte gemessen werden, können auf einem oder auf mehreren Kriterien basieren. Wenn beispielsweise ein V-Kurven-Diagramm erstellt werden soll, ist es üblicherweise wünschenswert, die ersten Meßpunkte so vorzusehen, daß diese sowohl positive als auch negative Schwellenspannungswerte aufweisen, so daß anfangs mittels der ersten Meßpunkte die beiden Arme der V-Kurve definiert werden. Es kann ferner wünschenswert sein, die ersten Meßpunkte an Stellen vorzusehen, die deutlich voneinander beabstandet sind, so daß das anfängliche V-Kurven-Diagramm einen großen Abschnitt des gesamten Meßbereichs des Diagramm überdeckt. Ferner kann es wünschenswert sein, die variablen Steuerwerte zu wählen, an denen die Beziehung zwischen der Schwellenspannung und der BER relativ einfach gemessen werden kann (beispielsweise an Stellen, an denen die BER-Werte relativ hoch sind).

**[0048]** Nachdem eine erste Vielzahl von Meßpunkten **61** bis **64** vorgesehen wurde, wird zumindest eine Stelle

ausgewählt, an der die Beziehung zwischen der Schwellenspannung und der BER gemessen werden soll. Jede der zumindest einen Stelle wird als Funktion der ersten Vielzahl von Meßpunkten **61** bis **64** ausgewählt. Insbesondere definieren die ersten Meßpunkte **61** bis **64** das anfängliche V-Kurven-Diagramm **60**, wie in [Fig. 10A](#) dargestellt ist, das visualisiert werden kann, indem die Linien **65** und **66** gezogen werden, um die Punkte **61** und **62** bzw. die Punkte **63** und **64** jeweils zu verbinden. Wie durch die gepunkteten Linien in [Fig. 10A](#) dargestellt ist, können die Linien **65** und **66** auch über die Meßpunkte hinaus erstreckt werden, falls dies erwünscht ist, um das anfängliche V-Kurven-Diagramm **60** weiter zu definieren. Das anfängliche V-Kurven-Diagramm **60** wird daraufhin verwendet, um wenigstens eine Stelle zu wählen, an der die Beziehung zwischen der Schwellenspannung und der BER gemessen werden soll.

**[0049]** In der Ausführung, die in den [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) dargestellt ist, wird ein anfängliches V-Kurven-Diagramm **60** verwendet, um Stellen **71a** und **72a** auszuwählen, an denen die Beziehung zwischen der Schwellenspannung und der BER gemessen werden soll. Wie in [Fig. 10A](#) dargestellt ist, sind die Stellen **71a** und **72a** auf den Linien **65** und **66** des anfänglichen V-Kurven-Diagramms **60** angeordnet, so daß diese im wesentlichen gleichmäßig zwischen den jeweiligen Meßpunkten **61** und **62** sowie **63** und **64** beabstandet sind. Das Verhältnis zwischen den variablen Größen wird daraufhin an den Stellen **71a** und **72a** gemessen, um die Positionen weiterer Meßpunkte zu bestimmen, um das V-Kurven-Diagramm genauer zu definieren. Wie oben bemerkt, kann dies ausgeführt werden, indem entweder die BER und die Schwellenspannungswerte gemessen werden, die an den Stellen **71a** und **72a** spezifiziert sind.

**[0050]** Nachdem die Messungen durchgeführt wurden, sind die tatsächlichen Positionen der weiteren Meßpunkte bekannt und können in der Darstellung aufgetragen werden, um das V-Kurven-Diagramm genauer zu definieren. Daher zeigt die [Fig. 10B](#) ein genaueres V-Kurven-Diagramm **70**, das erzeugt wurde, indem eine erste Vielzahl von Meßpunkten **61** bis **64** und weitere Vielzahlen von Meßpunkten **71b** und **72b** verwendet wurden.

**[0051]** Bei Verwendung des genaueren V-Kurven-Diagramms **70** der [Fig. 10B](#) können noch weitere Stellen, an denen die Beziehung zwischen der Schwellenwertspannung und der BER zu messen sind, ausgewählt werden, um weitere Meßpunkte auszuwählen, um die Genauigkeit des V-Kurven-Diagramms weiter zu verbessern. Solche weiteren Stellen sind in der [Fig. 10B](#) mit den Bezugszeichen **75a** und **76a** bezeichnet und umfassen Stellen auf dem verbesserten V-Kurven-Diagramm **70**. Nachdem die Beziehung zwischen der Schwellenwertspannung und der BER an den Stellen **75a** und **76a** gemessen wurde, sind die Stellen der weiteren Meßpunkte bekannt und können auf der Darstellung aufgetragen werden, um das V-Kurven-Diagramm weiter zu verbessern. Die [Fig. 10C](#) zeigt ein weiter verbessertes V-Kurven-Diagramm **80**, das erstellt wurde, indem die vorher vorgesehenen Meßpunkte **61** bis **75** und **71b** und **72b**, sowie weitere Meßpunkte **75b** und **76b** verwendet wurden.

**[0052]** Wenn das V-Kurven-Diagramm **80** der [Fig. 10C](#) detailliert genug ist, um die bestimmten Anforderungen des Nutzers zu befriedigen, ist das Verfahren zum Erstellen eines V-Kurven-Diagramms abgeschlossen. Wenn jedoch ein noch genaueres V-Diagramm erwünscht ist, werden die Schritte des Auswählens weiterer Stellen, an denen die Beziehung zwischen der Schwellenwertspannung und der BER gemessen werden soll, und des Messens der Beziehung an den weiteren Stellen, um zusätzliche Meßpunkte vorzusehen, so oft wie erforderlich wiederholt, bis sich ein ausreichend genaues V-Kurven-Diagramm ergibt. Beispiele für weitere Stellen, an denen Messungen durchgeführt werden können, um eingenaueres V-Kurven-Diagramm zu erstellen, sind in [Fig. 10C](#) mit den Punkten **77a** und **78a** dargestellt. Im allgemeinen wird gemäß den Ausführungen der [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) ein V-Kurven-Diagramm, beispielsweise das V-Kurven-Diagramm **80**, schrittweise iterativ erstellt. Als Ergebnis jeder Iteration wird zumindest ein weiterer Meßpunkt als Funktion aller vorherig vorgesehenen Meßpunkte vorgesehen. Mit anderen Worten werden die Stellen, an denen die Beziehungen zwischen der Schwellenwertspannung und der BER in jeder Iteration gemessen werden, gemäß einer gewissen Abhängigkeit von den vorher vorgesehenen Meßpunkten ausgewählt, anstatt das Diagramm einfach mittels eines Rasterverfahrens zu erstellen, wie es bei üblichen Verfahren zum Erstellen von V-Kurven-Diagrammen durchgeführt wird.

**[0053]** Durch intelligente Auswahl der Stellen, an denen die Messungen gemacht werden sollen, ist es oft möglich, ein Diagramm zu erstellen, das die Beziehungen zwischen den variablen Größen genau wiedergibt, wobei weniger Meßpunkte als bei üblichen Verfahren verwendet werden. Durch Verwenden intelligent ausgewählter Stellen, die zur Messung vorgesehen sind, kann die zur Erstellung des Diagramms erforderliche Zeit oft wesentlich reduziert werden, und es kann ein Diagramm erstellt werden, das die Erfordernisse eines bestimmten Nutzers besser erfüllt.

**[0054]** Die Auswahl der Stellen, an denen die Beziehung zwischen Schwellenwertspannung und BER gemessen werden soll, kann basierend auf einer oder mehreren einer Vielzahl von verschiedenen Funktionen basieren. Die Stellen können als Funktion von den Werten sowohl der Steuervariablen als auch der Ausgabevariablen an den vorher vorgesehenen Meßpunkten ausgewählt werden. In einer solchen Situation können Stellen gewählt werden, an denen sowohl die Schwellenwertspannungswerte als auch die BER-Werte so stark wie möglich von den Werten an den vorher vorgesehenen Meßpunkten differieren.

**[0055]** Weitere Stellen können als Funktion von den Stellen der vorher vorgesehenen Meßpunkte und der Zeit, die zum Messen der Beziehung zwischen Schwellenspannung und BER erforderlich ist, ausgewählt werden. Wie oben bemerkt, erfordert das Messen der BER bei hohen BER-Werten wesentlich weniger Zeit als bei niedrigen BER-Werten. Dementsprechend können die Meßstellen abhängig von den Positionen vorher vorgesehener Meßpunkte und der Zeit zur Vervollständigung der Messung an diesen Stellen gewählt werden. Ein Beispiel für diese Verfahrensweise ist das Auswählen einer verringerten Anzahl von Werten, die geringe BER-Werte aufweisen. Ein weiteres Beispiel ist das Spezifizieren einer Zeitdauer; während der alle Messungen zum Erstellen des Diagramms ausgeführt werden (beispielsweise 10 Minuten oder 1 Stunde), sowie das Auswählen der Stellen, die die Qualität des Diagramms maximieren, das in der spezifizierten Zeitdauer erstellt werden kann.

**[0056]** Es können ferner weitere Stellen als Funktion von den Stellen der vorher vorgesehenen Meßpunkte und BER-Werte vorgesehen werden, die von besonderem Interesse für den Nutzer sind. Daher ist es möglich, daß ein Benutzer Stellen wählt, die nahe den gewünschten Bitfehlerraten liegen, wie sie durch vorher vorgesehene Meßpunkte identifiziert wurden, um ein V-Kurven-Diagramm zu erzeugen, das insbesondere in der Nähe der BER-Werte, die von Interesse sind, besonders genau ist.

**[0057]** Die obengenannten Funktionen dienen lediglich als Beispiel. Stellen, an denen die Messungen ausgeführt werden können, können ferner basierend von anderen Funktionen vorher vorgesehener Meßpunkte oder von zahlreichen Kombinationen von Funktion ausgewählt werden und sollen die Erfindung nicht auf bestimmte Funktionen beschränken.

**[0058]** Die [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11C](#) zeigen schematische Schritte eines Verfahrens zum Erstellen eines Badewannen-Kurven-Diagramms gemäß einer weiteren Ausführung der vorliegenden Erfindung. Insbesondere sind die [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11C](#) Darstellungen, die die Schritte eines Verfahrens zum Erstellen eines Badewannen-Kurven-Diagramms **110** (in [Fig. 11C](#) dargestellt) zeigen, welches die Beziehung der BER eines digitalen Signals, welches von einer DUT stammt, und dem Zeitversatz wiedergibt, indem eine Bitfehlerraten-Testvorrichtung verwendet wird, beispielsweise die in [Fig. 1](#) dargestellte BERT **10**. In den [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11C](#) ist der Zeitversatz entlang der x-Achse aufgetragen, und die BER ist entlang der y-Achse aufgetragen.

**[0059]** Das in den [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11C](#) dargestellte Verfahren ist im wesentlichen identisch zu dem Verfahren, das bezüglich der [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) dargestellt wurde und ist dementsprechend hier nicht detaillierter beschrieben. Im allgemeinen ist eine erste Vielzahl von Meßpunkten **101**, **102**, **103** und **104** vorgesehen, um ein anfängliches Badewannen-Kurven-Diagramm **110** vorzusehen, wie es in der [Fig. 11A](#) dargestellt ist. Die Stellen **105a** und **106a**, an denen weitere Messungen durchgeführt werden sollen, werden daraufhin als Funktion der ersten Vielzahl von Meßpunkten **101** bis **104** ausgewählt, woraufhin die Beziehung zwischen dem Zeitversatz und der BER an den ausgewählten Stellen gemessen wird, um weitere Meßpunkte **105b** und **106b** vorzusehen, wie es in der [Fig. 11B](#) dargestellt ist. Daraufhin wird ein verbessertes Badewannen-Kurven-Diagramm **120** erstellt, wobei alle Meßpunkte **101** bis **104** sowie **105b** und **106b** verwendet werden, wie in [Fig. 11B](#) dargestellt ist, und worauf das verbesserte Badewannen-Kurven-Diagramm **120** verwendet wird, um weitere Stellen **107a** und **107b** auszuwählen, an denen die Messungen durchgeführt werden sollen. Die Beziehung zwischen dem Zeitversatz und der BER wird daraufhin gemessen, um weitere zusätzliche Meßpunkte **107b** und **108b** vorzusehen, um das Badewannen-Kurven-Diagramm **130** zu erstellen. Wie in den Ausführungen der [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) kann der Prozeß in einer iterativen Weise wiederholt werden, bis ein Badewannen-Kurven-Diagramm der gewünschten Genauigkeit erstellt wurde.

**[0060]** Die [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) und [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11C](#) zeigen Verfahrensschritte zum Erstellen eines Diagramms, das die Beziehung zwischen zwei variablen Größen, d.h., BER und Schwellenwertspannung, sowie zwischen BER und Zeitversatz wiedergibt. Diese dienen lediglich als Beispiel, da die Erfindung auch verwendet werden kann, um Diagramme zu erstellen, die die Beziehung zwischen anderen variablen Größen wiedergibt. Ferner kann die vorliegende Erfindung verwendet werden, um Diagramme zu erstellen, die die Beziehung zwischen mehr als zwei variablen Größen wiedergeben. Beispielsweise kann die vorliegende Erfindung auch verwendet werden, um Augen-Diagramme zu erstellen, die die Beziehung zwischen drei Größen wieder-

geben. Die vorliegende Erfindung ist tatsächlich insbesondere beim Erstellen von Diagrammen wie Augen-Diagrammen nützlich, da das dreidimensionale Wesen solcher Darstellungen (zwei Steuervariable und eine Ausgangsvariable) die Möglichkeiten zur intelligenten Punktauswahl erhöht.

**[0061]** Verfahren zum Erstellen eines Augen-Diagramms gemäß der Ausführungen der vorliegenden Erfindung ähneln im allgemeinen den Verfahren, die oben in Verbindung mit den [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) und [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11C](#) beschrieben wurden, dahingehend, daß ein erster Satz Meßpunkte vorgesehen wird, um ein anfängliches Augen-Diagramm zu erstellen, und wobei dieses anfängliche Augen-Diagramm verwendet wird, indem die Stellen, an denen die Beziehungen zwischen Spannungsversatz, Zeitversatz und Bitfehlerrate gemessen werden sollen, abhängig von vorher vorgesehenen Meßpunkten ausgewählt werden. Daraufhin wird die Beziehung an den Stellen gemessen, um weitere Meßwerte vorzusehen, um ein genaueres Augen-Diagramm zu erstellen. Wie ebenfalls in den vorangegangenen Ausführungen dargelegt ist, kann der Prozeß in einer iterativen Weise wiederholt werden, um weitere Meßpunkte vorzusehen, um ein Augen-Diagramm mit zunehmender Genauigkeit zu erstellen.

**[0062]** Bevor die detaillierten Verfahren zum Erstellen eines Augen-Diagramms gemäß den Ausführungen der vorliegenden Erfindung beschrieben werden, sollen zunächst drei Grundkriterien zusammengefaßt werden, die zum Auswählen der Stellen erstellt wurden, an denen die Meßpunkte ermittelt werden sollen:

1. Trennen der Meßpunkte. Durch Trennen der Meßpunkte sehen neu erzeugte Punkte eine gute Abdeckung innerhalb der Bereiche des Diagramms vor. Dies kann ausschließlich basierend auf Steuervariablen, oder basierend auf sowohl Steuer- als auch auf Ausgabevariablen vorgesehen werden.
2. Vermeiden bestimmter Bereiche. Beispielsweise kann ein Kriterium darin liegen, daß Bereiche vermieden werden sollen, in denen die BER gering ist, so daß eine lange Zeit notwendig ist, um die Messungen zu vervollständigen.
3. Auswahl von Meßpunkten, für die vorausgesagt ist, daß dort eine BER von Interesse liegt. Es ist beispielsweise möglich, daß aus einem Satz von Meßpunkten eine Kontur eines Augen-Diagramms geschätzt wird, um die herum die Bitfehlerrate eine einigermaßen konstante Höhe aufweist. Daraufhin werden Meßpunkte gewählt, die dieser geschätzten BER entsprechen.
4. Jede der oben genannten Kriterien 1 bis 3, in denen eine geschätzter BER-Oberfläche verwendet wird, um eine Meßzeit zu einem vorgeschlagenen Meßpunkt zu berechnen.
5. Kombination der Kriterien. Die zahlreichen Kriterien können in verschiedenen Anteilen kombiniert werden, um eine gewünschte Gewichtung vorzusehen, um Punkte zu erzeugen, wobei ein Problem gegenüber einem anderen abgewogen ist.

**[0063]** Die oben genannten Kriterien können, wie im weiteren beschrieben, auch zusammen als Optimierungsprobleme angesehen werden.

#### Maximaler Abstand

**[0064]** Die Stelle, an der eine Messung gemacht werden soll, kann so gewählt werden, daß der Abstand zwischen bestehenden Meßpunkten und zumindest einem weiteren Meßpunkt maximiert ist. Gleichzeitig kann spezifiziert sein, daß zumindest ein weiterer Meßpunkt an beliebiger Stelle innerhalb des gesamten Meßbereichs des Diagramms vorgesehen wird (entweder zwischen bestehenden Meßpunkten oder außerhalb von bestehenden Meßpunkten), oder kann innerhalb eines bestimmten Bereichs des Diagramms liegen.

**[0065]** Für einen vorgegebenen Punktesatz  $\{x_i, z_i\}$ , in denen  $x$  der unabhängigen Variable in einem eindimensionalen Optimierungsproblem entspricht, und  $z$  der abhängigen Variablen in einem solchen Problem entspricht gilt:

$$\text{Maximiere} \{ \min \{ \|x_n - x\|^p + \|z_n - z\|^p \} \}, \quad (1)$$

für alle  $x \in \{x_i\}$  und  $z \in \{z_i\}$ , wobei  $\{x_n, z_n\}$  der neue Punkt ist, und  $\|\cdot\|^p$  der p-Norm entspricht, die eine Form der Distanzmessung ist. Wenn  $p = 1$  ist, entspricht die p-Norm der Summe der Absolutwerte der Vektorelemente. Wenn  $p = 2$  ist, entspricht die p-Norm dem Produkt eines Vektors mit seiner komplexkonjugiert Transponierten (im Falle komplexer Zahlen), und wird verwendet, um die euklidische Distanz zu berechnen. Wenn  $p = \infty$  ist, wählt die p-Norm das einzelne Element, welches den größten Absolutwert aufweist.

**[0066]** Das oben genannte Optimierungsproblem ist für eine unabhängige Variable gegeben, beispielsweise bezüglich V-Kurven oder Badewannen-Kurven. Das Problem kann wie folgt auf ein Problem mit zwei unabhängigen Variablen,  $x$  und  $y$ , beispielsweise Augen-Diagramme, erweitert werden:

$$\text{Maximum}\{\min\{\|x_n - x\|^p + \|y_n - y\|^p + \|z_n - z\|^p\}\}, \quad (2)$$

für alle  $x \in \{x_i\}$ ,  $y \in \{y_i\}$  und  $z \in \{z_i\}$ , wobei  $\{x_n, z_n\}$  der neue Punkt ist, und  $\|\cdot\|$  der p-Norm entspricht. Beispielsweise kann bei einer typischen Augen-Diagrammestellung  $x$  dem Zeitverzögerungs-Versatz entsprechen, und  $y$  kann dem Schwellenwertspannungs-Versatz entsprechen.

**[0067]** Es ist zu bemerken, daß für bestimmte Messungen die abhängige Variable von der unabhängigen Variable exponentiell abhängen kann. Solche Daten werden oft auf logarithmischen Achsen aufgetragen, um diese besser verständlich zu machen. Dies ist typischerweise bei V-Kurven und Badewannen-Kurven der Fall. Es kann daher zu Optimierungszwecken die abhängige Variable  $z$  als logarithmische Funktion der BER gewählt werden, wodurch der Effekt der abhängigen Variable in einer vernünftigen Weise in das Problem faktorisiert wird.

Maximaler Abstand zwischen Punkten, wobei Punkte mit kleiner BER vermieden werden

**[0068]** Das Maximieren des Abstands zwischen den Punkten ist nur eine Optimierung. In einer zweiten Optimierung wird vom Messen zu vieler Punkte mit niedrigem BER abgesehen. Wenn  $\{z_i\}$  logarithmische Funktionen der BER-Werte sind, dann gilt:

$$\text{Maximiere} \left( \min \left\{ \|x_n - x\|^p + \|y_n - y\|^p + \|z_n - z\|^p \right\} + K \left( \frac{1}{|z_n|} \right) \right), \quad (3)$$

wobei  $z_n \neq 0$  und  $K$  ein Skalierungsfaktor zwischen den zwei gewünschten Optimierungen ist.

Maximaler Abstand zwischen Punkten, die einen konstanten Wert einer geschätzten BER aufweisen

**[0069]** In diesem Fall wird ein Konturverlauf eines als konstant geschätzten BERs verwendet, woraufhin der Abstand zwischen den Punkten auf diesem Konturverlauf maximiert wird.

$$\text{Maximiere} \{\min\{\|x_n - x\|^p + \|y_n - y\|^p\}\}, \quad (4)$$

wobei gilt:  $z_n = z = \text{konstant}$ .

Verwendung von Funktionen der Kontroll- und Ausgabevariablen

**[0070]** Alle obengenannten Kriterien können modifiziert werden, um die Funktionen der Steuer- und Ausgabevariablen zu verwenden, anstatt lediglich die Variablen selbst zu verwenden. Diese Funktionen können Filtern oder Glätten umfassen, oder können die Variablen in einem Raum abbilden, der die Schätzung der BER-Oberfläche genauer macht. Beispielsweise sind die BER-Daten naturgemäß exponentiell, wodurch die Neigung besteht, daß Punkte bei niedrigen Bitfehlerraten an Gewichtung verlieren. Es kann eine Korrektur dadurch vorgesehen werden, daß der Logarithmus der BER-Daten verwendet wird. Dadurch kann die Oberflächenschätzung alle Meßpunkte berücksichtigen, und nicht nur diejenigen mit hohen Bitfehlerraten.

#### Normalisierung/Skalierung

**[0071]** Die Normalisierung ist eine Funktion der Variablen, die einer besonderen Erwähnung bedarf. Algorithmen zur Oberflächenanpassung (surface fitting algorithms) gehen üblicherweise von der Annahme aus, daß alle Variablen gleichermaßen skaliert sind. Dies kann bei der Erstellung von Augen-Diagrammen ein Problem darstellen, wenn eine Variable in Volt und die andere im Zehnfachen von Pikosekunden dargestellt ist. Um dies als Faktor zu entfernen können die Variablen normalisiert/skaliert werden, um die gleiche allgemeine Größe oder Betrag aufzuweisen, bevor die Oberflächenanpassungen durchgeführt werden. In Kombination mit dem Logarithmieren der BER-Daten wird dadurch die Genauigkeit der dreidimensionalen Oberflächenanpassung enorm verbessert.

#### Modulieren der Meßzeit

**[0072]** Das Ausführen der oben genannten Maßnahme ist beliebig, jedoch sollte die geschätzte Meßzeit über die gemessene BER-Oberfläche berechnet werden.

**[0073]** Bei bekannten Verfahren zum Erstellen von Augen-Diagrammen ist üblicherweise eine große Anzahl

von Meßpunkten erforderlich, um ein genaues Diagramm vorzusehen. Es ist beispielsweise nicht unüblich, über eintausend Punkte zu verwenden, um ein Augendiagramm vollständig auszubilden. [Fig. 12](#) zeigt ein beispielhaftes Basis-Augen-Diagramm für ein offenes Auge. Das Augen-Diagramm in der [Fig. 12](#) ist eine mittels Raster erzeugte Augenabbildung von Bitfehlerraten, die Zeitverzögerung aufweisen, welche entlang der x-Achse wiedergegeben sind, und die Schwellenwertspannungen aufweisen, die entlang der y-Achse wieder gegeben sind. Die Meßpunkte in dem Diagramm der [Fig. 12](#) wurden a priori ausgewählt, wobei in der x- und y-Richtung mit einem gleichmäßigen Abstand durchlaufen (swepted) wurde. Das einzelne in [Fig. 12](#) gezeigte Diagramm erfordert 1090 Punkte, von denen viele wenig oder keine Information vorsehen. Gemäß der vorliegenden Erfindung kann jedoch durch intelligente Auswahl der Stellen der Meßpunkte eine sehr deutliche Verringerung der Meßpunktanzahl vorgenommen werden, die erforderlich sind, um ein genaues Augen-Diagramm erstellen zu können.

**[0074]** Die folgende Betrachtung tatsächlicher Messungen, die verwendet wurden, um ein Augen-Diagramm zu erstellen, stellt dar, wie die vorliegende Erfindung die erforderliche Meßanzahl zum Erstellen eines genauen Augendiagramms deutlich senkt. Die folgenden Ausführungen sind Versionen der folgenden allgemeinen Ausführungen, die oben beschrieben wurden.

1. Nachdem ein anfänglicher Meßpunktsatz erzeugt wurde, werden aufeinanderfolgende Meßpunkte entlang Funktionen des Konturverlaufs einer konstanten Bitfehlerrate verteilt.
2. Durch effizientes Verteilen der Punkte um den Konturverlauf herum wird erreicht, daß die Meßpunkte bezüglich der Steuervariablen getrennt werden.
3. Durch Spezifizieren der Konturverläufe einer konstanten Bitfehlerrate ist es einem Benutzer möglich, Datenpunkte in den Dimensionen der Ausgabevariablen (Bitfehlerrate) zu verteilen und ferner die Anzahl der Punkte zu kontrollieren, die bei Bitfehlerraten gemessen wurden, welche eine lange Zeit erfordern, um spezifiziert zu werden.

**[0075]** Ein wichtiger Problempunkt bei dieser Ausführung ist es, in welcher Weise die Punkte um den Konturverlauf herum effektiv verteilt werden. Um die Punkte um einen Konturverlauf gleichmäßig zu verteilen, muß die Länge des Konturverlaufs berechnet werden, diese Länge muß durch die Anzahl der gewünschten auf dem Konturverlauf vorgesehenen Punkten geteilt werden, um feste Inkremente vorzusehen, und daraufhin wird von einem bestimmten auf dem Konturverlauf vorgesehenen Anfangspunkt aus um diese festen Schrittweiten weitergeschritten, um neue Punkte zu finden. Ein solcher Prozeß ist durchführbar, auch wenn dieser mühsam ist.

**[0076]** Gemäß den Ausführungen der Erfindung werden jedoch alternative Prozeduren vorgesehen, um das Verteilen der Meßpunkte zu vereinfachen. Diese Ausführungen umfassen eine "Nur-Ellipse"-Prozedur, eine "Nur-Konturverlaufsabtastung"-Prozedur und eine "Kombinations"-Prozedur. Die "Nur-Ellipse"-Prozedur ist in den [Fig. 13A](#) bis [Fig. 13E](#) dargestellt und basiert auf der Erkenntnis, daß es relativ einfach ist, Punkte entlang einer Ellipse zu verteilen. Ferner können Augen-Konturverläufe zweckmäßig durch Ellipsen angenähert werden. Daher wird gemäß dieser Ausführung versucht, eine ellipsenspezifische Kurvenanpassung zu dem Konturverlauf mit konstanter BER vorzusehen, woraufhin Punkte entlang der Ellipse verteilt werden, die den Konturverlauf annähert.

**[0077]** Die [Fig. 13A](#) zeigt ein erstes Augen-Diagramm, in dem die Konturverläufe zunächst von einem anfänglichen groben Punktraster (44 Punkte) abgeleitet werden. Die dargestellte Ellipse wurde an den  $10^{-6}$ -BER-Konturverlauf angepaßt. Die Punkte sind mit gleichen Winkeln auf einem Kreis ausgewählt und wurden daraufhin gemäß der Ellipse skaliert.

**[0078]** Die [Fig. 13B](#) zeigt ein genauer definiertes Augen-Diagramm, das unter Verwendung von 59 Punkten erstellt wurde. Ausgehend von diesen Kurven wurde eine Ellipse an die  $10^{-8}$ -BER-Punkte angepaßt. Es wurden Punkte vom gleichen Winkel auf einem Kreis ausgewählt und dann gemäß der Ellipse skaliert.

**[0079]** Die [Fig. 13C](#) zeigt ein weitergehend definiertes Augen-Diagramm, das unter Verwendung von 75 Punkten erstellt wurde. Ausgehend von diesen Kurven ergibt sich eine Ellipsenanpassung an die  $10^{-10}$  BER-Werte zu einer gültigen Ellipse. Es wurden Punkte mit gleichem Winkel auf einem Kreis ausgewählt und daraufhin gemäß der Ellipse skaliert.

**[0080]** Die [Fig. 13D](#) zeigt ein Augen-Diagramm unter Verwendung von 91 Punkten. Ausgehend von diesen Kurven ergibt sich eine zweite Ellipsenanpassung an die  $10^{-10}$ -BER-Werte zu einer gültigen Ellipse. Die Punkte sind mit gleichen Winkeln auf einem Kreis ausgewählt und wurden daraufhin gemäß der Ellipse skaliert. In diesem Fall wurde der anfängliche Winkel mit einem Offset bzw. Versatz vorgesehen, um die Meßpunkte bezüglich zur vorangehenden Ellipse zu drehen.

**[0081]** Die [Fig. 13E](#) zeigt die endgültige BER-Darstellung mit 107 Punkten. Es ist die hohe Genauigkeit der BER-Kurven zu bemerken. Das Verfahren spreizt mehr Messungen in Bereichen, die für den Benutzer wichtig sind, als das oben beschriebene Rasterverfahren, ohne daß ausführliche Messungen an nicht interessierenden Stellen ausgeführt werden. Es ist ferner zu bemerken, daß die Meßpunkte um den relevanten BER-Konturverlauf herum vorgesehen sind und nicht an einer Stelle gehäuft auftreten.

**[0082]** Ausgehend von der Betrachtung des oben genannten Verfahrens wurde ermittelt, daß die gezwungene Anpassung einer Ellipse an Daten manchmal zu einer Ellipse führt, die den Daten nicht ähnelt. Dementsprechend ist es beim Ausführen des Verfahrens wünschenswert, darauf zu achten, daß eine angepaßte Ellipse innerhalb bestimmter Gültigkeitsgrenzen liegt. Dies kann beispielsweise durchgeführt werden, indem der Mittelpunkt der Ellipse überprüft wird, oder indem die Länge der Haupt – und Nebenachse der Ellipse überprüft wird, und/oder indem der Umfang der Ellipse gegenüber den Gültigkeitsgrenzen überprüft wird.

**[0083]** Da die Ellipse manchmal keine gültige Ellipse zum Zwecke des Erzeugens von Meßpunkten erzeugt, können alternative Verfahren verwendet werden, falls gewünscht. Gemäß dieses alternativen Verfahrens ("Nur-Konturverlaufs-Abtastung"-Verfahren), wird der ursprüngliche Konturverlauf verwendet, der als Punktesatz definiert ist, und der oft als Konturverlaufs-Scheitelpunkte (contour vertices) bezeichnet wird. Die Punkte bezeichnen Stellen, an denen der Konturverlauf die Richtung ändert und stellen daher wichtige Punkte innerhalb der BER-Oberfläche bei einer festen Fehlerrate dar. Die [Fig. 14A](#) bis [Fig. 14E](#) zeigen ein Abtastungsschema, in dem eine von M Konturverlaufs-Scheitelpunkten den nächsten verwendeten Meßpunkt darstellt. Solange M kleiner als die Anzahl von Kontur-Scheitelpunkten N ist, stellt dies eine gültige Vorgehensweise dar. Dieses Verfahren ermöglicht es dem Benutzer, zwischen der Geschwindigkeit und der Genauigkeit der Messung auszugleichen.

**[0084]** Die [Fig. 14A](#) bis [Fig. 14E](#) sind Augen-Diagramme, die das "Nur-Konturverlaufs-Abtastung"-Verfahren gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung darstellen. Die [Fig. 14A](#) zeigt ein anfängliches Augen-Diagramm, das unter Verwendung von 44 Punkten erstellt wurde, wobei das "Nur-Konturverlaufs-Abtastung"-Verfahren mit Abtastung des aktualisierten  $10^{-2}$ -Konturverlaufs verwendet wird. Die [Fig. 14B](#) zeigt das Augen-Diagramm, das mittels Abtastung von 74 Punkten des aktualisierten  $10^{-4}$ -Konturverlaufs erstellt wurde. Die [Fig. 14C](#) zeigt das Augen-Diagramm, welches mittels Abtastung von 131 Punkten des aktualisierten  $10^{-8}$ -Konturverlaufs erzeugt wurde. Die [Fig. 14D](#) zeigt das Augen-Diagramm, welches mittels Abtastung von 159 Punkten des aktualisierten  $10^{-10}$ -BER-Verlaufs erstellt wurde. Die [Fig. 14E](#) zeigt das endgültige Augen-Diagramm, das unter Verwendung von 213 Punkten erstellt wurde. Hier ist die hohe Genauigkeit der Kurven mit niedrigem BER zu beachten. Dieses Verfahren verteilt mehr Messungen auf Bereiche, die für den Benutzer wichtig sind, als das Rasterverfahren, ohne daß Stellen, die nicht von Interesse sind, übermäßig gemessen werden. Es ist ferner zu bemerken, daß die Meßpunkte um die relevanten BER-Konturverläufe herum vorgesehen sind und nicht an einer Stelle gehäuft sind.

**[0085]** Ein drittes Verfahren zum Erstellen eines Augen-Diagramms verwendet eine Kombination des "Nur-Ellipse"-Verfahrens und das "Nur-Verlaufsabtastung"-Verfahren. Gemäß dieses Verfahrens wird zunächst das Ellipsenverfahren versucht. Wenn die Ellipsenanpassung eines bestimmten Konturverlaufs nicht gültig ist, wird das Konturverlaufsabtastungs-Verfahren verwendet. Die [Fig. 15A](#) bis [Fig. 15E](#) sind Augen-Diagramme, die das Kombinationsverfahren darstellen.

**[0086]** Die [Fig. 15A](#) zeigt ein anfängliches Augen-Diagramm mit 44 Punkten, in dem die Konturverläufe von einem anfänglichen groben Punkteraster abgeleitet sind. Ausgehend von diesen Kurven führte eine Ellipsenanpassung an den  $10^{-2}$ -Bitfehlerraten-Konturverlauf zu einer ungültigen Ellipse. Daraufhin wurde die Kontur abgetastet, um Punkte zu erzeugen. Die [Fig. 15B](#) zeigt das Augen-Diagramm, das unter Verwendung von 74 Punkten erstellt wurde. Ausgehend von diesen Kurven führte eine Ellipsenanpassung an den  $10^{-4}$ -BER-Konturverlauf zu einer gültigen Ellipse. Die Punkte wurden zu gleichen Winkeln auf einem Kreis gewählt und daraufhin gemäß der Ellipse skaliert.

**[0087]** Die [Fig. 15C](#) zeigt das Augen-Diagramm, das ausgehend von 106 Punkten erstellt wurde. Ausgehend von diesen Kurven führte eine Ellipsenanpassung an die aktualisierten  $10^{-8}$ -BER-Kurven zu einer gültigen Ellipse (dann ergab sich eine gültige Ellipse aus einer Ellipsenanpassung an den  $10^{-6}$ -BER-Konturverlauf sowie aus einer zweiten Ellipsenanpassung an den aktualisierten  $10^{-8}$ -BER-Konturverlauf wobei dies hier nicht dargestellt ist). Die Punkte wurden mit gleichen Winkeln auf einem Kreis ausgewählt und daraufhin gemäß der Ellipse skaliert.

**[0088]** Die [Fig. 15D](#) zeigt das Augen-Diagramm, das ausgehend von 122 Punkten erstellt wurde. Ausgehend

von diesen Kurven führte eine Ellipsenanpassung an den aktualisierten  $10^{-10}$ -BER-Konturverlauf zu einer gültigen Ellipse. Die Punkte wurden zu gleichen Winkeln auf einem Kreis gewählt, und daraufhin gemäß der Ellipse skaliert.

**[0089]** Die [Fig. 15E](#) zeigt die sich ergebende BER-Abbildung unter Verwendung von 154 Punkten. Die hohe Genauigkeit der Kurven mit geringem BER ist zu bemerken. Das Verfahren verteilt mehr Messungen an Bereiche, die dem Benutzer wichtig sind, als das Rasterverfahren, ohne daß an uninteressanten Stellen ausführliche Messungen durchgeführt wurden. Es ist ferner zu bemerken, daß die Meßpunkte um die relevanten BER-Konturverläufe herum angeordnet sind und nicht um eine Stelle herum konzentriert sind.

**[0090]** Die oben beschriebenen Verfahren sind nur beispielhaft, und es sollte erkannt werden, daß andere Verfahren verwendet werden können, um Punkte um ein Augen-Diagramm herum zu verteilen, um das Diagramme einer beschränkten Punkteanzahl effizient zu erstellen.

**[0091]** Es ist ferner zu erkennen, daß in anderen Ausführungen der vorliegenden Erfindung ein Augen-Diagramm durch andere Darstellungen als eine Konturverlaufsdarstellung wiedergegeben werden kann. Beispielsweise kann ein Augen-Diagramm mittels einer dreidimensionalen Oberflächendarstellung wiedergegeben werden, in der die BER entlang der z-Achse wiedergegeben ist. Alternativ kann eine dreidimensionale farabbildende Oberflächendarstellung oder eine dreidimensionale schattierte Oberflächendarstellung mittels der vorliegenden Erfindung erstellt werden.

**[0092]** Es ist ferner ersichtlich, daß die zahlreichen Messungen digital erstellt und gespeichert werden können. Dementsprechend müssen die V-Kurven-, die Badewannen-Kurven- und Augen-Diagramme nicht innerhalb der Firmware des Meßinstruments selbst erzeugt werden, sondern können von einer externen Anwendungssoftware erzeugt werden. Auf diese Weise wird die Anzeige und Zugriffbarkeit auf Meßdaten verbessert, wobei ferner komplexe Algorithmen verwendet werden können, um die Meßdaten zu erzeugen.

**[0093]** Gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung wird eine externe Software wie "Matlab®" oder ein entsprechendes Stück numerischer Software verwendet, um einer Vielzahl komplexer Algorithmen zu ermöglichen, die Meßpunkte vorzusehen. Solche komplexen Softwarewerkzeuge machen es relativ einfach, zur Messung vorgesehene Stellen, basierend auf einigen optimierten Kombinationen der drei oben genannten Faktoren und/oder anderer Faktoren auszuwählen.

**[0094]** Wenn weitere Meßpunkte abhängig von der Meßzeit ausgewählt werden, die zur Messung der BER bei bestimmten Spannungsversatzwerten und/oder Zeitversatzwerten erforderlich sind, kann ein Benutzer Berechnungen verwenden, die den in Tabelle 1 verwendeten Berechnungen ähneln, um zu berechnen, wie viel Zeit der BERT für eine bestimmte BER-Messung verwenden sollte, um eine genaue Messung zu erhalten. Wenn die Bitrate in Bits pro Sekunde und die Fehlerrate in Fehler pro Bit vorliegt, ist die Bitrate in Einheiten von Fehlern pro Sekunde. Daher kann die zur Messung von k Fehlern benötigte Zeit wie folgt berechnet werden:

$$t_{\text{Messung}} (\text{sek}) = \left( \frac{k \text{ Fehler}}{(\text{Bitrate}) \times (\text{Fehlerrate})} \right) \times \left( \frac{\text{Fehler}}{\text{Fehler/Sekunde}} \right) \quad (5)$$

**[0095]** Für einen weiteren Meßpunkt ist die Bitrate bekannt, wobei die Fehlerrate nicht bekannt ist. Jedoch kann diese direkt aus vorangegangenen Messungen oder durch Interpolieren der geschätzten BER-Oberfläche geschätzt werden, indem das Diagramm verwendet wird. Es ist zu bemerken, daß die auf diese Weise abgeleitete Zeit  $t_{\text{Messung}}$  eine statistische Zahl ist, wobei der Benutzer diesen Wert etwas aufrunden kann, falls gewünscht, um zu gewährleisten, daß die geeignete Fehleranzahl gemessen wird. Ferner müßte der Algorithmus praktischerweise zusätzliche Zeit hinzufügen, beispielsweise Kommunikationsoverhead zwischen den Prozessoren, Einschwingzeit des Systems bei jedem neuen Meßpunkt usw.

**[0096]** Ein bekanntes alternatives Verfahren umfaßt das tatsächliche Zählen der Fehler an einem bestimmten Meßpunkt, bis ein gewisser Schwellenwert überschritten wird. Um jedoch effizient zu sein, erfordert ein solches Verfahren eine enge Kopplung zwischen dem Fehleranalysealgorithmus und der Test-Hardware, die in dem oben genannten Verfahren nicht notwendig ist, da es lediglich auf statistischen Annahmen beruht.

**[0097]** Die [Fig. 16](#) ist ein Flußdiagramm, das Schritte eines Verfahrens darstellt, welches das allgemeine Bezugssymbol **400** trägt, und das dazu dient Diagramme zu erzeugen, beispielsweise V-Kurven-Diagramme, Badewannen-Kurven-Diagramme und Augen-Diagramme, welche die Beziehung zwischen variablen Größen ge-

mäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung wiedergeben. Anfänglich wird eine erste Vielzahl von Meßpunkten vorgesehen, welche die Beziehung zwischen den variablen Größen wiedergeben, wie in Schritt **410** dargestellt. Wie oben beschrieben, kann die erste Vielzahl von Meßpunkten vorgesehen werden, indem Punkte basierend auf einem oder mehreren Kriterien ausgewählt werden, beispielsweise durch Auswählen von Punkten, die weit voneinander entfernt sind, oder durch Auswählen von Punkten auf der positiven und negativen Seite einer graphischen Darstellung. Die gemessene Beziehung zwischen den variablen Größen und den anfänglichen Punkten wird daraufhin gespeichert.

**[0098]** Die Stelle, an der die Beziehung zwischen den zu messenden variablen Größen gemessen wird, wird daraufhin ausgewählt, und die Beziehung zwischen den variablen Größen an den Stellen wird daraufhin in Schritt **420** gemessen, um weitere Meßpunkte vorzusehen. Wie mit den Bezugszeichen **470** und **480** dargestellt ist, umfaßt der Auswählsschritt das Abrufen der vorher gemessenen Punkte aus dem Speicher und das Anwendung von Optimierungskriterien bei der Auswahl der Stellen, wie oben beschrieben ist. Die zusätzlichen Meßpunkte werden daraufhin in Schritt **430** gespeichert, und ein Diagramm wird ausgehend von den bis dahin durchgeführten Messungen erstellt (Schritt **440**).

**[0099]** Wenn das Diagramm ausreichend genau ist, um den Bedürfnissen eines Benutzers gerecht zu werden (Ja-Abzweig des Schritts **450**), dann ist das Verfahren abgeschlossen. Wenn das Verfahren nicht ausreichend genau ist (Nein-Abzweig des Schritts **450**), werden die Schritte **420** bis **450** wiederholt, wobei weitere Stellen ausgewählt werden, an denen Messungen gemacht werden sollen, Schritt **460**, woraufhin die Beziehung zwischen den variablen Größen an den zusätzlichen Stellen gemessen werden, um weitere Meßpunkte vorzusehen, bis sich ein Diagramm ergibt, das den Erfordernissen des Benutzers genügt. Mit der vorliegenden Erfindung kann ein Benutzer ein Diagramm erstellen, das so genau wie erforderlich ist.

**[0100]** Während beispielhafte Ausführungen der Erfindung beschrieben wurden, ist ersichtlich, daß die Erfindung auf verschiedene Weise variiert werden kann, ohne ihren Umfang zu verlassen. Da die Erfindung in verschiedenen Weisen verwendet werden kann, ist ersichtlich, daß die Erfindung nur durch den Umfang der folgenden Ansprüche beschränkt sein soll.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Bewerten der Leistung eines digitalen Übertragungssystems durch Erstellen eines Diagramms (**80, 130**), das eine gemessene Reaktion des Systems auf ein Steuersignal darstellt, mit folgenden Verfahrensschritten:

Anlegen eines Steuersignals mit wenigstens einem ersten Wert an das System;

Messen der Reaktion des Systems auf den wenigstens einen Wert des Steuersignals, um wenigstens einen ersten gemessenen Antwortwert (**61, 62, 63, 64, 101, 102, 103, 104**) zu erhalten, um das Erstellen des Diagramms (**80, 130**) zu beginnen; und

Messen der Reaktion des Systems auf wenigstens einen zweiten Wert des Steuersignals, um wenigstens einen zweiten gemessenen Antwortwert (**71a, 72a, 105a, 106a**) zu erhalten, und Hinzufügen des wenigstens einen zweiten gemessenen Antwortwertes zu dem anfänglichen Diagramm, um das Diagramm (**80, 130**) weiter zu erstellen; gekennzeichnet durch den weiteren Verfahrensschritt:

Auswählen des wenigstens einen zweiten Wertes für das Steuersignal als eine Funktion des wenigstens einen gemessenen Antwortwertes.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die gemessene Reaktion eine Bitfehlerrate BER umfaßt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei mehrere erste Werte des Steuersignals vorgesehen werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der wenigstens eine zweite Wert ferner als eine Funktion der Maximierung der Differenz zwischen dem zweiten Wert und den ersten Werten ausgewählt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 2 und einem der Ansprüche 3 bis 4, wobei der wenigstens eine zweite Wert ferner als eine Funktion der Minimierung der Anzahl von Messungen mit einer niedrigen BER ausgewählt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 2 und einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der wenigstens eine zweite Wert ferner als eine Funktion der ersten Werte und der mit diesen ersten Werten gemessene BER ausgewählt wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Schritte des Auswählens und Messens

wiederholt werden, wobei jeder wiederholte Schritt des Auswählens wenigstens einen zusätzlichen Wert als Funktion aller vorhergehenden Werte auswählt.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Diagramm ein V-Kurvendiagramm ist, wobei das wenigstens eine Steuersignal einen Spannungsschwellwert des Übertragungssystems umfaßt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Diagramm ein Badewannen-Kurvendiagramm ist, wobei das wenigstens eine Steuersignal einen Offset-Zeitwert des Übertragungssystems umfaßt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Diagramm einen Augen-Kurvendiagramm ist, wobei das wenigstens eine Steuersignal einen Spannungsschwellwert und einen Offset-Zeitwert des Übertragungssystems umfaßt.

11. Verfahren nach den Ansprüche 2 und 10, wobei die zweiten Werte ferner als eine Funktion einer Kontur mit konstanter BER gewählt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Funktion der Kontur eine gefilterte Version von Kontur spitzen, eine geglättete Version von Kontur spitzen oder eine Anpassung einer numerischen Funktion an Kontur spitzen umfaßt.

13. Testvorrichtung zum Bewerten der Leistung eines digitalen Übertragungssystems (**16**) durch Erstellen eines Diagramms (**80, 130**), welches eine gemessene Reaktion des Systems (**16**) auf ein Steuersignal darstellt, mit folgenden Merkmalen:

eine Signalquelle (**12**) zum Erzeugen eines Steuersignals mit wenigstens einem ersten Wert und zum Anlegen des Steuersignals an das elektronische System (**16**);

eine Analyseeinrichtung (**14**), welche einen Antwortwert des Systems (**16**) auf den wenigstens einen Wert des Steuersignals mißt; und

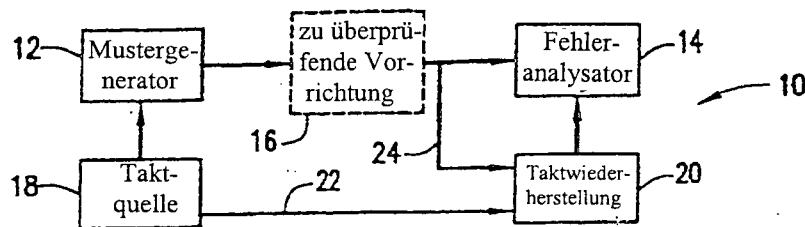
Mittel zum anfänglichen Erstellen des Diagramms (**80, 130**) durch Zeichnen des wenigstens einen gemessenen Antwortwertes (**61, 62, 63, 64, 101, 102, 103, 104**); und

Mittel zum Messen der Reaktion des Systems auf wenigstens einen zweiten Wert des Steuersignals, um wenigstens einen zweiten gemessenen Antwortwert (**71a, 72a, 105a, 106a**) zu erhalten, und Hinzufügen des wenigstens einen zweiten gemessenen Antwortwertes zu dem anfänglichen Diagramm, um das Diagramm (**80, 130**) weiter zu erstellen; gekennzeichnet durch

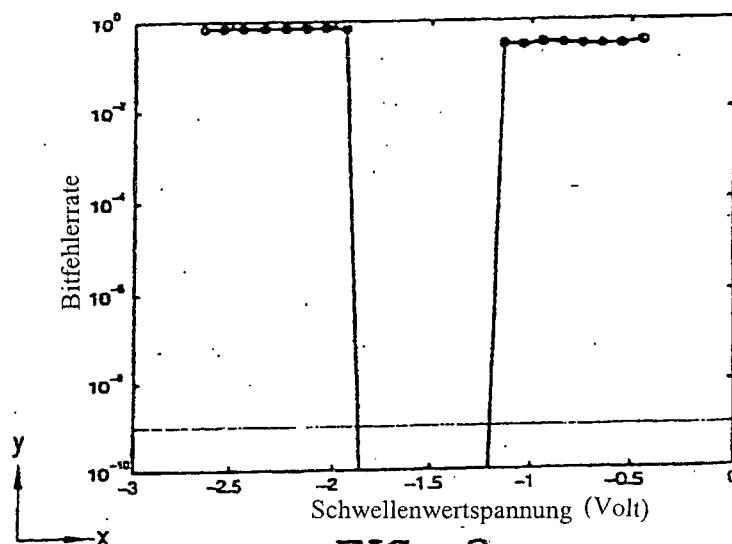
Mittel zum Auswählen des wenigstens einen zweiten Wertes für das Steuersignal als eine Funktion des wenigstens einen gemessenen Antwortwertes.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

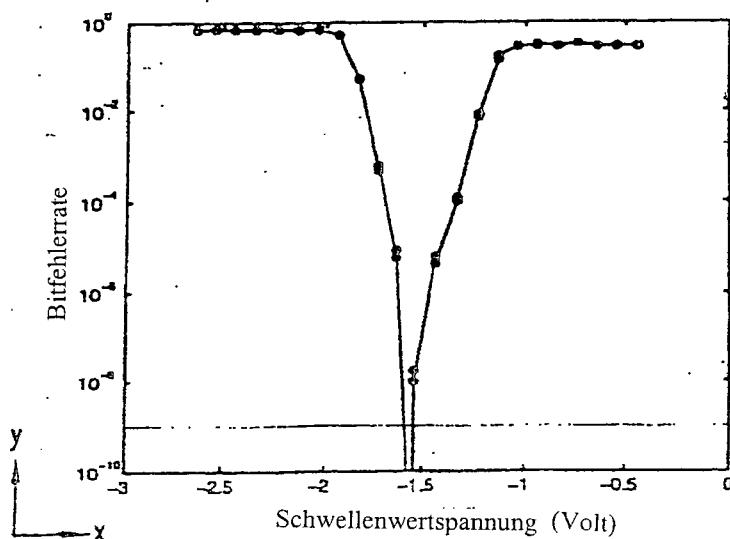
## Anhängende Zeichnungen



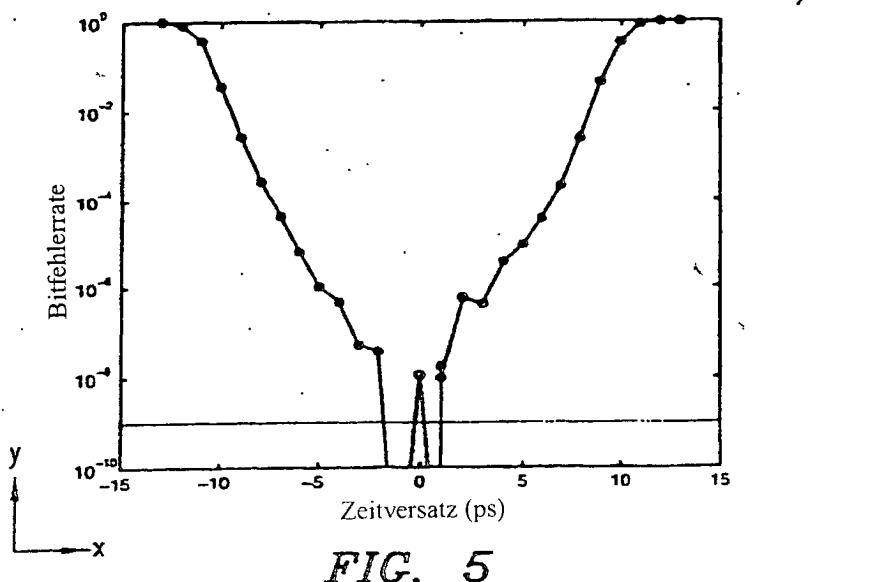
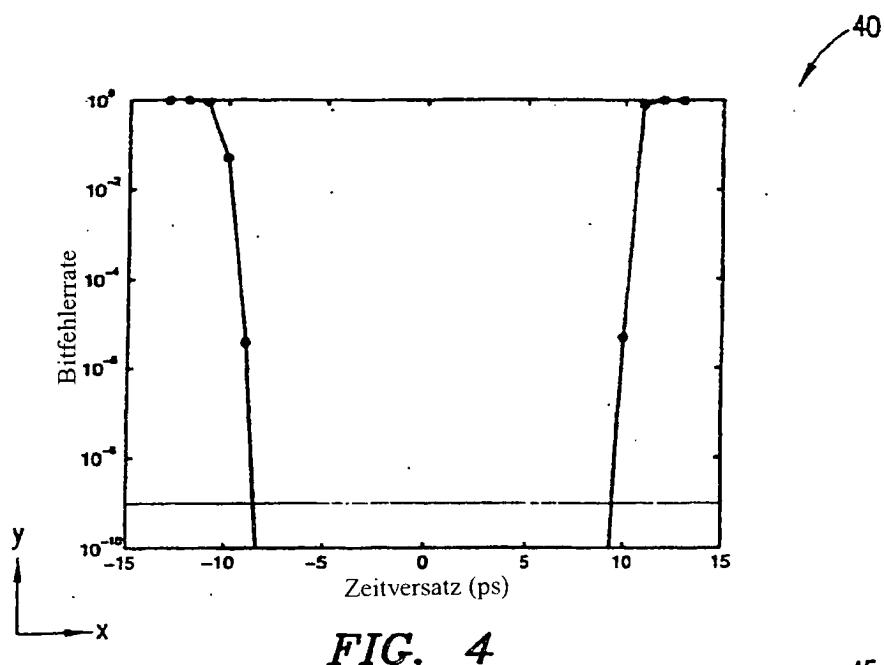
**FIG. 1**  
(STAND DER TECHNIK)

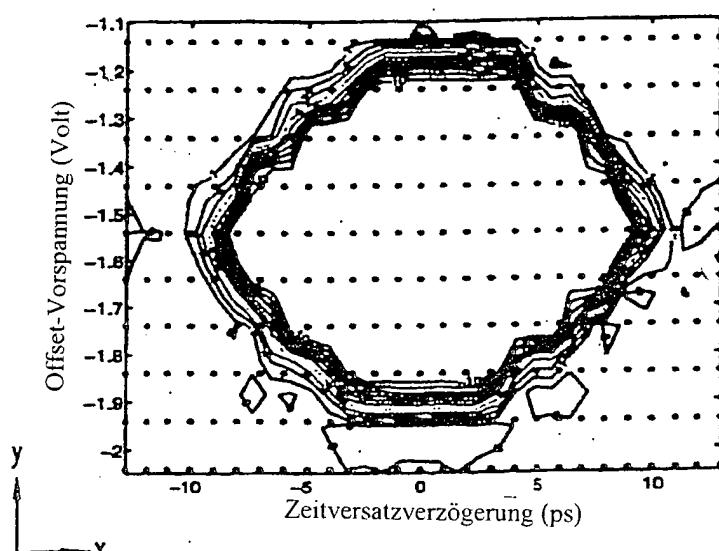
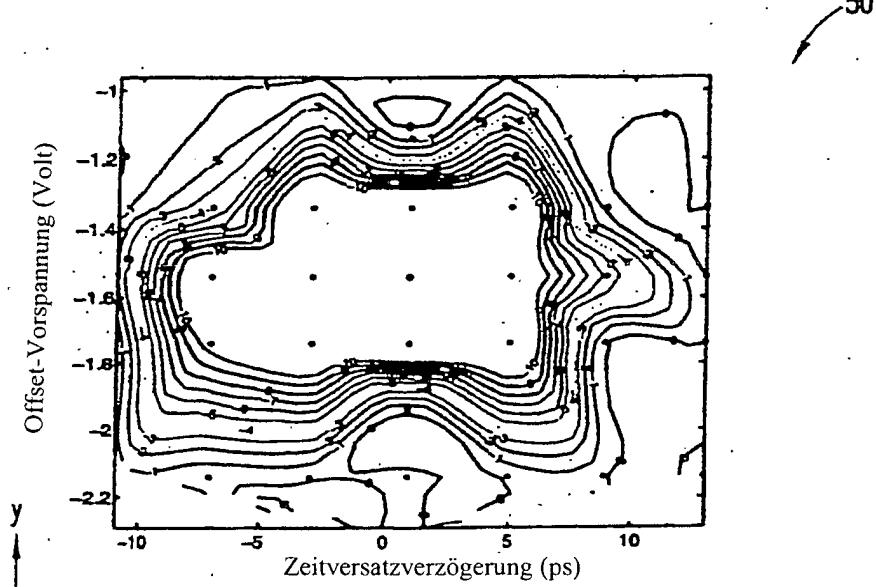


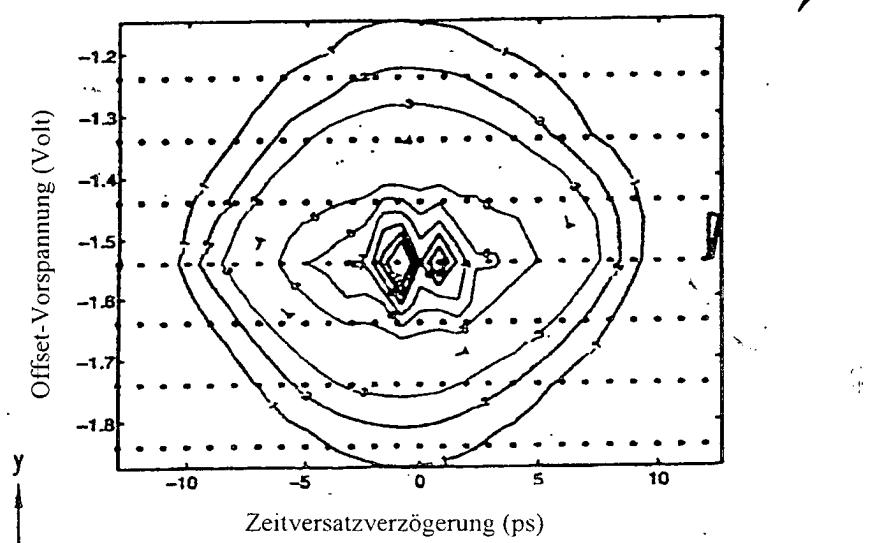
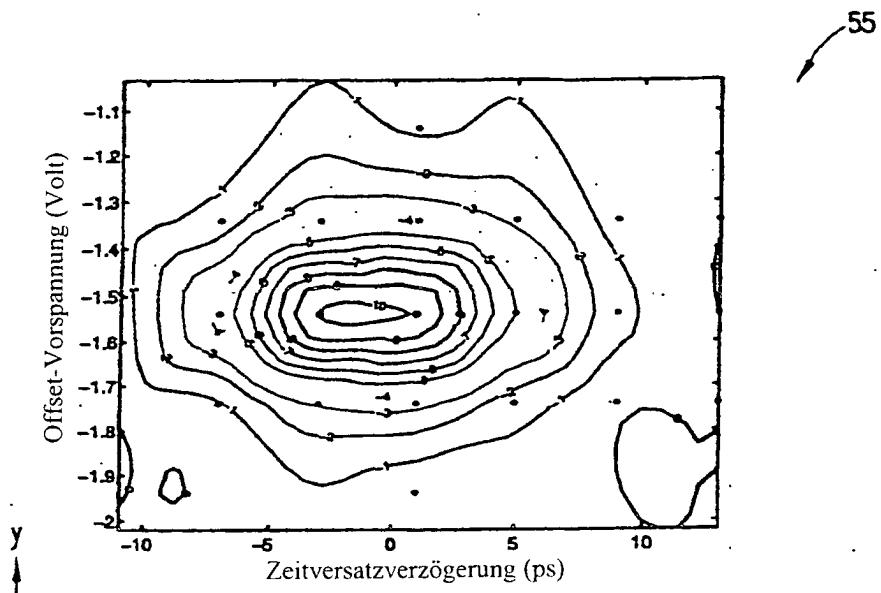
**FIG. 2**



**FIG. 3**







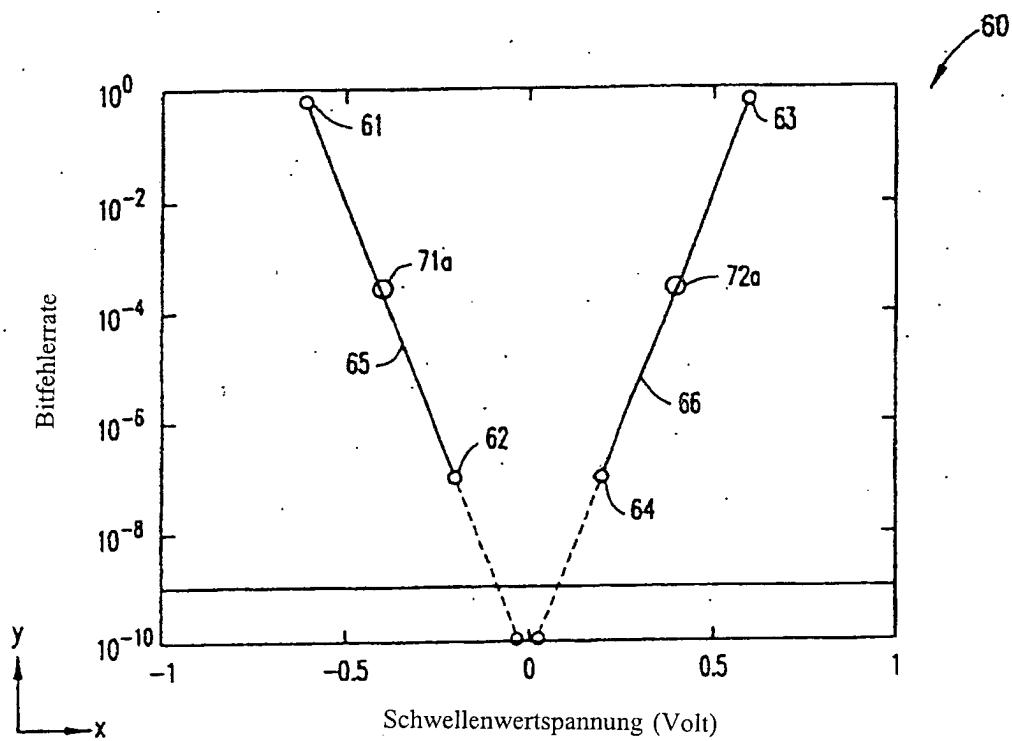


FIG. 10A

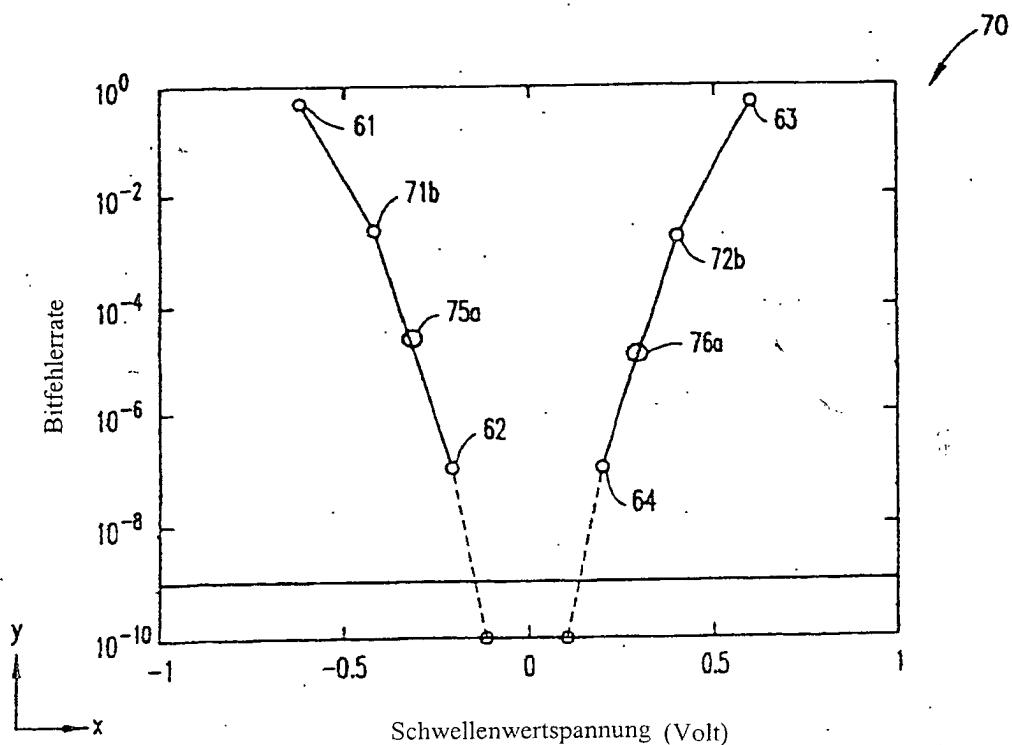


FIG. 10B

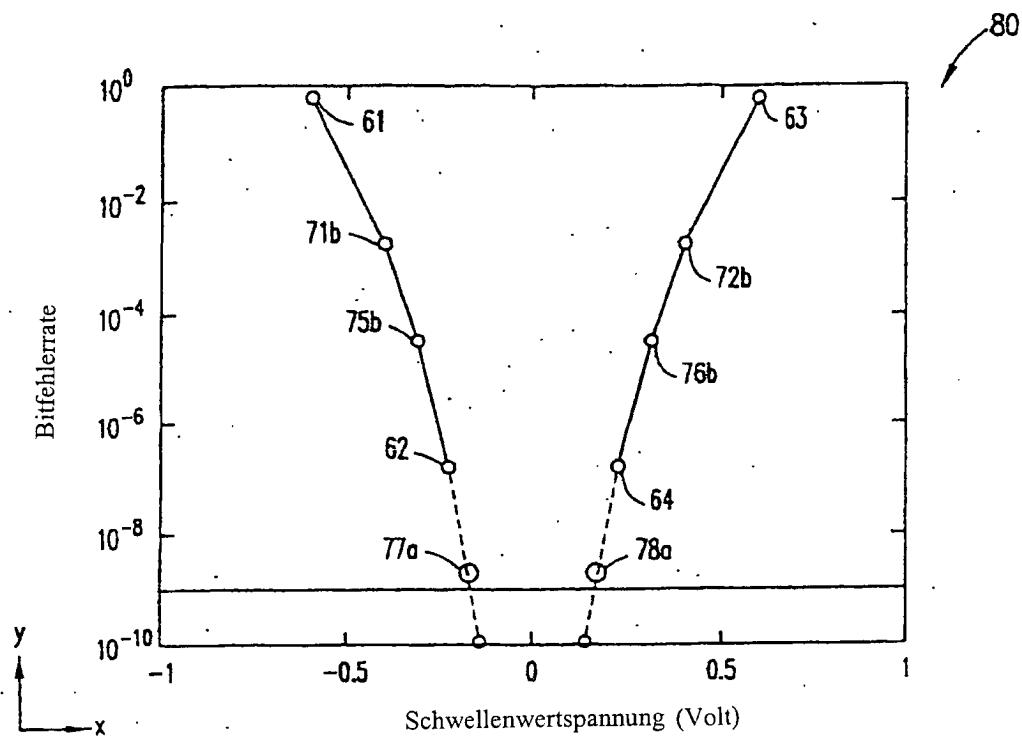


FIG. 10C

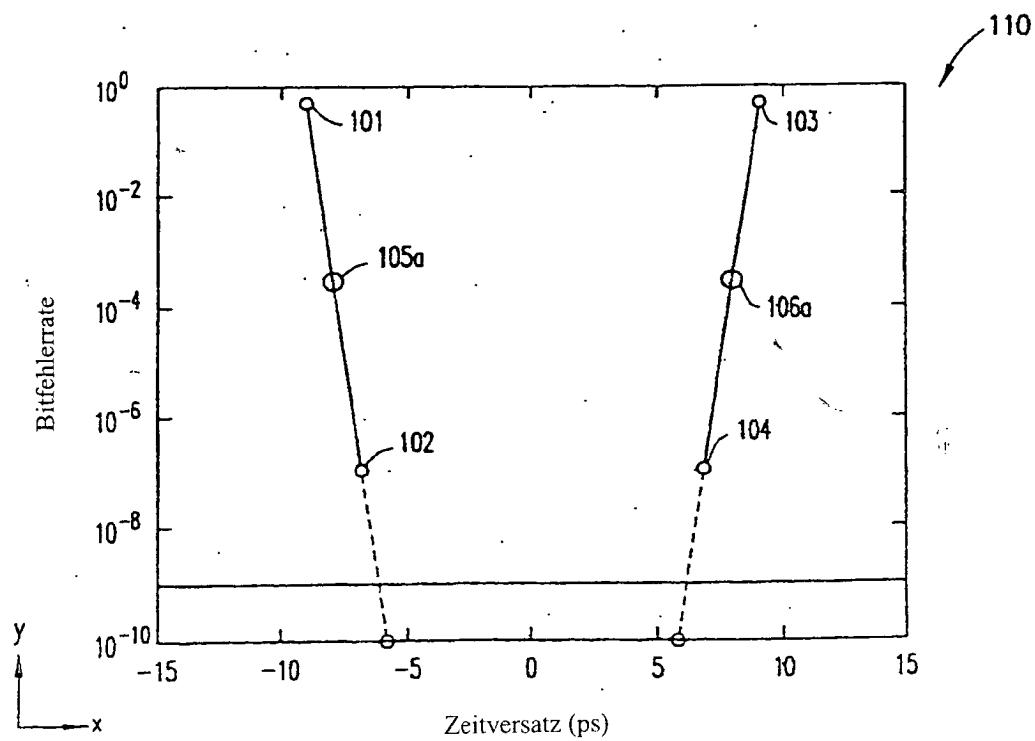


FIG. 11A

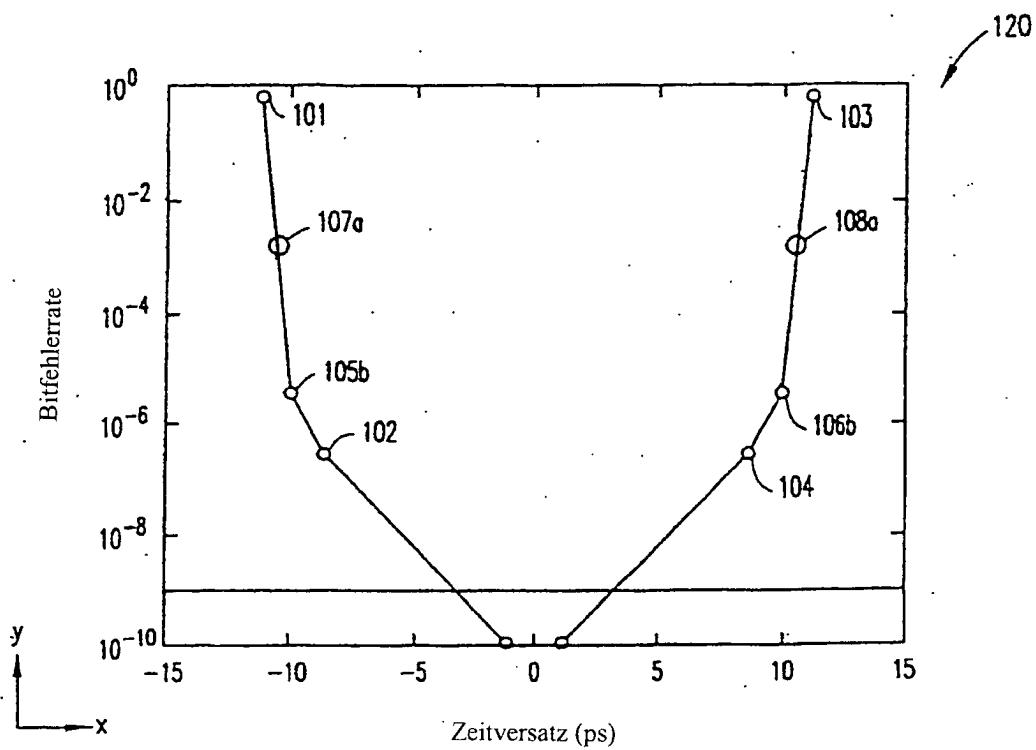


FIG. 11B

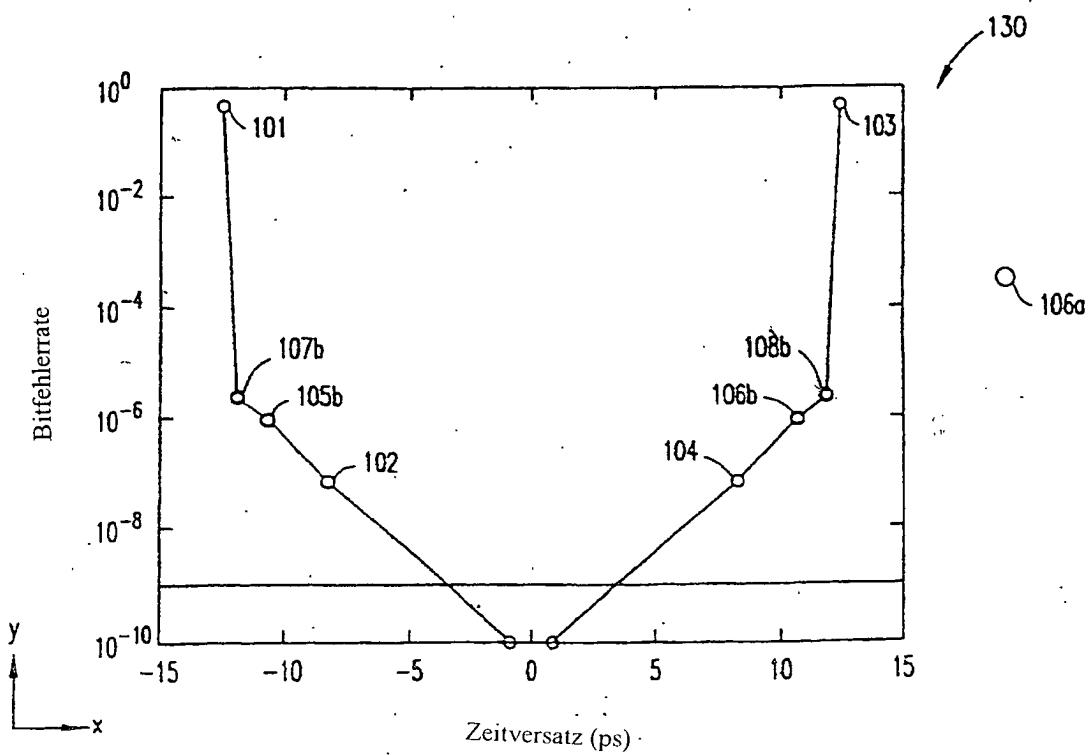
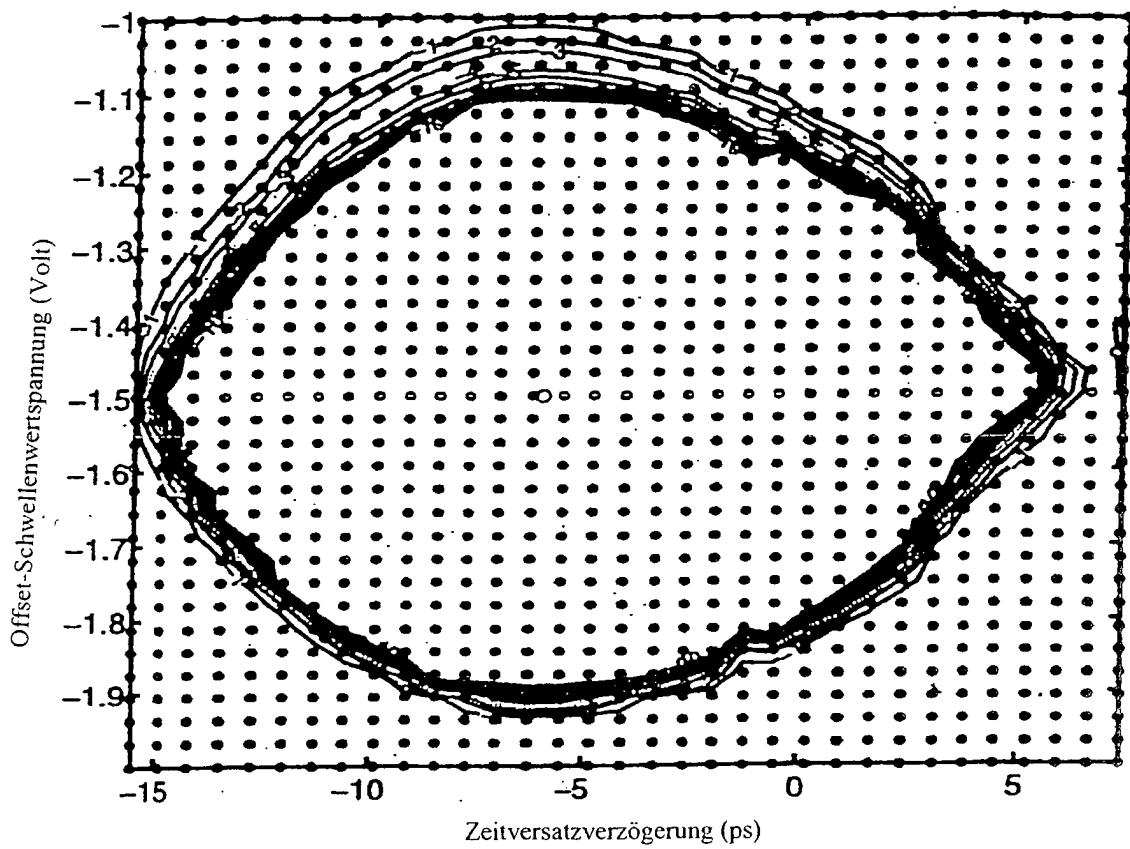
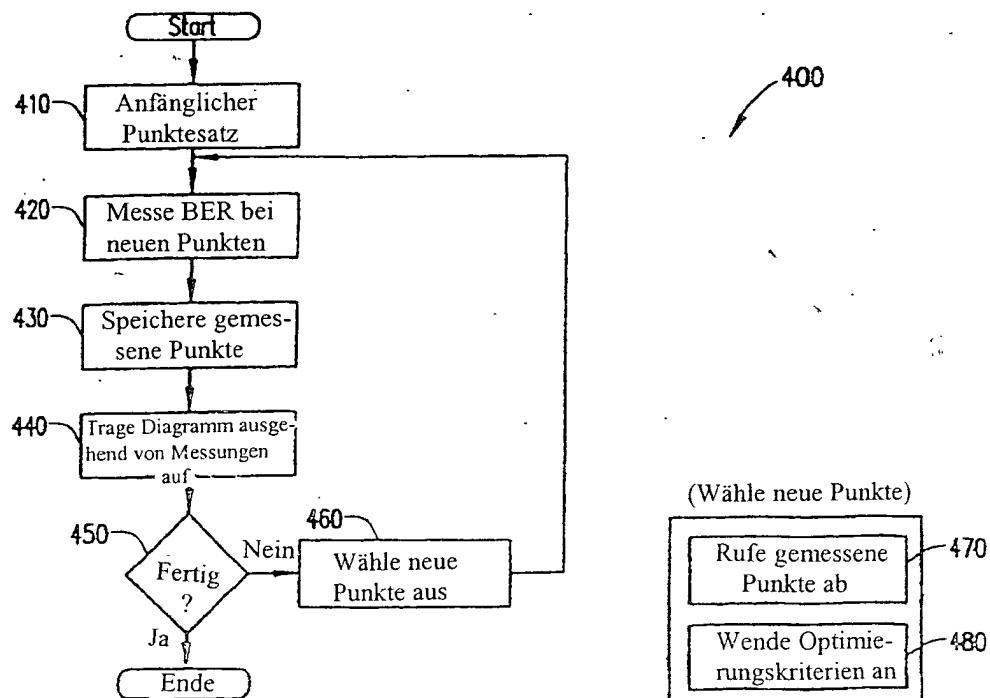
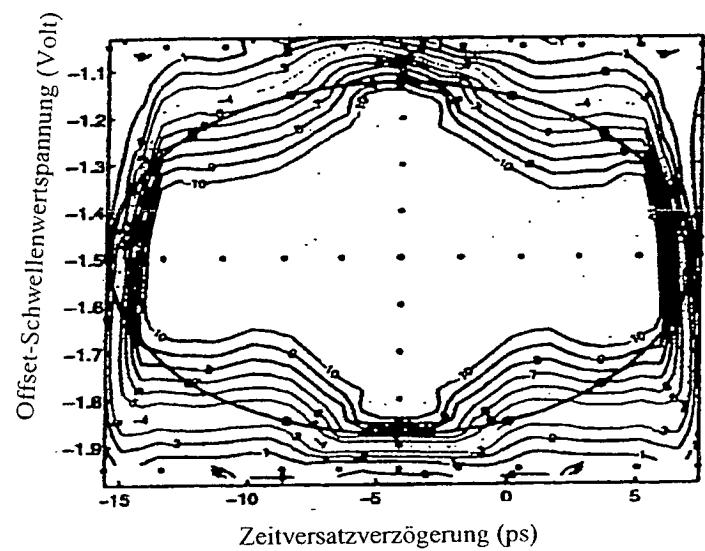
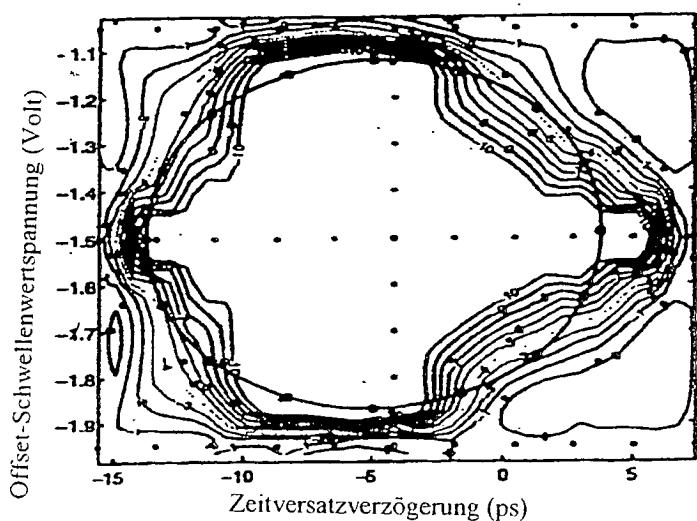


FIG. 11C

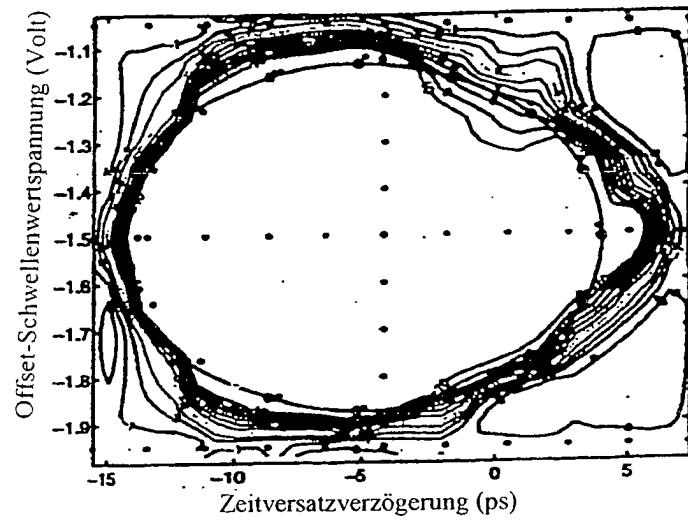
**FIG. 12****FIG. 16**



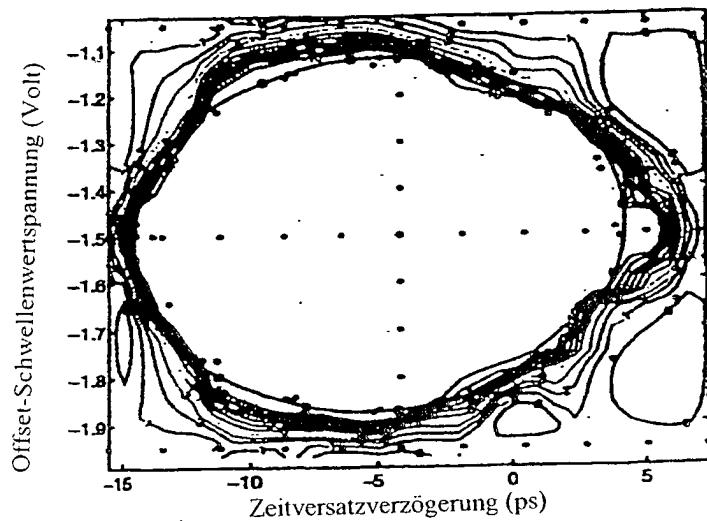
**FIG. 13A**



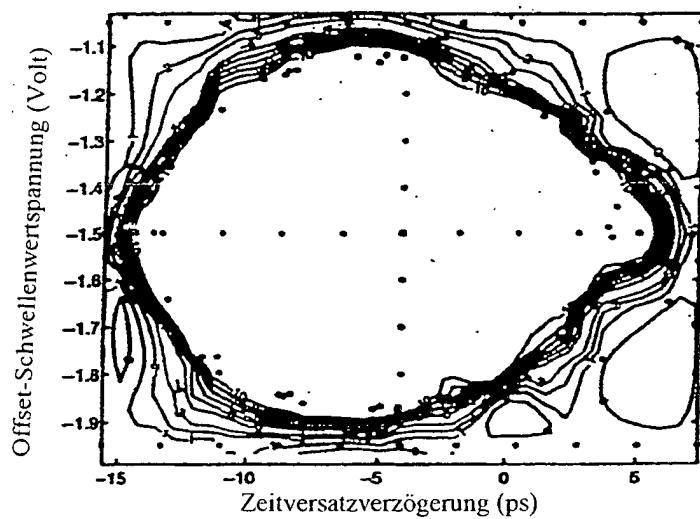
**FIG. 13B**



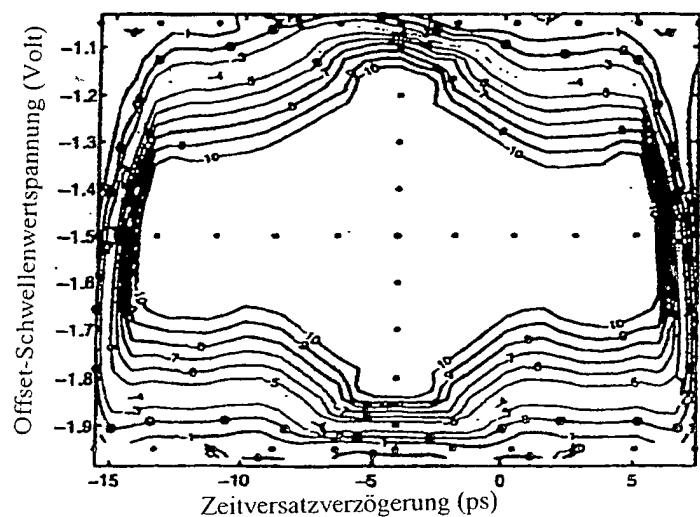
**FIG. 13C**



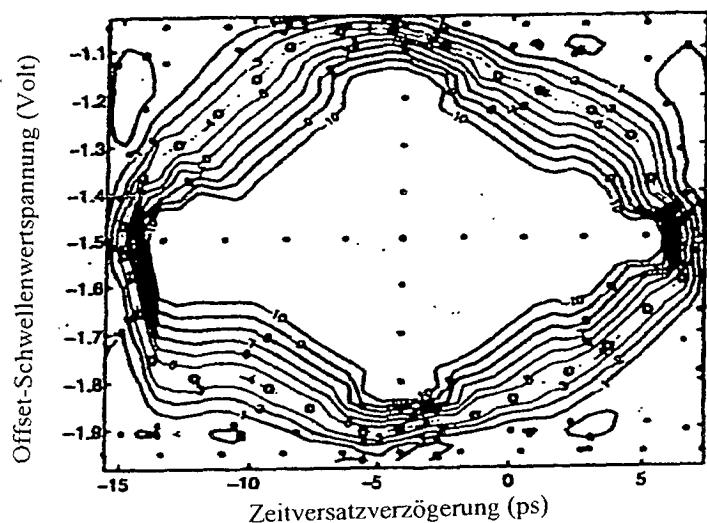
**FIG. 13D**



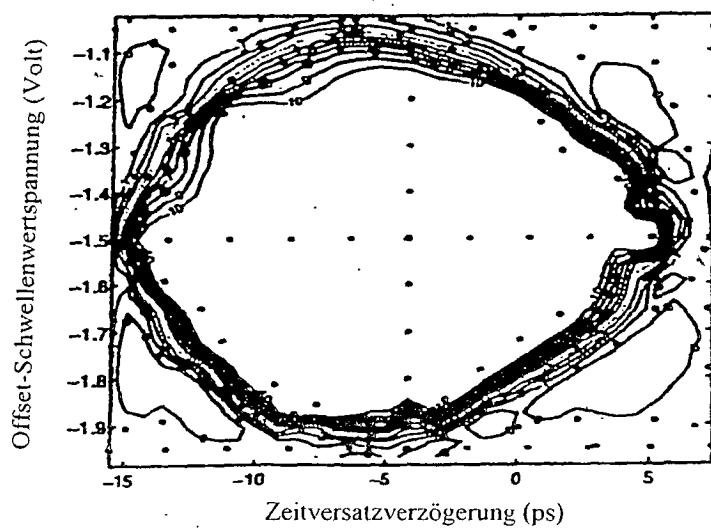
**FIG. 13E**



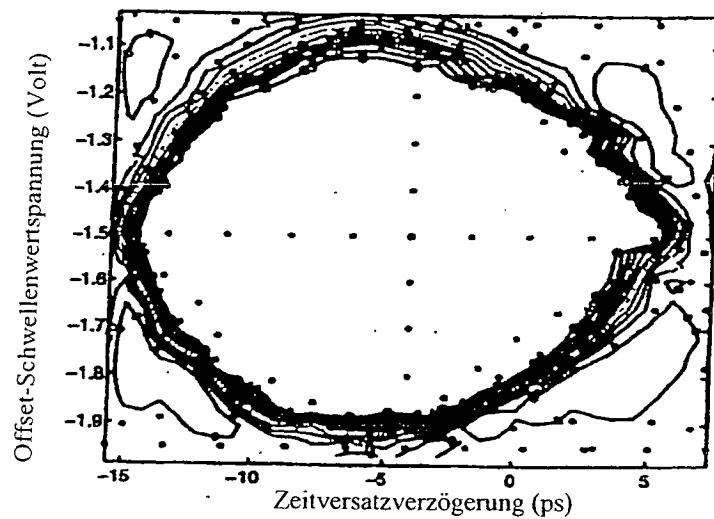
**FIG. 14A**



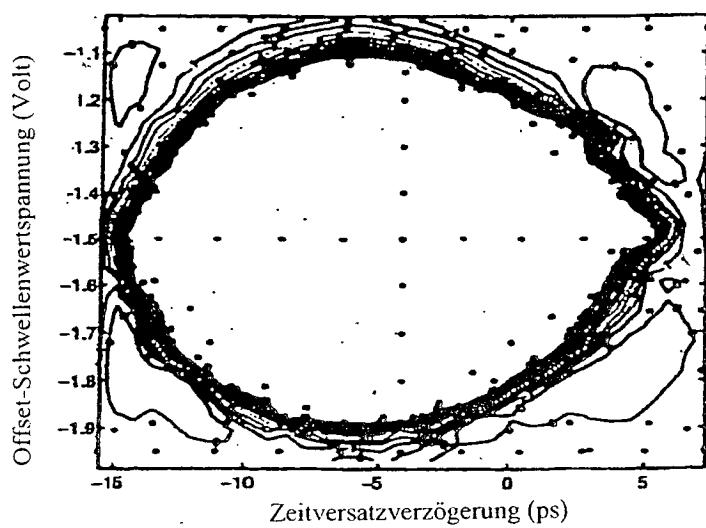
**FIG. 14B**



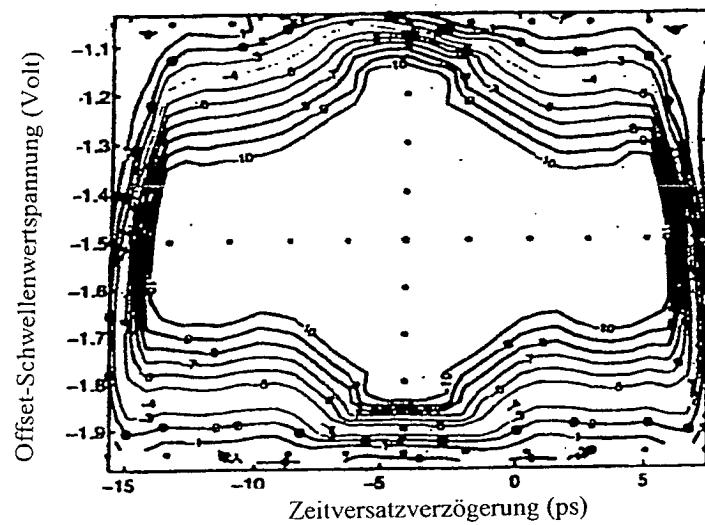
**FIG. 14C**



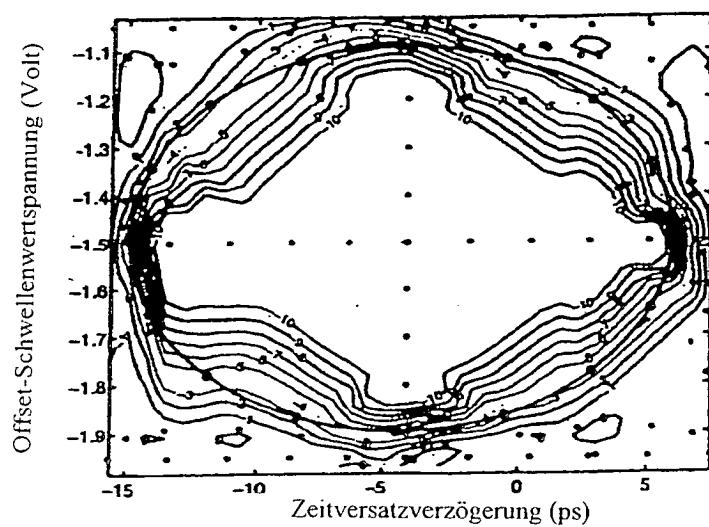
**FIG. 14D**



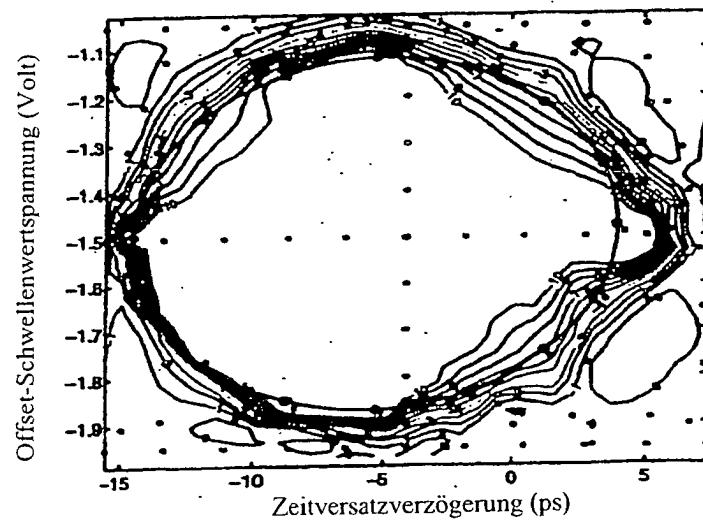
**FIG. 14E**



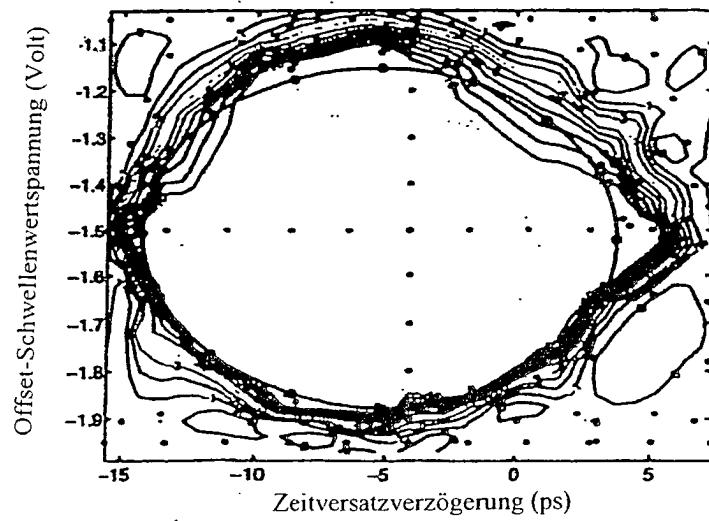
**FIG. 15A**



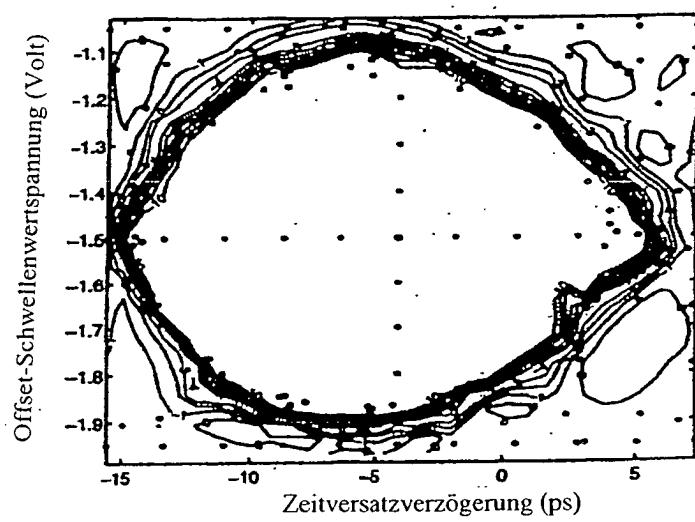
**FIG. 15B**



**FIG. 15C**



**FIG. 15D**



**FIG. 15E**