



(10) **DE 11 2020 005 481 T5** 2022.09.15

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2021/092156**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 005 481.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2020/059086**

(86) PCT-Anmeldetag: **05.11.2020**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **14.05.2021**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **15.09.2022**

(51) Int Cl.: **H04B 10/00** (2013.01)  
**G06N 3/02** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

|                   |                   |           |
|-------------------|-------------------|-----------|
| <b>62/930,681</b> | <b>05.11.2019</b> | <b>US</b> |
| <b>63/057,572</b> | <b>28.07.2020</b> | <b>US</b> |

(71) Anmelder:

**Georgia Tech Research Corporation, Atlanta, GA,  
US**

(74) Vertreter:

**HGF Europe LLP, 81673 München, DE**

(72) Erfinder:

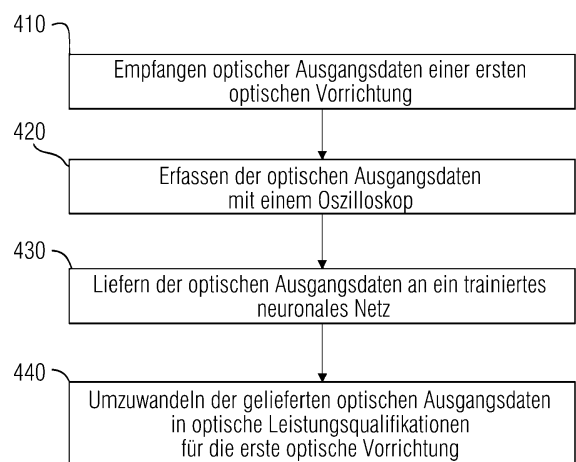
**Varughese, Siddharth Jacob, Atlanta, GA, US;  
Ralph, Stephen E., Atlanta, GA, US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNGEN, SYSTEME UND VERFAHREN ZUR BEARBEITUNG OPTISCHER  
KOMPONENTEN**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren, das Folgendes umfasst: Empfangen von optischen Ausgangsdaten einer optischen Vorrichtung; Zuführen der optischen Ausgangsdaten zu einem trainierten neuronalen Netz, das so ausgebildet ist, dass es optische Ausgangsdaten in optische Leistungsmetriken umwandelt; und Ausführen des trainierten neuronalen Netzes, um die zugeführten optischen Ausgangsdaten in optische Leistungsqualifikationen für die optische Vorrichtung umzuwandeln.

400



**Beschreibung****QUERVERWEIS AUF VERWANDTE  
ANMELDUNGEN**

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Vorteile der US Provisional Anmeldungen Nr. 62/930,681, eingereicht am 5. November 2019, und Nr. 63/057,572, eingereicht am 28. Juli 2020, die in ihrer Gesamtheit durch Bezugnahme hierin aufgenommen werden, als ob sie im Folgenden vollständig aufgeführt wären.

**TECHNISCHES GEBIET**

**[0002]** Vorrichtungen, Systeme und Verfahren zur Verarbeitung optischer Komponenten und zur Bewertung der Qualität optischer Komponenten.

**STAND DER TECHNIK**

**[0003]** Optische Komponenten können in optischen Systemen verwendet werden, um den Zustand des Lichts in einer vorhersehbaren und gewünschten Weise zu steuern und diese veränderten Zustände zu erkennen. Optische Komponenten werden z. B. häufig zur Erzeugung und Übertragung von Signalen (z. B. Datensignalen) mit hohen Geschwindigkeiten und zum Empfang und zur Erkennung optischer Signale mit hohen Raten verwendet, wodurch optische Kommunikationssysteme mit hoher Datenkapazität ermöglicht werden. Optische Komponenten können mit Licht durch Reflexion, Brechung, Beugung, Absorption usw. interagieren.

**[0004]** Die Entwicklung optischer Komponenten, z. B. die Fähigkeit, komplexe optische Wellenformen zu erzeugen und zu erkennen, die Modulationsformate höherer Ordnung repräsentieren, hat optische Kommunikationsverbindungen mit höherer Kapazität und höherem Durchsatz ermöglicht. Diese Komponenten sind eine wichtige Voraussetzung für Rechenzentrumsnetze, WDM-Glasfasernetze und ähnliche Anwendungen. Da die Verwendung optischer Komponenten weiter zunimmt und die erzeugten oder erkannten optischen Wellenformen immer ausgefeilter werden, muss die Qualität der Komponenten immer besser gewährleistet werden.

**[0005]** Im verwandten Stand der Technik werden z. B. TDECQ-Methoden (Transmission and Dispersion Eye Closure Quaternary) verwendet, um optische Sender zu qualifizieren (z. B. 5-stufige Pulsamplitudenmodulation oder „PAM-4“-Sender). Optische PAM-4-Systeme können Signalverarbeitungsmethoden am Empfänger implementieren, und daher ist TDECQ eine statistische Methode zur Bewertung der Leistung eines optischen Senders unabhängig von einem Empfänger. Diese Sender müssen, wie viele Sender für faseroptische Kommunikationssys-

teme, Wellenformen von ausreichender Qualität übertragen, damit der entsprechende Empfänger mit dynamischer Signalverarbeitung eine Kommunikationsverbindung mit einer bestimmten Leistung herstellen kann. Die genormten TDECQ-Methoden implementieren numerisch eine Signalverarbeitung in Form eines Referenz-Feed-Forward-Equalizers (FFE), der darauf abzielt, Beeinträchtigungen auf der gesamten Strecke zu mindern, einschließlich der Beeinträchtigungen, die mit dem Sender, dem optischen Kanal und einem Referenzempfänger verbunden sind. Die Sender müssen bei dieser Testmethode einen bestimmten Leistungsstandard erfüllen. TDECQ ist zwar ein nützliches Leistungsmerkmal für optische Sender, aber es handelt sich um einen rechenintensiven iterativen Prozess, so dass der Zeit-, Energie- und Speicherbedarf für die Berechnung eines TDECQ-Wertes erheblich ist. Daher werden verbesserte Geräte, Systeme und Methoden benötigt, die eine verbesserte Verarbeitung optischer Komponenten ermöglichen, um die Qualifizierungsbemühungen bei der Herstellung zu verbessern und die Leistung gemäß dem Einsatz zu gewährleisten.

**[0006]** Ein zweites Beispiel aus dem Stand der Technik sind optische Sender und Empfänger mit Quadraturamplitudenmodulation (QAM). Ähnlich wie PAM-4-Sender, die Wellenformen mit mehreren Amplituden erzeugen, verwenden QAM-Sender auch bestimmte Phasen des optischen Signals, um Daten zu kodieren. Diese Komponenten erzeugen und empfangen also optische Signale, die sowohl amplituden- als auch phasenmoduliert sind, um Daten zu kodieren. Ähnlich wie bei PAM-4-Komponenten können sowohl QAM-Sender als auch -Empfänger eine Signalverarbeitung implementieren, um sicherzustellen, dass qualitativ hochwertige Wellenformen erzeugt und empfangen werden. Dazu gehört auch die Fähigkeit, Wellenformen zu verarbeiten, um Beeinträchtigungen des Senders, des optischen Kanals oder des Empfängers abzuschwächen oder zu beseitigen. Diese optischen Komponenten müssen auch während der Produktion und Nutzung unabhängig qualifiziert werden, wobei Methoden verwendet werden, die die implementierte dynamische Signalverarbeitung berücksichtigen und sowohl effizient als auch genau sind. Daher müssen Systeme und Methoden verbessert werden, um Leistungskennzahlen für optische Komponenten zu liefern, die für die Erzeugung und den Empfang von QAM-Signalen vorgesehen sind.

**[0007]** Die Aspekte der vorliegenden Offenbarung befassen sich mit diesen und anderen Überlegungen. Gemäß einigen Aspekten der vorliegenden Offenbarung können die Vorrichtungen, Systeme und Methoden Computersystemen eine verbesserte Funktionalität bieten, um optische Komponenten schnell und effektiv zu verarbeiten und/oder zu bewerten.

## ZUSAMMENFASSUNG

## Figurenliste

**[0008]** Gemäß einer Ausführungsform wird ein Verfahren bereitgestellt, das Folgendes umfasst: Empfangen von optischen Ausgabedaten einer optischen Vorrichtung; Zuführen der optischen Ausgabedaten zu einem trainierten neuronalen Netz, das so ausgebildet ist, dass es optische Ausgabedaten in optische Leistungsmetriken umwandelt; und Ausführen des trainierten neuronalen Netzes, um die zugeführten optischen Ausgabedaten in optische Leistungsmetriken für die optische Vorrichtung umzuwandeln.

**[0009]** Gemäß einer Ausführungsform wird ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Bewertungssystems bereitgestellt, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: Erzeugen einer Vielzahl optischer Wellenformen von einer oder mehreren repräsentativen Vorrichtungen oder Systemen; Bewerten der Vielzahl optischer Wellenformen, um entsprechende Leistungsqualifikationen für die eine oder mehreren repräsentativen Vorrichtungen oder Systeme zu bestimmen; und Betreiben eines neuronalen Netzes, um das neuronale Netz mit der Vielzahl optischer Wellenformen und den entsprechenden Leistungsqualifikationen zu trainieren.

**[0010]** Gemäß einer Ausführungsform wird eine Testvorrichtung bereitgestellt, die Folgendes umfasst: einen Sender, der so ausgebildet ist, dass er ein Anfangssignal an eine erste optische Vorrichtung ausgibt, wobei die erste optische Vorrichtung so ausgebildet ist, dass sie das Anfangssignal transportiert; einen Eingang, der so ausgebildet ist, dass er das übertragene transportierte Signal von der ersten optischen Vorrichtung empfängt; mindestens einen Prozessor; und einen Speicher, in dem Befehle gespeichert sind, die, wenn sie von dem mindestens einen Prozessor ausgeführt werden, den mindestens einen Prozessor steuern, um: das Anfangssignal mit dem übertragenen Signal zu vergleichen, um optische Ausgabedaten zu erzeugen; die optischen Ausgabedaten einem trainierten neuronalen Netz zuzuführen, das ausgebildet ist, um optische Ausgabedaten in Qualifikationen für die Leistung der optischen Vorrichtung umzuwandeln; und optische Ausgabedaten der optischen Vorrichtung basierend auf dem transportierten Signal zu erzeugen; die optischen Ausgabedaten einem trainierten neuronalen Netz zuzuführen, das ausgebildet ist, um optische Ausgabedaten in optische Leistungsmetriken umzuwandeln; und das trainierte neuronale Netz auszuführen, um die zugeführten optischen Ausgabedaten in Qualifikationen für die Leistungsmetriken der optischen Vorrichtung für die erste optische Vorrichtung umzuwandeln.

**[0011]** Die beigefügten Zeichnungen, die Bestandteil dieser Beschreibung sind, veranschaulichen mehrere Ausführungsformen des vorliegenden Gegenstands und dienen dazu, die Grundsätze des vorliegenden Gegenstands zu erläutern. Die Zeichnungen sind nicht dazu bestimmt, den Umfang des gegenwärtig offenbarten Gegenstandes in irgendeiner Weise zu begrenzen.

**Fig. 1A-2B** sind Beispielumgebungen für die Umsetzung von Aspekten der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 3** ist ein Diagramm eines beispielhaften fallenden neuronalen Netzes.

**Fig. 4** ist ein Flussdiagramm, das die Bewertung optischer Komponenten gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung veranschaulicht.

**Fig. 5** ist ein Flussdiagramm, das das Training eines neuronalen Netzes gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung veranschaulicht.

**Fig. 6** zeigt ein System zur Erzeugung synthetischer Wellenformen gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 7** ist ein Blockdiagramm einer illustrativen Computersystemarchitektur gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0012]** Obwohl bestimmte Ausführungsformen der Offenbarung im Detail erläutert werden, sind selbstverständlich auch andere Ausführungsformen denkbar. Dementsprechend ist nicht beabsichtigt, dass die Offenbarung in ihrem Umfang auf die Einzelheiten der Konstruktion und Anordnung der Komponenten, die in der folgenden Beschreibung oder in den Zeichnungen dargestellt sind, beschränkt ist. Andere Ausführungsformen der Offenbarung können auf verschiedene Weise praktiziert oder ausgeführt werden. Außerdem wird bei der Beschreibung der Ausführungsformen der Klarheit halber auf eine bestimmte Terminologie zurückgegriffen. Es ist beabsichtigt, dass jeder Begriff seine weiteste Bedeutung hat, wie sie von Fachleuten verstanden wird, und alle technischen Äquivalente einschließt, die in ähnlicher Weise funktionieren, um einen ähnlichen Zweck zu erreichen.

**[0013]** Es sollte auch beachtet werden, dass die in der Beschreibung und den beigefügten Ansprüchen verwendeten Singularformen „ein“, „eine“ und „der/-die/das“ Pluralreferenzen einschließen, sofern der Kontext nicht eindeutig etwas anderes vorschreibt. Verweise auf eine Zusammensetzung, die „einen“ Bestandteil enthält, sollen neben dem genannten Bestandteil auch andere Bestandteile einschließen.

**[0014]** Bereiche können hier als von „etwa“ oder „ungefähr“ oder „im Wesentlichen“ einem bestimmten Wert und/oder bis „etwa“ oder „ungefähr“ oder „im Wesentlichen“ einem anderen bestimmten Wert ausgedrückt werden. Wenn ein solcher Bereich ausgedrückt wird, umfassen andere beispielhafte Ausführungsformen den Bereich von dem einen bestimmten Wert und/oder bis zu dem anderen bestimmten Wert.

**[0015]** Die Verwendung von Begriffen wie „mit“, „hat“, „einschließlich“ oder „umfasst“ ist offen und soll dieselbe Bedeutung haben wie Begriffe wie „umfassend“ oder „umfasst“ und schließt das Vorhandensein anderer Strukturen, Materialien oder Handlungen nicht aus. Ebenso soll die Verwendung von Begriffen wie „kann“ oder „kann“ zwar offen sein und zum Ausdruck bringen, dass Struktur, Material oder Handlungen nicht notwendig sind, aber die Nichtverwendung solcher Begriffe soll nicht zum Ausdruck bringen, dass Struktur, Material oder Handlungen wesentlich sind. Soweit Struktur, Material oder Handlungen gegenwärtig als wesentlich angesehen werden, werden sie als solche gekennzeichnet.

**[0016]** Es ist auch zu verstehen, dass die Erwähnung eines oder mehrerer Verfahrensschritte das Vorhandensein zusätzlicher Verfahrensschritte oder dazwischen liegender Verfahrensschritte zwischen diesen ausdrücklich genannten Schritten nicht ausschließt. Obwohl der Begriff „Schritt“ hier verwendet werden kann, um verschiedene Aspekte der angewandten Methoden zu bezeichnen, sollte der Begriff nicht so ausgelegt werden, dass er eine bestimmte Reihenfolge unter oder zwischen den verschiedenen hier offenbarten Schritten impliziert, es sei denn, die Reihenfolge der einzelnen Schritte ist ausdrücklich vorgeschrieben.

**[0017]** Die im Folgenden beschriebenen Komponenten, aus denen verschiedene Elemente der Offenbarung bestehen, sollen der Veranschaulichung dienen und nicht einschränkend sein. Viele geeignete Komponenten, die die gleichen oder ähnliche Funktionen wie die hier beschriebenen Komponenten erfüllen, sollen in den Anwendungsbereich der Offenbarung einbezogen werden. Solche anderen Komponenten, die hier nicht beschrieben sind, können z. B. ähnliche Komponenten umfassen, die nach der Entwicklung des gegenwärtig offenbarten Gegenstands entwickelt werden, sind aber nicht darauf beschränkt.

**[0018]** Um das Verständnis der Grundsätze und Merkmale der Offenbarung zu erleichtern, werden im Folgenden verschiedene beispielhafte Ausführungsformen erläutert. Die vorliegende Offenbarung ist jedoch nicht so beschränkt und kann auch in anderen Kontexten angewendet werden.

**[0019]** Wie bereits erwähnt, erfordert die Bewertung optischer Komponenten nach dem Stand der Technik einen intensiven, iterativen Prozess. Die Aspekte der vorliegenden Offenbarung befassen sich mit diesen und anderen Überlegungen. Gemäß einigen Aspekten der vorliegenden Offenbarung können die Geräte, Systeme und Verfahren eine verbesserte Funktionalität für Computersysteme bieten, um optische Komponenten schnell und effektiv zu verarbeiten und/oder zu bewerten. Beispielsweise wandeln Aspekte der Erfindung Augendiagrammbilder oder Echtzeit-Wellenformen unter Verwendung von maschinellem Lernen in Bewertungswerte um. In Experimenten fanden die Erfinder heraus, dass die Umsetzung von Aspekten der Offenbarung die Geschwindigkeit um das bis zu 1000-fache erhöht und damit den Betrieb des Bewertungssystems verbessert.

**[0020]** Aspekte der vorliegenden Offenbarung werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. **Fig. 1A** zeigt eine beispielhafte Umgebung 100a, in der Aspekte der vorliegenden Offenbarung implementiert werden können. Umgebung 100a zeigt ein Blockdiagramm eines Trainingssystems zum Trainieren eines neuronalen Netzes 155a, um optische Ausgabedaten (z. B. Augendiagramme oder Wellenformen) mit Komponentenleistungsmetriken zu verknüpfen. Umgebung 100a umfasst einen Referenzsender 110a, eine optische Verbindung 114 und einen kalibrierten optischen Empfänger 116 innerhalb einer Trainingsumgebung 120a. Der Referenzsender 110a ist mit einem Signal-datenkanal der Datenquelle 130 verbunden. Der Referenzsender 110a gibt eine optische Wellenform aus, die über die optische Verbindung 114 zum kalibrierten optischen Empfänger 116 transportiert wird. Der kalibrierte optische Empfänger 116 empfängt die optische Wellenform und wandelt sie in eine elektrische Wellenform um.

**[0021]** Der Datenempfänger 140 empfängt die elektrische Wellenform von dem kalibrierten optischen Empfänger 116 und digitalisiert und erfasst die Wellenform. Der Datenempfänger 140 kann einen Analog-Digital-Wandler (A to D) enthalten und beispielsweise ein Echtzeit-Oszilloskop oder ein zeitgleiches Sampling-Oszilloskop sein. Der Datenempfänger 140 liefert die abgetastete Wellenform, die der optischen Wellenform entspricht, an den Controller 150, das mit Hilfe von Algorithmen Parameterwerte für jede bestimmte empfangene Wellenform bestimmt. Die Wellenform wird mit den ermittelten Parametern gepaart und dem untrainierten neuronalen Netz 155a als Trainingssample zugeführt.

**[0022]** In einigen Fällen kann der Controller 150 (z. B. ein Computer) die Wellenform vorverarbeiten und sie in ein Augendiagramm, eine Konstellation oder eine andere Form umwandeln, die nützliche Merk-

male der Wellenform darstellt. Der Controller 150 kann dann die transformierte Wellenform mit den ermittelten Parametern paaren und die gepaarte Kombination dem neuronalen Netz 155a als Trainingssample zur Verfügung stellen. In ähnlicher Weise kann der Datenempfänger 140 die Wellenform vorverarbeiten, indem er sie in ein Augendiagramm, eine Konstellation oder eine andere Form transformiert, die die nützlichen Merkmale der Wellenform darstellt. In solchen Fällen kann die umgewandelte Wellenform (z. B. das Augendiagramm oder die Konstellation) dem Controller 150 zur Verfügung gestellt werden, das dann dem untrainierten neuronalen Netz 155a als Trainings-Sample mit einem gepaarten bestimmten Parameter bereitgestellt wird.

**[0023]** Der Controller 150 kann die Datenquelle 130 und/oder die Trainingsumgebung 120a so ausbilden, dass Wellenformen erzeugt werden, die für einen Leistungsbereich der zu testenden Sender repräsentativ sind. Beispielsweise kann der Controller 150 die Datenquelle 130 zwingen, eine Wellenform auszugeben, die den Referenzsender 110a veranlasst, tatsächliche Komponenten mit verschiedenen Belastungen zu emulieren. Ferner kann der Controller 150 die optische Verbindung 114 und/oder den kalibrierten optischen Empfänger 116 so steuern, dass verschiedene Belastungen der Kommunikationsverbindung (z. B. Reflexion, Temperatur, Dispersion und Bandbreitenbeschränkungen) emuliert werden.

**[0024]** Bei der optischen Verbindung 114 kann es sich um eine kurze (z. B. nominale) Faserlänge handeln, die den Referenzsender 110a mit dem kalibrierten optischen Empfänger 116 verbindet, aber dies ist nur ein Beispiel. In einigen Fällen kann die optische Verbindung 114 ein optisches Kabel sein, das eine realistische Faserverbindung zwischen einem Sender und einem Empfänger darstellt. In einigen Fällen kann die optische Verbindung 114 aus Multimode-Fasern, Singlemode-Fasern und/oder verketteten Längen verschiedener Fasertypen bestehen. Die optische Verbindung 114 kann auch passive und aktive Komponenten enthalten, z. B. Stecker, Schalter, Verstärker und Filter. In einigen Fällen kann die optische Verbindung 114 teilweise oder vollständig künstlich sein, um verschiedene Filter oder andere Belastungen leichter in die Kommunikationsverbindung der Trainingsumgebung 120a einbringen zu können.

**[0025]** Fig. 1B zeigt eine beispielhafte Umgebung 100b, in der Aspekte der vorliegenden Offenbarung umgesetzt werden können. Umgebung 100b zeigt ein Blockdiagramm eines Testsystems zur Bewertung eines zu testenden Senders 110b auf der Grundlage seiner zugehörigen optischen Ausgangsdaten (z. B. Augendiagramme oder Wellenformen). Die Umgebung 100b umfasst einen zu testenden Sender 110b, eine optische Verbindung 114 und

einen kalibrierten optischen Empfänger 116 in einer Testumgebung 120b. Der Referenzsender 110b ist mit einem Signaldatenkanal der Datenquelle 130 verbunden. Der Referenzsender 110b gibt eine optische Wellenform aus, die über die optische Verbindung 114 zum kalibrierten optischen Empfänger 116 transportiert wird. Der kalibrierte optische Empfänger 116 empfängt eine optische Wellenform und wandelt sie in eine elektrische Wellenform um.

**[0026]** Der Datenempfänger 140 empfängt die elektrische Wellenform von dem kalibrierten optischen Empfänger 116 und digitalisiert und erfasst die elektrische Wellenform. Der Datenempfänger 140 kann einen Analog-Digital-Wandler (A to D) enthalten und beispielsweise ein Echtzeit-Oszilloskop oder ein zeitgleiches Sampling-Oszilloskop sein. Der Datenempfänger 140 liefert die abgetastete Wellenform an den Controller 150, der die Wellenform an das trainierte neuronale Netz 155b weiterleitet. Das trainierte neuronale Netz 155b verarbeitet die Wellenform und wandelt sie um, um Parameter des zu testenden Senders 110b zu erzeugen.

**[0027]** In einigen Fällen kann der Controller 150 (z. B. ein Computer) die Wellenform vorverarbeiten und sie in ein Augendiagramm, eine Konstellation oder eine andere Form umwandeln, die nützliche Merkmale der Wellenform darstellt. Der Controller 150 kann die umgewandelte Wellenform dem neuronalen Netz 155b zum Testen zur Verfügung stellen, und das neuronale Netz 155b kann die Eingabe in Parameter des zu testenden Senders 110b umwandeln. In ähnlicher Weise kann der Datenempfänger 140 die Wellenform vorverarbeiten, indem er sie in ein Augendiagramm, eine Konstellation oder eine andere Form transformiert, die nützliche Merkmale der Wellenform darstellt. In solchen Fällen kann die umgewandelte Wellenform (z. B. das Augendiagramm oder die Konstellation) dem Controller 150 zugeführt werden, das dann dem trainierten neuronalen Netz 155b zur Verarbeitung zugeführt wird.

**[0028]** Der Controller 150 kann die Datenquelle 130 und/oder die Testumgebung 120b so konfigurieren, dass Wellenformen erzeugt werden, die für einen Leistungsbereich der zu testenden Sender repräsentativ sind. Beispielsweise kann der Controller 150 die Datenquelle 130 zwingen, eine belastete Wellenform an den zu testenden Sender 110b in Übereinstimmung mit verschiedenen Testbedingungen auszugeben. Darüber hinaus kann der Controller 150 die optische Verbindung 114 und/oder den kalibrierten optischen Empfänger 116 steuern, um verschiedene Belastungen der Kommunikationsverbindung zu emulieren (z. B. Reflexion, Temperatur und Bandbreitenbeschränkungen).

**[0029]** Bei der optischen Verbindung 114 kann es sich um eine kurze (z. B. nominale) Faserlänge han-

deln, die den Referenzsender 110b mit dem kalibrierten optischen Empfänger 116 verbindet, aber dies ist nur ein Beispiel. In einigen Fällen kann die optische Verbindung 114 ein langes optisches Kabel sein, das beispielsweise eine tatsächliche Faserverbindung zwischen einem Sender und einem Empfänger darstellt. In einigen Fällen kann die optische Verbindung 114 aus Multimode- oder Singlemode-Fasern bestehen. Die optische Verbindung 114 kann auch passive und aktive Komponenten enthalten, z. B. Stecker, Schalter, Verstärker und Filter. In einigen Fällen kann die optische Verbindung 114 teilweise oder vollständig künstlich sein, um verschiedene Belastungen leichter in die Kommunikationsverbindung der Testumgebung 120b einzubringen.

**[0030]** Fig. 2A zeigt eine beispielhafte Umgebung 200a, in der Aspekte der vorliegenden Offenbarung implementiert werden können. Umgebung 200a zeigt ein Blockdiagramm eines Trainingssystems zum Trainieren eines neuronalen Netzes 155a, um optische Ausgabedaten (z. B. Augendiagramme oder Wellenformen) mit Komponentenleistungsmetriken zu verknüpfen. Umgebung 200a umfasst eine Trainingsumgebung 220a, die mit einem Signaldatenkanal der Datenquelle 130 verbunden ist. Die Trainingsumgebung 220a kann eine Kommunikationsverbindung mit einer oder mehreren optischen Komponenten umfassen, um den potenziellen Betrieb der später zu testenden Komponenten zu emulieren. Zu den optischen Komponenten können beispielsweise Komponenten oder Produkte gehören, die Datensignale mit sehr hohen Raten senden, empfangen oder übertragen, z. B. Hochgeschwindigkeits-Datenkommunikations- und Telekommunikationsnetzwerk-ausrüstung wie Switches und Router, Glasfasersysteme einschließlich Komponenten, Verbindungen und/oder Kanäle, Kabel, Chip-to-Chip-Kommunikationsverbindungen und optische Sender, Empfänger und/oder Transceiver.

**[0031]** Der Datenempfänger 140 empfängt eine elektrische Wellenform aus der Trainingsumgebung 220a und digitalisiert und erfasst die Wellenform. Der Datenempfänger 140 kann einen Analog-Digital-Wandler (A to D) enthalten und beispielsweise ein Echtzeit-Oszilloskop oder ein zeitgleiches Sampling-Oszilloskop sein. Der Datenempfänger 140 stellt die abgetastete Wellenform dem Controller 150 zur Verfügung, das mit Hilfe eines oder mehrerer Algorithmen Parameterwerte für jede bestimmte empfangene Wellenform bestimmt. Die Wellenform wird mit den ermittelten Parametern gepaart und dem untrainierten neuronalen Netz 155a als Trainingssample zugeführt.

**[0032]** In einigen Fällen kann der Controller 150 (z. B. ein Computer) die Wellenform vorverarbeiten, indem er sie in ein Augendiagramm, eine Konstellation oder eine andere Form transformiert, die nützli-

che Merkmale der Wellenform darstellt. Der Controller 150 kann dann die transformierte Wellenform mit den ermittelten Parametern paaren und die gepaarte Kombination dem neuronalen Netz 155a als Trainingssample zur Verfügung stellen. In ähnlicher Weise kann der Datenempfänger 140 die Wellenform vorverarbeiten, indem er sie in ein Augendiagramm, eine Konstellation oder eine andere Form transformiert, die nützliche Merkmale der Wellenform darstellt. In solchen Fällen kann die umgewandelte Wellenform (z. B. das Augendiagramm oder die Konstellation) dem Controller 150 zur Verfügung gestellt werden, das dann dem untrainierten neuronalen Netz 155a als Trainingssample mit einem gepaarten bestimmten Parameter bereitgestellt wird.

**[0033]** Der Controller 150 kann die Datenquelle 130 und/oder die Trainingsumgebung 220a so konfigurieren, dass Wellenformen erzeugt werden, die für einen Leistungsbereich der zu testenden Sender repräsentativ sind. Beispielsweise kann der Controller 150 die Datenquelle 130 zwingen, eine Wellenform auszugeben, die die Umgebung 220a veranlasst, tatsächliche Komponenten mit verschiedenen Belastungen zu emulieren. Darüber hinaus kann der Controller 150 andere Teile der optischen Kommunikationsverbindung steuern, um verschiedene Belastungen der Kommunikationsverbindung zu emulieren (z. B. Reflexion, Temperatur und Bandbreitenbegrenzung).

**[0034]** Fig. 2B zeigt eine beispielhafte Umgebung 200b, in der Aspekte der vorliegenden Offenbarung implementiert werden können. Umgebung 200b zeigt ein Blockdiagramm eines Testsystems zur Bewertung einer generisch optischen Komponente, die mit der Testumgebung 220b auf der Grundlage ihrer zugehörigen optischen Ausgangsdaten (z. B. Augendiagramme oder Wellenformen) getestet wird. Die Umgebung 200b umfasst eine Testumgebung 220b, die mit einem Signaldatenkanal der Datenquelle 130 verbunden ist. Eine zu testende Komponente in der Testumgebung 220b überträgt eine elektrische Wellenform an den Datenempfänger 140. Wie ein Fachmann im Lichte der vorliegenden Offenbarung verstehen wird, kann die zu testende Komponente ein oder mehrere Teile einer optischen Kommunikationsverbindung sein. Zu den zu testenden optischen Komponenten können beispielsweise Komponenten oder Produkte gehören, die Datensignale mit sehr hohen Raten senden, empfangen oder übertragen, wie z. B. Hochgeschwindigkeits-Datenkommunikations- und Telekommunikations-Netzwerk-ausrüstungen wie Switches und Router, faseroptische Systeme einschließlich Komponenten, Verbindungen und/oder Kanäle, Kabel, Chip-to-Chip-Kommunikationsverbindungen und optische Sender, Empfänger und/oder Transceiver.

**[0035]** Der Datenempfänger 140 empfängt die elektrische Wellenform von dem kalibrierten optischen Empfänger 116 und digitalisiert und erfasst die elektrische Wellenform. Der Datenempfänger 140 kann einen Analog-Digital-Wandler (A to D) enthalten und beispielsweise ein Echtzeit-Oszilloskop oder ein zeitgleiches Sampling-Oszilloskop sein. Der Datenempfänger 140 liefert die abgetastete Wellenform an den Controller 150, der die Wellenform an das trainierte neuronale Netz 155b weiterleitet. Das trainierte neuronale Netz 155b verarbeitet die Wellenform und wandelt sie um, um Parameter der zu testenden Komponente zu erzeugen.

**[0036]** In einigen Fällen kann der Controller 150 (z. B. ein Computer) die Wellenform vorverarbeiten und sie in ein Augendiagramm, eine Konstellation oder eine andere Form umwandeln, die nützliche Merkmale der Wellenform darstellt. Der Controller 150 kann die umgewandelte Wellenform dem neuronalen Netz 155b zum Testen zur Verfügung stellen, und das neuronale Netz 155b kann die Eingabe in Parameter der zu testenden Komponente umwandeln. In ähnlicher Weise kann der Datenempfänger 140 die Wellenform vorverarbeiten, indem er sie in ein Augendiagramm, eine Konstellation oder eine andere Form transformiert, die nützliche Merkmale der Wellenform darstellt. In solchen Fällen kann die umgewandelte Wellenform (z. B. das Augendiagramm oder die Konstellation) dem Controller 150 zugeführt werden, das dann dem trainierten neuronalen Netz 155b zur Verarbeitung zugeführt wird.

**[0037]** Der Controller 150 kann die Datenquelle 130 und/oder die Testumgebung 220b so konfigurieren, dass Wellenformen erzeugt werden, die für einen Leistungsbereich der zu testenden Sender repräsentativ sind. Beispielsweise kann der Controller 150 die Datenquelle 130 zwingen, eine belastete Wellenform an die Testumgebung 220b in Übereinstimmung mit verschiedenen Testbedingungen auszugeben. Darüber hinaus kann der Controller 150 auch andere Teile der optischen Testumgebung 220b als die zu testende Komponente steuern, um verschiedene Belastungen der Kommunikationsverbindung zu emulieren (z. B. Reflexion, Temperatur und Bandbreitenbeschränkungen).

**[0038]** Fig. 3 ist ein Diagramm eines beispielhaften faltenden neuronalen Netzes 300 gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung. Das neuronale Netz 300 kann ein neuronales Netz 155 sein, das vom Controller 150 implementiert wird. Das neuronale Netz 300 kann als Eingabe eine Wellenform oder ein Augendiagramm 301 empfangen und die Wellenform oder das Diagramm in Leistungsqualifikationen für eine optische Komponente (z. B. die optische Komponente 110) umwandeln. Bei dem neuronalen Netz 300 kann es sich um ein faltendes neuronales Netz handeln. In einigen Fällen kann das

neuronale Netz 300 ein eindimensionales neuronales Netz (z. B. zur Verarbeitung einer Wellenform) oder ein zweidimensionales neuronales Netz (z. B. zur Verarbeitung eines Augendiagramms) sein. Ein Fachmann wird 155 als „faltendes neuronales Netz“ (convolutional neural network; CNN, ConvNet) oder „neuronales Netz“ erkennen, auch wenn die spezifische neuronale Knotenstruktur 350 (z. B. ein vollständig verbundener Layer) auf den Faltungslayer folgt.

**[0039]** Das neuronale Netz 300 kann eine Vielzahl von Layern aufweisen, die so ausgebildet sind, dass sie Merkmale extrahieren und/oder verbessern, wobei sie die Daten komprimieren und dies iterativ tun. Beispielsweise kann das neuronale Netz 300 zwei oder mehr Layer (z. B. Merkmals-Extraktions-Layer) 310, 320, 330 aufweisen. Jeder Extraktions-Layer 310, 320, 330 kann einen entsprechenden Faltungslayer 314, 324, 334, eine entsprechende korrigierte Linear-Einheit 316, 326, 336 und einen Pooling-Layer 318, 328, 338 umfassen. Der erste Extraktions-Layer 310 kann ein Eingabe-Layer 310 sein, der als Eingabe die Wellenform oder das Augendiagramm 301 oder eine andere Ausgabe eines Vorverarbeitungsvorgangs erhält. Der zweite Faltungslayer 320 kann die Ausgabe des ersten Layers 310 als Eingabe erhalten und eine sekundäre Verarbeitung der Wellenform oder des Augendiagramms 301 durchführen. Der dritte Faltungslayer 330 kann die Ausgabe des zweiten Faltungslayers 320 empfangen und eine tertiäre Verarbeitung der Wellenform oder des Augendiagramms 301 durchführen. Ein Fachmann wird erkennen, dass sich der Begriff „Faltungslayer“ (Konvolutionslayer; convolution layer) auf eine Vielzahl von Funktionen und/oder teilbaren Layern innerhalb des Verarbeitungs-Layers 310, 320 und 330 beziehen kann.

**[0040]** Die Faltungslayer und Pooling-Layer der zweiten und dritten Extraktions-Layer 320, 330 können mit kleineren Datensätzen arbeiten als die Faltungslayer und Pooling-Layer der vorherigen Extraktions-Layer. Beispielsweise kann der Eingangs-Faltungslayer 314 eine Größe von mehr als 40x30 (z. B. 47x37) haben und 30 oder mehr Filter enthalten, der zweite Faltungslayer 324 kann eine Größe von mehr als 15x15 (z. B. 17x17) haben und 10 oder mehr Filter enthalten, und der dritte Faltungslayer 334 kann eine Größe von mehr als 5x5 (z. B. 7x7) haben und 8 Filter enthalten. In ähnlicher Weise kann der Eingangs-Pooling-Layer 318 eine Größe von etwa 41x31 und einen Stride von etwa 15 haben, der zweite Pooling-Layer 328 kann eine Größe von etwa 13x13 und einen Stride von etwa 6 haben, und der dritte Pooling-Layer 338 kann eine Größe von etwa 7x7 und einen Stride von etwa 4 haben. Wie ein Fachmann verstehen wird, bezieht sich das hier gegebene Beispiel auf ein zweidimensionales CNN, und ein eindimensionales CNN kann

ebenfalls oder alternativ implementiert werden. Wie dem Fachmann klar sein wird, können der Pooling-Layer ein Max-Pooling-Layer sein.

**[0041]** Die Ausgabe von dem letzten Faltungs-Extraktions-Layer 310, 320, 330 wird an einen Dropout-Layer 340 weitergeleitet, der während des Trainings nach dem Zufallsprinzip Knoten auslässt, um eine Überanpassung zu reduzieren und den Generalisierungsfehler im trainierten neuronalen Netz 300 zu verbessern. Im Anschluss an den Dropout-Layer 340 gibt die neuronale Knotenstruktur 350 die Leistungsqualifikationen für eine optische Komponente aus. Die neuronale Knotenstruktur 350 kann, als nicht einschränkende Beispiele, ein neuronales Regressions-Netzwerk sein, das Informationen aus den vorhergehenden Layern nimmt und sie auf einen reellwertigen Skalar wie den numerischen Wert einer Qualifikationsmetrik abbildet, oder ein Klassifizierungs-Layer, der die Informationen aus den vorhergehenden Layern nimmt und sie auf eine der vielen vordefinierten Entitäten abbildet, die vom Benutzer beim Training des neuronalen Netzes festgelegt wurden.

**[0042]** Fig. 4 ist ein Flussdiagramm 400, das die Bewertung optischer Komponenten gemäß einer Ausführungsform veranschaulicht. Das Verfahren kann beispielsweise durch ein Testsystem implementiert werden, z. B. das Testsystem 100b oder 200b, das eine oder mehrere Komponenten enthält, die in den Fig. 1B und Fig. 2B beschrieben sind, aber dies ist lediglich ein Beispiel. Das Testsystem empfängt 410 optische Ausgangsdaten einer ersten optischen Vorrichtung (z. B. des zu testenden Senders 110b). Bei der optischen Vorrichtung kann es sich z. B. um einen optischen Sender handeln. Das Testsystem erfasst 420 die optischen Ausgangsdaten, z. B. mit einem Oszilloskop.

**[0043]** In einigen Fällen können die Ausgangsdaten mit Hilfe einer Test- und Messvorrichtung empfangen 410 und erfasst 420 werden. Die Test- und Messvorrichtung kann ein Anfangssignal an die erste optische Vorrichtung ausgeben. Das Ausgangssignal kann beispielsweise dazu bestimmt sein, von oder durch die erste optische Vorrichtung übertragen zu werden. Die Ausgabe der ersten optischen Vorrichtung kann dann von der ersten optischen Vorrichtung gelesen werden. In einigen Fällen ist das Ausgangssignal ein analoges Ausgangssignal und das Lesesignal ein analoges Lesesignal. Das Test- und Messsystem kann zunächst das anfängliche digitale Signal in ein anfängliches analoges Signal umwandeln und das anfängliche analoge Signal an die optische Vorrichtung liefern. In ähnlicher Weise kann das Ausgangssignal der optischen Vorrichtung ein analoges Lesesignal sein, und das Test- und Messsystem kann das analoge Lesesignal in ein digitales Lesesignal umwandeln, bevor oder als Teil der Erzeugung

der optischen Wellenform und/oder des Augendiagramms. In einigen Fällen kann das Eingangssignal für den Test festgelegt werden, dies ist jedoch nur ein Beispiel. In einigen Fällen kann das Eingangssignal variabel sein, und das Test- und Messsystem kann z. B. das Ausgangssignal mit dem gelesenen Signal vergleichen, um optische Ausgangsdaten zu bestimmen. Ein variables Eingangssignal kann zum Testen verschiedener Aspekte oder Merkmale einer optischen Vorrichtung oder zum Testen der optischen Vorrichtung unter verschiedenen Bedingungen verwendet werden. Durch den Vergleich des Eingangssignals mit dem Ausgangssignal kann sich das System an veränderte Tests oder Umstände anpassen.

**[0044]** Bei den erfassten optischen Ausgangsdaten kann es sich um eine optische Wellenform handeln. Das Testsystem liefert 430 die erfassten optischen Ausgangsdaten an ein trainiertes neuronales Netz. Beispielsweise kann das Testsystem die optische Wellenform 430 direkt an das neuronale Netz weiterleiten. Dies ist jedoch nur ein Beispiel. In einigen Fällen kann das Testsystem die Wellenform zunächst vorverarbeiten, indem es die Wellenform beispielsweise in ein Augendiagramm umwandelt. Das Testsystem kann dann das Augendiagramm 430 an das neuronale Netz weiterleiten.

**[0045]** Das neuronale Netz wird ausgeführt 440, um die gelieferten optischen Ausgangsdaten in Leistungsqualifikationen für die erste optische Vorrichtung umzuwandeln. Bei dem neuronalen Netz kann es sich um ein faltendes neuronales Netz handeln. Wenn die gelieferten optischen Ausgangsdaten einer optischen Wellenform entsprechen, kann das neuronale Netz ein eindimensionales neuronales Netz sein. Entsprechen die gelieferten optischen Ausgangsdaten einem Augendiagramm, kann das neuronale Netz ein zweidimensionales neuronales Netz sein. Dies sind jedoch nur Beispiele.

**[0046]** Es ist bekannt, dass die Leistung optischer Komponenten durch angeschlossene oder enthaltene elektrische Komponenten beeinträchtigt werden kann. So enthalten optische Sende- und Empfangsgeräte häufig einen elektrischen Verstärker und einen optischen Modulator. Dementsprechend können die elektrischen Komponenten getrennt von den optischen Teilen eines optischen Bauteils getestet werden, wie es für einen Fachmann im Lichte der vorliegenden Offenbarung verständlich ist.

**[0047]** Fig. 5 ist ein Flussdiagramm 500, das das Training eines neuronalen Netzes gemäß einer Ausführungsform illustriert. Das Verfahren umfasst die Erzeugung 510 einer optischen Wellenform von einer optischen Vorrichtung (z. B. einer repräsentativen optischen Vorrichtung). Das Erzeugen der optischen Wellenform kann beinhalten, dass die optische Vorrichtung in eine Testmaschine eingesetzt

wird, dass die optische Vorrichtung veranlasst wird, Wellenformen auszugeben, die einem Bereich von Verhaltensweisen entsprechen, die Beeinträchtigungen oder eine nicht-ideale Leistung darstellen, und dass ein Ausgangssignal der Vorrichtung mit einem Oszilloskop erfasst wird.

**[0048]** In einigen Fällen kann die Erzeugung der optischen Wellenformen die Erstellung synthetischer Wellenformen umfassen, die einem oder mehreren virtuellen Vorrichtungen (z. B. einer virtuellen optischen Vorrichtung) oder Systemen (z. B. einem optischen Kommunikationssystem) entsprechen. Ein optisches Kommunikationssystem oder eine optische Kommunikationsverbindung kann einen optischen Sender, einen optischen Empfänger, einen dazwischen geschalteten optischen Pfad (z. B. einen faseroptischen Pfad) und zugehörige Elemente umfassen. Dies kann die Modellierung virtueller optischer Vorrichtungen und die Erstellung von Wellenformen auf der Grundlage der modellierten Vorrichtung umfassen. Die erzeugten Wellenformen können definierten Geräteparametern entsprechen, die die Leistung der virtuellen Vorrichtung steuern. Dies ist jedoch nur ein Beispiel. In einigen Fällen kann eine synthetische Wellenform die Steuerung eines Lasers zur Ausgabe eines Signals, die Verarbeitung (z. B. Modulation) des Signals mit einem Modulator und die Erfassung des modulierten Signals mit einem Oszilloskop als synthetische Wellenform umfassen. Eine Vielzahl optischer Wellenformen kann durch Modifizierung des Ausgangs eines mit dem Modulator verbundenen Datengenerators erzeugt werden. In einigen Fällen kann ein Filter über das modulierte Signal implementiert werden, der Bandbreitenbeschränkungen nachbilden kann. In Anbetracht der vorliegenden Offenbarung wird ein Fachmann erkennen, dass es alternative Methoden zur Erzeugung von Wellenformen gibt, die den gewünschten Leistungsbereich optischer Geräte und Systeme darstellen.

**[0049]** Das Verfahren umfasst außerdem die Bewertung der optischen Wellenform, um die jeweiligen Leistungsqualifikationen für die optische Vorrichtung zu bestimmen. Die Bewertung kann z. B. mit einem dem Stand der Technik entsprechenden TDECQ-Ansatz durchgeführt werden. Wenn dann weitere Wellenformen benötigt werden (425-Ja), wird eine neue Wellenform erzeugt. Wird die optische Wellenform synthetisch erzeugt 510, kann die dem Modulator zugeführte Leistung und/oder die Bandbreite des Filters angepasst werden, um unterschiedliche Wellenformen zu erzeugen.

**[0050]** Sobald genügend Wellenformen und Bewertungen zusammengestellt sind (425-No), wird ein neuronales Netz betrieben 530, um das neuronale Netz mit der Vielzahl der optischen Wellenformen und den jeweiligen Leistungsqualifikationen zu trai-

nieren. In einigen Fällen werden die Wellenformen vor dem Training des neuronalen Netzes in Augendiagramme umgewandelt. Auf diese Weise kann das neuronale Netz darauf trainiert werden, entweder Wellenformen direkt oder Augendiagramme zu verarbeiten. In einigen Fällen können die Wellenformen schneller verarbeitet werden, allerdings auf Kosten einer etwas geringeren Genauigkeit.

**[0051]** In einer Ausführungsform kann das neuronale Netz, das bereits in einem anderen Testversuch trainiert wurde, mit Hilfe von Transfer-Learning-Techniken neu trainiert werden, um Änderungen im neuen Testversuch zu berücksichtigen, z. B. Änderungen im spezifischen Analog-Digital-Wandler, in den Kabeln oder in anderer Testhardware. Ein solches Transfer-Lernen kann die Zeit, die für das erneute Trainieren des neuen neuronalen Netzes benötigt wird, bei gleichbleibend guter Leistung verkürzen.

**[0052]** Fig. 6 ist ein Blockdiagramm, das ein System zur Erzeugung synthetischer Wellenformen 600 gemäß einer Ausführungsform zeigt. Das System 600 zur Erzeugung synthetischer Wellenformen kann synthetische Wellenformen für das Training des neuronalen Netzes (z. B. des neuronalen Netzes 155 und/oder 300) erzeugen. Das System 600 kann einen Laser 610 verwenden, der durch einen Modulator 630 basierend auf dem Ausgang eines Wellenformgenerators 620 moduliert wird. Der Wellenformgenerator 620 kann ein Generator für beliebige Wellenformen sein. Zusätzlich kann das System 600 einen Gauß-Filter implementieren, um Bandbreitenbeschränkungen zu emulieren. Dementsprechend kann das System 600 dispersive Effekte von Singlemode-Fasern erfassen, ähnlich den Auswirkungen von Singlemode-Fasern mit kurzer Reichweite. Die Steuerspannung des Modulators 630 und/oder die Bandbreite des Filters können variiert werden, um eine Vielzahl von Augendiagrammen zu erhalten. Die Augendiagramme können mit dem Analog-Digital-Wandler 650 umgewandelt werden. Diese Signal-Augendiagramme können bewertet werden (z. B. unter Verwendung eines verwandten TDECQ-Ansatzes), um einen Bewertungswert zu berechnen. Durch wiederholte Durchführung dieses Vorgangs kann ein synthetischer Trainingssatz von Augendiagrammen und Bewertungswerten zum Trainieren und Testen des neuronalen Netzes 660 erzeugt werden. Durch die Verwendung eines Systems zur Erzeugung synthetischer Wellenformen (600) kann ein breiterer Bereich von Bewertungswerten und Augendiagrammtypen verwendet werden, als dies normalerweise für einen Trainingssatz möglich wäre. Dementsprechend kann in einigen Fällen der Betrieb eines Bewertungssystems weiter verbessert werden.

**[0053]** Fig. 7 ist ein Blockdiagramm einer illustrativen Computersystemarchitektur 700 gemäß einer

beispielhaften Implementierung. Ein Fachmann wird angesichts der vorliegenden Offenbarung verstehen, dass Aspekte der vorliegenden Offenbarung unter Verwendung eines oder mehrerer Elemente der Computersystemarchitektur 700 implementiert werden können. Es versteht sich, dass die Datenverarbeitungsarchitektur 700 nur als Beispiel dient und den Umfang der verschiedenen Implementierungen der vorliegenden offengelegten Systeme, Verfahren und computerlesbaren Datenträger nicht einschränkt.

**[0054]** Die Datenverarbeitungsarchitektur 700 von **Fig. 7** umfasst eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU) 702, in der Computerbefehle verarbeitet werden, und eine Anzeigeschnittstelle 704, die als Kommunikationsschnittstelle fungiert und Funktionen für die Wiedergabe von Videos, Grafiken, Bildern und Texten auf dem Display bereitstellt. In bestimmten beispielhaften Implementierungen der offengelegten Technologie kann die Anzeigeschnittstelle 704 direkt mit einem lokalen Display verbunden sein, beispielsweise mit einem Touchscreen-Display, das mit einem mobilen Computergerät verbunden ist. In einer anderen beispielhaften Implementierung kann die Anzeigeschnittstelle 704 so ausgebildet sein, dass sie Daten, Bilder und andere Informationen für eine externe/entfernte Anzeige 750 bereitstellt, die nicht unbedingt physisch mit dem mobilen Computergerät verbunden ist. So kann beispielsweise ein Desktop-Monitor zur Spiegelung von Grafiken und anderen Informationen verwendet werden, die auf einem mobilen Computergerät angezeigt werden. In bestimmten beispielhaften Implementierungen kann die Anzeigeschnittstelle 704 drahtlos, z. B. über einen Wi-Fi-Kanal oder eine andere verfügbare Netzwerk-Verbindungsschnittstelle 712 mit dem externen/entfernten Display 750 kommunizieren.

**[0055]** In einer beispielhaften Implementierung kann die Netzwerkverbindungsschnittstelle 712 als Kommunikationsschnittstelle ausgebildet sein und Funktionen zur Wiedergabe von Videos, Grafiken, Bildern, Text, anderen Informationen oder einer beliebigen Kombination davon auf dem Display bereitstellen. In einem Beispiel kann eine Kommunikationsschnittstelle einen seriellen Anschluss, einen parallelen Anschluss, einen GPIO-Anschluss (General Purpose Input and Output), einen Spieleanschluss, einen USB-Anschluss (Universal Serial Bus), einen Micro-USB-Anschluss, einen HDMI-Anschluss (High Definition Multimedia), einen Videoanschluss, einen Audioanschluss, einen Bluetooth-Anschluss, einen NFC-Anschluss (Near Field Communication), eine andere ähnliche Kommunikationsschnittstelle oder eine beliebige Kombination davon umfassen. In einem Beispiel kann die Anzeigeschnittstelle 704 operativ mit einer lokalen Anzeige gekoppelt sein, z. B. mit einem Touchscreen-Display, das mit einem mobilen Gerät verbunden ist. In einem anderen Bei-

spiel kann die Anzeigeschnittstelle 704 so ausgebildet sein, dass sie Videos, Grafiken, Bilder, Text, andere Informationen oder eine beliebige Kombination davon für eine externe/entfernte Anzeige 750 bereitstellt, die nicht unbedingt mit dem mobilen Computergerät verbunden ist. In einem Beispiel kann ein Desktop-Monitor zur Spiegelung oder Erweiterung grafischer Informationen verwendet werden, die auf einem mobilen Gerät dargestellt werden können. In einem anderen Beispiel kann die Anzeigeschnittstelle 704 drahtlos kommunizieren, z. B. über die Netzwerkverbindungsschnittstelle 712, wie z. B. einen Wi-Fi-Transceiver, mit der externen/entfernten Anzeige 750.

**[0056]** Die Datenverarbeitungsarchitektur 700 kann eine Tastaturschnittstelle 706 enthalten, die eine Kommunikationsschnittstelle zu einer Tastatur bereitstellt. In einer beispielhaften Implementierung kann die Datenverarbeitungsarchitektur 700 eine anwesenheitsempfindliche Anzeigeschnittstelle 708 zur Verbindung mit einer anwesenheitsempfindlichen Anzeige 705 umfassen. Gemäß bestimmten beispielhaften Implementierungen der offengelegten Technologie kann die anwesenheitsempfindliche Anzeigeschnittstelle 708 eine Kommunikationsschnittstelle zu verschiedenen Geräten wie einem Zeigergerät, einem Touchscreen, einer Tiefenkamera usw. bereitstellen, die mit einer Anzeige verbunden sein können oder auch nicht.

**[0057]** Die Datenverarbeitungsarchitektur 700 kann so ausgebildet sein, dass sie ein Eingabegerät über eine oder mehrere Eingabe-/Ausgabeschnittstellen (z. B. die Tastaturschnittstelle 706, die Anzeigeschnittstelle 704, die anwesenheitsempfindliche Anzeigeschnittstelle 708, die Netzwerkverbindungsschnittstelle 712, die Kameraschnittstelle 714, die Tonschnittstelle 716 usw.) verwendet, damit ein Benutzer Informationen in die Datenverarbeitungsarchitektur 700 eingeben kann. Das Eingabegerät kann eine Maus, einen Trackball, ein Steuerkreuz, ein Trackpad, ein berührungsempfindliches Trackpad, ein präsenzsensitives Trackpad, ein präsenzsensitives Display, ein Scrollrad, eine Digitalkamera, eine digitale Videokamera, eine Webkamera, ein Mikrofon, einen Sensor, eine Smartcard und dergleichen umfassen. Darüber hinaus kann das Eingabegerät in die Datenverarbeitungsarchitektur 700 integriert sein oder ein separates Gerät sein. Beispielsweise kann das Eingabegerät ein Beschleunigungsmesser, ein Magnetometer, eine Digitalkamera, ein Mikrofon und ein optischer Sensor sein.

**[0058]** Beispielhafte Implementierungen der Datenverarbeitungsarchitektur 700 können eine Antennenschnittstelle 710 umfassen, die eine Kommunikationsschnittstelle zu einer Antenne bereitstellt; eine Netzwerkverbindungsschnittstelle 712, die eine Kommunikationsschnittstelle zu einem Netz bereitstellt. Wie

oben erwähnt, kann die Anzeigeschnittstelle 704 mit der Netzverbindungsschnittstelle 712 kommunizieren, um beispielsweise Informationen für die Anzeige auf einer entfernten Anzeige bereitzustellen, die nicht direkt mit dem System verbunden oder angeschlossen ist. In bestimmten Implementierungen ist eine Kameraschnittstelle 714 vorgesehen, die als Kommunikationsschnittstelle fungiert und Funktionen zum Erfassen digitaler Bilder von einer Kamera bereitstellt. In bestimmten Implementierungen ist eine Tonschnittstelle 716 als Kommunikationsschnittstelle zur Umwandlung von Ton in elektrische Signale unter Verwendung eines Mikrofons und zur Umwandlung elektrischer Signale in Ton unter Verwendung eines Lautsprechers vorgesehen. Gemäß beispielhaften Implementierungen ist ein Speicher mit wahlfreiem Zugriff (RAM) 718 vorgesehen, in dem Computeranweisungen und Daten zur Verarbeitung durch die CPU 702 in einem flüchtigen Speichergerät gespeichert werden können.

**[0059]** Gemäß einer beispielhaften Implementierung umfasst die Datenverarbeitungsarchitektur 700 einen Festwertspeicher (ROM) 720, in dem unveränderlicher Low-Level-Systemcode oder Daten für grundlegende Systemfunktionen wie grundlegende Ein- und Ausgabe (E/A), das Starten oder der Empfang von Tastenanschlägen von einer Tastatur in einem nichtflüchtigen Speichergerät gespeichert sind. Gemäß einer beispielhaften Implementierung umfasst die Datenverarbeitungsvorrichtung 700 ein Speichermedium 722 oder einen anderen geeigneten Speichertyp (z. B. wie z. B. RAM, ROM, programmierbarer Festwertspeicher (PROM), löschbarer programmierbarer Festwertspeicher (EPROM), elektrisch löschbarer programmierbarer Festwertspeicher (EEPROM), Magnetplatten, optische Platten, Disketten, Festplatten, Wechselkassetten, Flash-Laufwerke), auf dem die Dateien ein Betriebssystem 724, Anwendungsprogramme 726 (einschließlich z. B. einer Webbrowser-Anwendung, einer Widget- oder Gadget-Engine und/oder anderer Anwendungen, je nach Bedarf) und Datendateien 728 gespeichert sind. Gemäß einer beispielhaften Implementierung umfasst die Datenverarbeitungsvorrichtung 700 eine Stromquelle 730, die einen geeigneten Wechselstrom (AC) oder Gleichstrom (DC) zur Versorgung der Komponenten bereitstellt.

**[0060]** Gemäß einer beispielhaften Implementierung umfasst die Datenverarbeitungsvorrichtung 700 ein Telefonie-Subsystem 732, das es dem Gerät 700 ermöglicht, Ton über ein Telefonnetz zu senden und zu empfangen. Die konstituierenden Geräte und die CPU 702 kommunizieren über einen Bus 734 miteinander.

**[0061]** Gemäß einer beispielhaften Implementierung hat die CPU 702 die geeignete Struktur, um ein Computerprozessor zu sein. In einer Anordnung

kann die CPU 702 mehr als eine Verarbeitungseinheit umfassen. Der RAM 718 ist mit dem Computerbus 734 verbunden, um der CPU 702 während der Ausführung von Softwareprogrammen, wie z. B. den Anwendungsprogrammen des Betriebssystems und Gerätetreibern, schnellen RAM-Speicher zur Verfügung zu stellen. Genauer gesagt, lädt die CPU 702 computerausführbare Prozessschritte von dem Speichermedium 722 oder anderen Medien in ein Feld des RAM 718, um Softwareprogramme auszuführen. Im RAM 718 können Daten gespeichert werden, auf die die Computer-CPU 702 während der Ausführung zugreifen kann.

**[0062]** Das Speichermedium 722 selbst kann eine Reihe von physischen Laufwerkseinheiten umfassen, wie z. B. ein redundantes Array unabhängiger Festplatten (RAID), ein Diskettenlaufwerk, einen Flash-Speicher, ein USB-Flash-Laufwerk, ein externes Festplattenlaufwerk, einen Thumb-Drive, einen Pen-Drive, ein Schlüssellaufwerk, ein optisches HD-DVD-Laufwerk (High-Density Digital Versatile Disc), ein internes Festplattenlaufwerk, ein optisches Blu-Ray-Laufwerk oder ein optisches HDDS-Laufwerk (Holographie Digital Data Storage), ein externes DIMM (Mini-Dual In-line Memory Module), ein SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory) oder ein externes Mikro-DIMM-SDRAM. Solche computerlesbaren Speichermedien ermöglichen es einem Computergerät, auf computerausführbare Prozessschritte, Anwendungsprogramme und dergleichen zuzugreifen, die auf entfernbaren und nicht entfernbaren Speichermedien gespeichert sind, um Daten von dem Gerät zu entladen oder Daten auf das Gerät zu laden. Ein Computerprogrammprodukt, wie z. B. eines, das ein Kommunikationssystem nutzt, kann in einem Speichermedium 722, das ein maschinenlesbares Speichermedium umfassen kann, greifbar verkörpert sein.

**[0063]** Gemäß einer beispielhaften Implementierung kann der Begriff Computervorrichtung, wie er hier verwendet wird, eine CPU sein oder als CPU konzipiert sein (z. B. die CPU 702 von **Fig. 7**). In diesem Ausführungsbeispiel kann die Recheneinheit (CPU) mit einem oder mehreren Peripheriegeräten, wie z. B. einem Display, gekoppelt, verbunden und/oder in Kommunikation sein. In einer anderen beispielhaften Implementierung kann sich der hier verwendete Begriff Computervorrichtung auf ein mobiles Computervorrichtung wie ein Smartphone, einen Tablet-Computer oder eine intelligente Uhr beziehen. In dieser beispielhaften Implementierung kann die Computervorrichtung Inhalte an ihre lokale Display und/oder ihre(n) Lautsprecher ausgeben. In einer anderen beispielhaften Implementierung kann das Computergerät Inhalte an ein externes Anzeigegerät (z. B. über Wi-Fi) wie ein Fernsehgerät oder ein externes Computersystem ausgeben.

**[0064]** In beispielhaften Implementierungen der offengelegten Technologie kann ein Computergerät eine beliebige Anzahl von Hardware- und/oder Softwareanwendungen enthalten, die ausgeführt werden, um einen der Vorgänge zu erleichtern. In beispielhaften Implementierungen können eine oder mehrere E/A-Schnittstellen die Kommunikation zwischen dem Computergerät und einem oder mehreren Eingabe-/Ausgabegeräten erleichtern. Beispielsweise können ein universeller serieller Busanschluss, ein serieller Anschluss, ein Diskettenlaufwerk, ein CD-ROM-Laufwerk und/oder ein oder mehrere Benutzerschnittstellengeräte, wie ein Display, eine Tastatur, ein Tastenfeld, eine Maus, ein Bedienfeld, ein Touchscreen-Display, ein Mikrofon usw., die Interaktion des Benutzers mit dem Computergerät erleichtern. Die eine oder mehrere E/A-Schnittstellen können dazu verwendet werden, Daten und/oder Benutzeranweisungen von einer Vielzahl von Eingabegeräten zu empfangen oder zu sammeln. Die empfangenen Daten können von einem oder mehreren Computerprozessoren je nach Wunsch in verschiedenen Implementierungen der offengelegten Technologie verarbeitet und/oder in einem oder mehreren Speichergeräten gespeichert werden.

**[0065]** Eine oder mehrere Netzschnittstellen können die Verbindung der Eingänge und Ausgänge des Computergeräts mit einem oder mehreren geeigneten Netzen und/oder Verbindungen erleichtern, z. B. die Verbindungen, die die Kommunikation mit einer beliebigen Anzahl von mit dem System verbundenen Sensoren ermöglichen. Die eine oder mehreren Netzschnittstellen können ferner die Verbindung mit einem oder mehreren geeigneten Netzen erleichtern, z. B. einem lokalen Netz (LAN), einem WLAN (wide area network), dem Internet, einem zellularen Netz, einem FunkfrequenzNetz, einem Bluetooth-fähigen Netz, einem Wi-Fi-fähigen Netz, einem satellitengestützten Netz, einem beliebigen drahtgebundenen Netz, einem beliebigen drahtlosen Netz usw. zur Kommunikation mit externen Geräten und/oder Systemen.

**[0066]** Eine Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung kann zumindest gemäß den folgenden Punkten umgesetzt werden:

Satz 1: Ein Verfahren, das Folgendes umfasst: Empfangen von optischen Ausgangsdaten einer optischen Vorrichtung; Zuführen der optischen Ausgangsdaten zu einem trainierten neuronalen Netz, das so ausgebildet ist, dass es optische Ausgangsdaten in optische Leistungsmetriken transformiert; und Ausführen des trainierten neuronalen Netzes, um die zugeführten optischen Ausgangsdaten in optische Leistungsmetriken für die optische Vorrichtung zu transformieren.

Satz 2: Das Verfahren nach Satz 1, wobei die optische Vorrichtung einen optischen Sender umfasst.

Satz 3: Das Verfahren nach Satz 1 oder 2, wobei sich die Leistungsmetriken auf ein optisches Kommunikationssystem beziehen, das an die optische Vorrichtung angeschlossen ist.

Satz 4: Das Verfahren nach einem der Sätze 1 bis 3, wobei die Leistungsmetriken mit den quaternären TDECQ-Penalty-Methodologien (TDECQ; Transmission and Dispersion Eye Closure) zusammenhängen.

Satz 5: Das Verfahren nach einem der Sätze 1 bis 4, wobei die optische Vorrichtung ein optischer Empfänger ist.

Satz 6: Das Verfahren nach einem der Sätze 1 bis 5, wobei die optischen Ausgangsdaten eine Wellenform eines Ausgangs der optischen Vorrichtung umfassen.

Satz 7: Das Verfahren nach einem der Sätze 1 bis 6, wobei die optischen Ausgangsdaten ein Augendiagramm umfassen, das aus einer Wellenform eines Ausgangs der optischen Vorrichtung erzeugt wird, wobei das Augendiagramm dem trainierten neuronalen Netz zugeführt wird.

Satz 8: Das Verfahren nach Satz 7 umfasst ferner: Empfangen der Wellenform des Ausgangs der optischen Vorrichtung; und Vorverarbeiten der Wellenform, um die Wellenform in ein Augendiagramm umzuwandeln.

Satz 9: Das Verfahren nach einem der Sätze 1 bis 8, wobei das trainierte neuronale Netz ein faltendes neuronales Netz umfasst.

Satz 10: Das Verfahren nach Satz 9, wobei das faltende neuronale Netz Folgendes umfasst: eine Vielzahl von Extraktions-Layern, die so ausgebildet sind, dass sie eine Faltungsfilterung durchführen, wobei die optischen Ausgangsdaten einem ersten Extraktions-Layer zugeführt werden und der Eingang nachfolgender Extraktions-Layer die Ausgänge vorheriger Extraktions-Layer sind.

Satz 11: Das Verfahren nach Satz 9 oder 10, wobei das faltende neuronale Netz Folgendes umfasst: einen Eingangs-Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei die optischen Ausgangsdaten dem Eingangs-Extraktions-Layer zugeführt werden; einen zweiten Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei ein Ausgang des Eingangs-Extraktions-Layers dem zweiten Extraktions-Layer zugeführt wird; und einen dritten Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei ein Ausgang des zweiten Extraktions-Layers dem dritten Extraktions-Layer zugeführt wird.

Satz 12: Das Verfahren nach Satz 11, wobei der Pooling-Layer ein Max-Pooling-Layer ist.

Satz 13: Das Verfahren nach einem der Sätze 1 bis 12, wobei das trainierte neuronale Netz ein zweidimensionales faltendes neuronales Netz umfasst.

Satz 14: Das Verfahren nach einem der Sätze 1 bis 12, wobei das trainierte neuronale Netz ein eindimensionales faltendes neuronales Netz umfasst.

Satz 15: Das Verfahren nach einem der Sätze 1 bis 4 umfasst ferner das Erfassen der optischen Ausgangsdaten unter Verwendung einer Test- und Messvorrichtung.

Satz 16: Das Verfahren nach Satz 15, wobei die Test- und Messvorrichtung ein Echtzeit-Oszilloskop umfasst.

Satz 17: Das Verfahren nach Satz 15 oder 16, wobei die Test- und Messvorrichtung ein Äquivalenzzeit-Oszilloskop umfasst.

Satz 18: Das Verfahren nach einem der Sätze 1 bis 17, wobei das Erfassen der optischen Ausgangsdaten Folgendes umfasst: Ausgeben eines Anfangssignals in die optische Vorrichtung, wobei das Anfangssignal durch die optische Vorrichtung übertragen wird; und Lesen des übertragenen Signals aus der optischen Vorrichtung.

Satz 19: Das Verfahren nach Satz 18, wobei das Anfangssignal ein analoges Anfangssignal ist und das Lesesignal ein analoges Lesesignal ist, und das Verfahren ferner umfasst: Umwandeln eines digitalen Anfangssignals, um das analoge Anfangssignal zu erzeugen; und Umwandeln des analogen Lesesignals in ein digitales Lesesignal.

Satz 20: Das Verfahren nach Satz 18 oder 19, wobei das Anfangssignal unveränderlich ist.

Satz 21: Das Verfahren nach Satz 18 oder 19, wobei das Anfangssignal variabel ist.

Satz 22: Das Verfahren nach einem der Sätze 1 bis 21, wobei das Erfassen der optischen Ausgangsdaten weiterhin das Vergleichen des Anfangssignals mit dem Lesesignal umfasst.

Satz 23: Ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Bewertungssystems, wobei das Verfahren umfasst: Erzeugen einer Vielzahl optischer Wellenformen von einer oder mehreren repräsentativen Vorrichtungen oder Systemen; Bewerten der Vielzahl optischer Wellenformen, um jeweilige Leistungsqualifikationen für die eine oder mehreren repräsentativen Vorrichtungen oder Systeme zu bestimmen; und Betreiben eines neuronalen Netzes, um das neuronale

Netz mit der Vielzahl optischer Wellenformen und den jeweiligen Leistungsqualifikationen zu trainieren.

Satz 24: Das Verfahren nach Satz 23, wobei das Erzeugen der mehreren optischen Wellenformen für jede repräsentative Vorrichtung des einen oder der mehreren repräsentativen Vorrichtungen oder Systeme Folgendes umfasst: Platzieren der repräsentativen Vorrichtung in einer Testmaschine; und Erfassen einer Ausgabe von der repräsentativen Vorrichtung oder dem System unter Verwendung eines Oszilloskops.

Satz 25: Das Verfahren nach Satz 23 oder 24, wobei das Erzeugen der mehreren optischen Wellenformen das Erzeugen synthetischer Wellenformen umfasst, die einer oder mehreren virtuellen repräsentativen Vorrichtungen oder Systemen entsprechen.

Satz 26: Das Verfahren nach Satz 25, wobei das Erzeugen synthetischer Wellenformen Folgendes umfasst: Modellieren der einen oder mehreren virtuellen repräsentativen Vorrichtungen; und Erzeugen einer Vielzahl von Wellenformen auf der Grundlage der modellierten Vorrichtungen. Die Vielzahl von Wellenformen kann repräsentativ für einen Leistungsbereich sein.

Satz 27: Das Verfahren nach Satz 25 oder 26, das ferner Folgendes umfasst: Steuern eines Lasers zur Ausgabe eines Signals; Verarbeiten des Signals mit einem Modulator; und Erfassen des modulierten Signals mit einem Oszilloskop als synthetische Wellenform.

Satz 28: Das Verfahren nach Satz 27, wobei der Modulator auf der Grundlage einer Ausgabe eines Wellenformgenerators modifiziert wird.

Satz 29: Das Verfahren nach Satz 28, das ferner das Einstellen einer Leistungseinheit auf den Modulator umfasst, um eine Vielzahl von unterschiedlichen Wellenformen zu erzeugen.

Satz 30: Das Verfahren nach einem der Sätze 27 bis 29 umfasst ferner die Implementierung eines Filters über das modulierte Signal.

Satz 31: Das Verfahren des Satzes 30 umfasst ferner das Einstellen einer Bandbreite des Filters, um eine Vielzahl unterschiedlicher Wellenformen zu erzeugen.

Satz 32: Eine Testvorrichtung, die Folgendes umfasst: einen Sender, der so ausgebildet ist, dass er ein Anfangssignal an eine optische Vorrichtung ausgibt, wobei die optische Vorrichtung so ausgebildet ist, dass sie das Anfangssignal transportiert; einen Eingang, der so ausgebildet ist, dass er das transportierte Signal von der optischen Vorrichtung empfängt; mindestens einen Prozessor; und einen Speicher, in dem

Anweisungen gespeichert sind, die, wenn sie von dem mindestens einen Prozessor ausgeführt werden, den mindestens einen Prozessor so steuern, um: optische Ausgabedaten der optischen Vorrichtung auf der Grundlage des transportierten Signals zu erzeugen; die optischen Ausgabedaten einem trainierten neuronalen Netz zuzuführen, das ausgebildet ist, um optische Ausgabedaten in optische Leistungsmetriken zu transformieren; und das trainierte neuronale Netz auszuführen, um die zugeführten optischen Ausgabedaten in optische Leistungsmetriken zu transformieren, die für die optische Vorrichtung qualifiziert sind.

Satz 33: Das System des Sätzen 32, wobei die optische Vorrichtung einen optischen Sender umfasst.

Satz 34: Das System nach Satz 32 oder 33, wobei sich die Leistungsmetriken auf ein optisches Kommunikationssystem beziehen, das an die optische Vorrichtung angeschlossen ist.

Satz 35: Das System nach einem der Sätze 32 bis 34, wobei die Leistungskennzahlen mit den quaternären TDECQ-Penalty-Methodologien (Transmission and Dispersion Eye Closure) in Beziehung stehen.

Satz 36: Das System nach einem der Sätze 32 bis 35, wobei die optische Vorrichtung ein optischer Empfänger ist.

Satz 37: Das System nach einem der Sätze 32 bis 36, wobei die optischen Ausgangsdaten eine Wellenform eines Ausgangs der optischen Vorrichtung umfassen.

Satz 38: Das System nach einem der Sätze 32 bis 37, wobei die optischen Ausgabedaten ein Augendiagramm umfassen, das aus einer Wellenform einer Ausgabe der optischen Vorrichtung erzeugt wird, wobei das Augendiagramm dem trainierten neuronalen Netz zugeführt wird.

Satz 39: Das System nach einem der Sätze 32 bis 38, wobei die Anweisungen ferner den mindestens einen Prozessor steuern, um: die Wellenform des Ausgangs der optischen Vorrichtung zu erzeugen; und die Wellenform vorzuverarbeiten, um die Wellenform in ein Augendiagramm zu transformieren.

Satz 40: Das System nach einem der Sätze 32 bis 39, wobei das trainierte neuronale Netz ein faltendes neuronales Netz umfasst.

Satz 41: Das System nach Satz 40, wobei das faltende neuronale Netz Folgendes umfasst: eine Vielzahl von Extraktions-Layern, die so ausgebildet sind, dass sie eine Faltungsfiltrierung durchführen, wobei die optischen Ausgangsdaten in einen Extraktions-Layer eingespeist werden und die Eingabe nachfolgender Extraktions-

Layer die Ausgaben vorheriger Extraktions-Layer sind.

Satz 42: Das System nach Satz 40 oder 41, wobei das faltende neuronale Netz Folgendes umfasst: einen Eingangs-Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei die optischen Ausgangsdaten dem Eingangs-Extraktions-Layer zugeführt werden; einen zweiten Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei ein Ausgang des Eingangs-Extraktions-Layers dem zweiten Extraktions-Layer zugeführt wird; und einen dritten Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei ein Ausgang des zweiten Extraktions-Layers dem dritten Extraktions-Layer zugeführt wird.

Satz 43: Das System des Sätzen 42, wobei der Pooling-Layer ein Max-Pooling-Layer ist

Satz 44: Das System nach einem der Sätze 32 bis 43, wobei das trainierte neuronale Netz ein zweidimensionales faltendes neuronales Netz umfasst.

Satz 45: Das System nach einem der Sätze 32 bis 44, wobei das trainierte neuronale Netz ein eindimensionales faltendes neuronales Netz umfasst.

Satz 46: Das System nach einem der Sätze 32 bis 45, wobei die Eingabe einen Echtzeitbereich umfasst.

Satz 47: Das System nach einem der Sätze 32 bis 46, wobei die Eingabe einen zeitgleichen Bereich umfasst.

Satz 48: Das System nach einem der Sätze 32 bis 47, wobei das Anfangssignal unveränderlich ist.

Satz 49: Das System nach einem der Sätze 32 bis 47, wobei das Anfangssignal variabel ist.

Satz 50: Das System nach einem der Sätze 32 bis 49, wobei das Erfassen der optischen Ausgangsdaten ferner das Vergleichen des Anfangssignals mit dem transportierten Signal umfasst.

**[0067]** Ein System, das Folgendes umfasst: einen oder mehrere Prozessoren; und einen oder mehrere Speicher mit darauf gespeicherten Befehlen, die, wenn sie von dem einen oder den mehreren Prozessoren ausgeführt werden, den einen oder die mehreren Prozessoren zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Sätze 1 bis 31 steuern.

**[0068]** Ein nicht-transitorisches computerlesbares Medium, auf dem Anweisungen zur Ausführung eines Verfahrens gemäß einem der Sätze 1 bis 31 gespeichert sind.

**[0069]** Zusätzlich zu dieser Beschreibung und den vorbereiteten Zeichnungen enthält diese Offenbarung einen Anhang, in dem die Entwicklung eines Werkzeugs gemäß der vorliegenden Offenbarung beschrieben wird. Er dient ausschließlich zu Erklärungszwecken und stellt keine Einschränkung dar.

**[0070]** Während die vorliegende Offenbarung im Zusammenhang mit einer Vielzahl von beispielhaften Aspekten beschrieben wurde, wie sie in den verschiedenen Figuren dargestellt und oben erörtert wurden, können selbstverständlich auch andere ähnliche Aspekte verwendet oder Änderungen und Ergänzungen an den beschriebenen Aspekten vorgenommen werden, um dieselbe Funktion der vorliegenden Offenbarung auszuführen, ohne davon abzuweichen. Zum Beispiel wurden in verschiedenen Aspekten der Offenbarung Methoden und Zusammensetzungen gemäß Aspekten des gegenwärtig offenbarten Gegenstandes beschrieben. Andere Methoden oder Zusammensetzungen, die diesen beschriebenen Aspekten gleichwertig sind, werden jedoch von den hierin enthaltenen Lehren ebenfalls in Betracht gezogen. Daher sollte die vorliegende Offenbarung nicht auf einen einzelnen Aspekt beschränkt werden, sondern vielmehr in ihrer Breite und ihrem Umfang gemäß den beigefügten Ansprüchen ausgelegt werden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

**Zitierte Patentliteratur**

- US 62/930681 [0001]

**Patentansprüche**

1. Ein Verfahren, das Folgendes umfasst:  
Empfangen von optischen Ausgangsdaten einer optischen Vorrichtung;  
Zuführen der optischen Ausgangsdaten zu einem trainierten neuronalen Netz, das so ausgebildet ist, dass es die optischen Ausgangsdaten in optische Leistungsmetriken umwandelt; und  
Ausführen des trainierten neuronalen Netzes, um die zugeführten optischen Ausgangsdaten in optische Leistungsmetriken für die optische Vorrichtung umzuwandeln.
2. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste optische Vorrichtung einen optischen Sender umfasst.
3. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei sich die Leistungsmetriken auf ein optisches Kommunikationssystem beziehen, das an die optische Vorrichtung angeschlossen ist.
4. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei sich die Leistungsmetriken auf die quaternären TDECQ-Penalty-Methodologien (TDECQ; Transmission and dispersion eye closure quaternary) beziehen.
5. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei die optische Vorrichtung ein optischer Empfänger ist.
6. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei die optischen Ausgangsdaten eine Wellenform eines Ausgangs der optischen Vorrichtung umfassen.
7. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei die optischen Ausgangsdaten ein Augendiagramm umfassen, das aus einer Wellenform eines Ausgangs der optischen Vorrichtung erzeugt wird, wobei das Augendiagramm dem trainierten neuronalen Netz zugeführt wird.
8. Das Verfahren nach Anspruch 7 umfasst ferner:  
Empfangen der Wellenform des Ausgangs der optischen Vorrichtung; und  
Vorverarbeitung der Wellenform, um die Wellenform in ein Augendiagramm umzuwandeln.
9. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei das trainierte neuronale Netz ein faltendes neuronales Netz umfasst.
10. Das Verfahren nach Anspruch 9, wobei das faltende neuronale Netz umfasst:  
eine Vielzahl von Extraktions-Layern, die so ausgebildet sind, dass sie eine Faltungsfilterung durchführen, wobei die optischen Ausgangsdaten einem ersten Extraktions-Layer zugeführt werden und der

- Eingang nachfolgender Extraktions-Layer die Ausgänge vorheriger Extraktions-Layer sind.
11. Das Verfahren nach Anspruch 9, wobei das faltende neuronale Netz umfasst:  
einen Eingangs-Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei die optischen Ausgangsdaten dem Eingangs-Extraktions-Layer zugeführt werden;  
einen zweiten Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei eine Ausgabe des Eingangs-Extraktions-Layers dem zweiten Extraktions-Layer zugeführt wird; und  
einen dritten Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei ein Ausgang des zweiten Extraktions-Layers dem dritten Extraktions-Layer zugeführt wird.
  12. Das Verfahren nach Anspruch 11, wobei der Pooling-Layer ein Max-Pooling-Layer ist.
  13. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei das trainierte neuronale Netz ein zweidimensionales faltendes neuronales Netz umfasst.
  14. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei das trainierte neuronale Netz ein eindimensionales faltendes neuronales Netz umfasst.
  15. Das Verfahren nach Anspruch 1 umfasst ferner das Erfassen der optischen Ausgangsdaten mit einer Test- und Messvorrichtung.
  16. Das Verfahren nach Anspruch 15, wobei die Test- und Messvorrichtung ein Echtzeit-Oszilloskop umfasst.
  17. Das Verfahren nach Anspruch 15, wobei die Test- und Messvorrichtung ein Äquivalenzzeit-Oszilloskop umfasst.
  18. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Erfassen der optischen Ausgangsdaten umfasst:  
Ausgeben eines Anfangssignals an die optische Vorrichtung, wobei das Anfangssignal durch die optische Vorrichtung übertragen wird; und  
Lesen des übertragenen Signals von der optischen Vorrichtung.
  19. Das Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Anfangssignal ein analoges Anfangssignal ist und das Lesesignal ein analoges Lesesignal ist, und das Verfahren ferner umfasst:  
Umwandeln eines digitalen Ausgangssignals, um das analoge Ausgangssignal zu erzeugen; und  
Umwandeln des gelesenen analogen Signals in ein gelesenes digitales Signal.
  20. Das Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Anfangssignal unveränderlich ist.

21. Das Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Anfangssignal variabel ist.

22. Das Verfahren nach Anspruch 21, wobei das Erfassen der optischen Ausgangsdaten ferner das Vergleichen des Anfangssignals mit dem Lesesignal umfasst.

23. Das Verfahren zum Herstellen eines optischen Bewertungssystems, wobei das Verfahren umfasst:

Erzeugen einer Vielzahl von optischen Wellenformen von einem oder mehreren repräsentativen Vorrichtungen oder Systemen;

Bewerten der mehreren optischen Wellenformen, um die jeweiligen Leistungsqualifikationen für die eine oder mehrere repräsentative Vorrichtungen oder Systeme zu bestimmen; und

Betreiben eines neuronalen Netzes zum Trainieren des neuronalen Netzes mit der Vielzahl von optischen Wellenformen und den jeweiligen Leistungsqualifikationen.

24. Das Verfahren nach Anspruch 23, wobei das Erzeugen der mehreren optischen Wellenformen für jede repräsentative Vorrichtung des einen oder der mehreren repräsentativen Vorrichtungen oder Systeme Folgendes umfasst:

Einsetzen der repräsentativen Vorrichtung in eine Testmaschine; und

Aufzeichnen einer Ausgabe der repräsentativen Vorrichtung oder Systems mit Hilfe eines Oszilloskops.

25. Das Verfahren nach Anspruch 23, wobei das Erzeugen der mehreren optischen Wellenformen das Erzeugen synthetischer Wellenformen umfasst, die einer oder mehreren virtuellen repräsentativen Vorrichtungen oder Systemen entsprechen.

26. Das Verfahren nach Anspruch 25, wobei das Erzeugen synthetischer Wellenformen umfasst:

Modellieren der einen oder mehreren virtuellen repräsentativen Vorrichtungen; und

Erzeugen einer Vielzahl von Wellenformen auf der Grundlage der modellierten Vorrichtungen.

27. Das Verfahren nach Anspruch 25 umfasst ferner:

Steuern eines Lasers zur Ausgabe eines Signals; Verarbeiten des Signals mit einem Modulator; und Aufzeichnen des modulierten Signals mit einem Oszilloskop als synthetische Wellenform.

28. Das Verfahren nach Anspruch 27, wobei der Modulator auf der Grundlage eines Ausgangs eines Wellenformgenerators modifiziert wird.

29. Das Verfahren nach Anspruch 28, das ferner die Anpassung einer Leistungseinheit an den Modu-

lator umfasst, um eine Vielzahl unterschiedlicher Wellenformen zu erzeugen.

30. Das Verfahren nach Anspruch 27 umfasst ferner die Implementierung eines Filters für das modulierte Signal.

31. Das Verfahren nach Anspruch 30 umfasst ferner das Einstellen einer Bandbreite des Filters, um eine Vielzahl unterschiedlicher Wellenformen zu erzeugen.

32. Eine Testvorrichtung, die Folgendes umfasst: einen Sender, der so ausgebildet ist, dass er ein Anfangssignal an eine optische Vorrichtung ausgibt, wobei die optische Vorrichtung so ausgebildet ist, dass sie das Anfangssignal transportiert; einen Eingang, der so ausgebildet ist, dass er das transportierte Signal von der optischen Vorrichtung empfängt;

mindestens einen Prozessor; und

einen Speicher, in dem Anweisungen gespeichert sind, die, wenn sie von dem mindestens einen Prozessor ausgeführt werden, den mindestens einen Prozessor steuern, um Folgendes auszuführen:

Erzeugen von optischen Ausgangsdaten der optischen Vorrichtung auf der Grundlage des transportierten Signals;

Zuführen der optischen Ausgangsdaten zu einem trainierten neuronalen Netz, das so ausgebildet ist, dass es die optischen Ausgangsdaten in optische Leistungsmetriken umwandelt; und

Ausführen des trainierten neuronalen Netzes, um die gelieferten optischen Ausgangsdaten in optische Leistungsmetriken umzuwandeln, die für die optische Vorrichtung qualifiziert sind.

33. Das System nach Anspruch 32, wobei die optische Vorrichtung einen optischen Sender umfasst.

34. Das System nach Anspruch 32, wobei sich die Leistungsmetriken auf ein optisches Kommunikationssystem beziehen, das an die optische Vorrichtung angeschlossen ist.

35. Das System nach Anspruch 32, wobei die Leistungsmetriken sich auf die quaternären TDECQ-Penalty-Methodologien (TDECQ ; Transmission and Dispersion Eye Closure) beziehen.

36. Das System nach Anspruch 32, wobei die optische Vorrichtung ein optischer Empfänger ist.

37. Das System nach Anspruch 32, wobei die optischen Ausgangsdaten eine Wellenform eines Ausgangs der optischen Vorrichtung umfassen.

38. Das System nach Anspruch 32, wobei die optischen Ausgangsdaten ein Augendiagramm

umfassen, das aus einer Wellenform eines Ausgangs der optischen Vorrichtung erzeugt wird, wobei das Augendiagramm dem trainierten neuronalen Netz zugeführt wird.

39. Das System nach Anspruch 38, wobei die Anweisungen den mindestens einen Prozessor weiterhin steuern, um Folgendes auszuführen: Erzeugen der Wellenform des Ausgangs der optischen Vorrichtung; und Vorverarbeiten der Wellenform, um sie in ein Augendiagramm umzuwandeln.

40. Das System nach Anspruch 32, wobei das trainierte neuronale Netz ein faltendes neuronales Netz umfasst.

41. Das System nach Anspruch 40, wobei das faltende neuronale Netz umfasst: eine Vielzahl von Extraktions-Layern, die so ausgebildet sind, dass sie eine Faltungsfilterung durchführen, wobei die optischen Ausgangsdaten einem Extraktions-Layer zugeführt werden und der Eingang nachfolgender Extraktions-Layer die Ausgänge vorheriger Extraktions-Layer sind.

42. Das System nach Anspruch 40, wobei das faltende neuronale Netz umfasst: einen Eingangs-Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei die optischen Ausgangsdaten dem Eingangs-Extraktions-Layer zugeführt werden; einen zweiten Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei eine Ausgabe des Eingangs-Extraktions-Layers dem zweiten Extraktions-Layer zugeführt wird; und einen dritten Extraktions-Layer mit einem Faltungsfilter und einem Pooling-Layer, wobei ein Ausgang des zweiten Extraktions-Layers dem dritten Extraktions-Layer zugeführt wird.

43. System nach Anspruch 42, wobei der Pooling-Layer ein Max-Pooling-Layer ist

44. Das System nach Anspruch 32, wobei das trainierte neuronale Netz ein zweidimensionales faltendes neuronales Netz umfasst.

45. Das System nach Anspruch 32, wobei das trainierte neuronale Netz ein eindimensionales faltendes neuronales Netz umfasst.

46. Das System nach Anspruch 32, wobei die Eingabe einen Echtzeitbereich umfasst.

47. Das System nach Anspruch 32, wobei die Eingabe einen Äquivalenzzeitbereich umfasst.

48. Das System nach Anspruch 32, wobei das Anfangssignal unveränderlich ist.

49. Das System nach Anspruch 32, wobei das Anfangssignal variabel ist.

50. Das System nach Anspruch 49, wobei das Erfassen der optischen Ausgangsdaten ferner das Vergleichen des Anfangssignals mit dem transportierten Signal umfasst.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

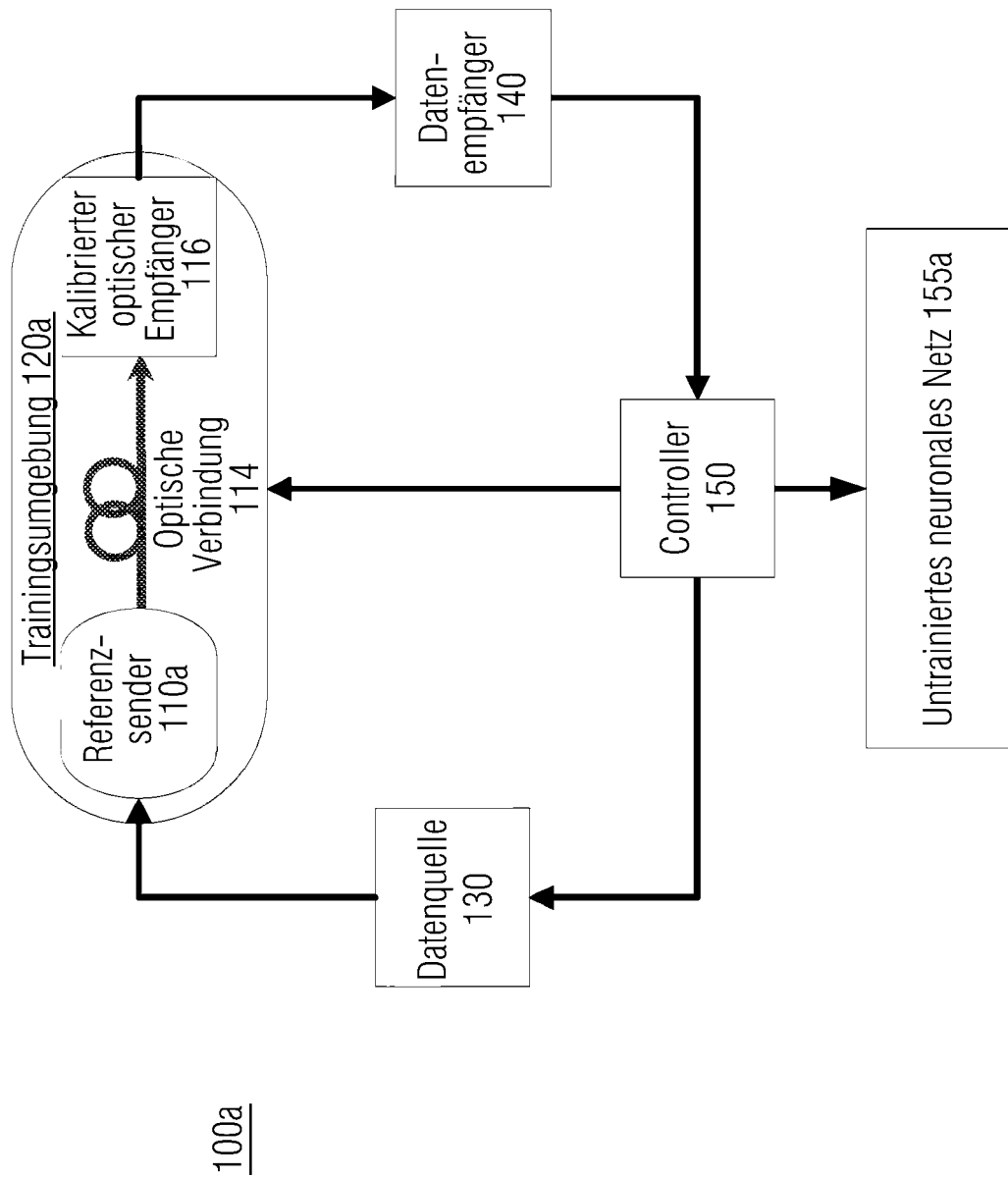


FIG. 1A

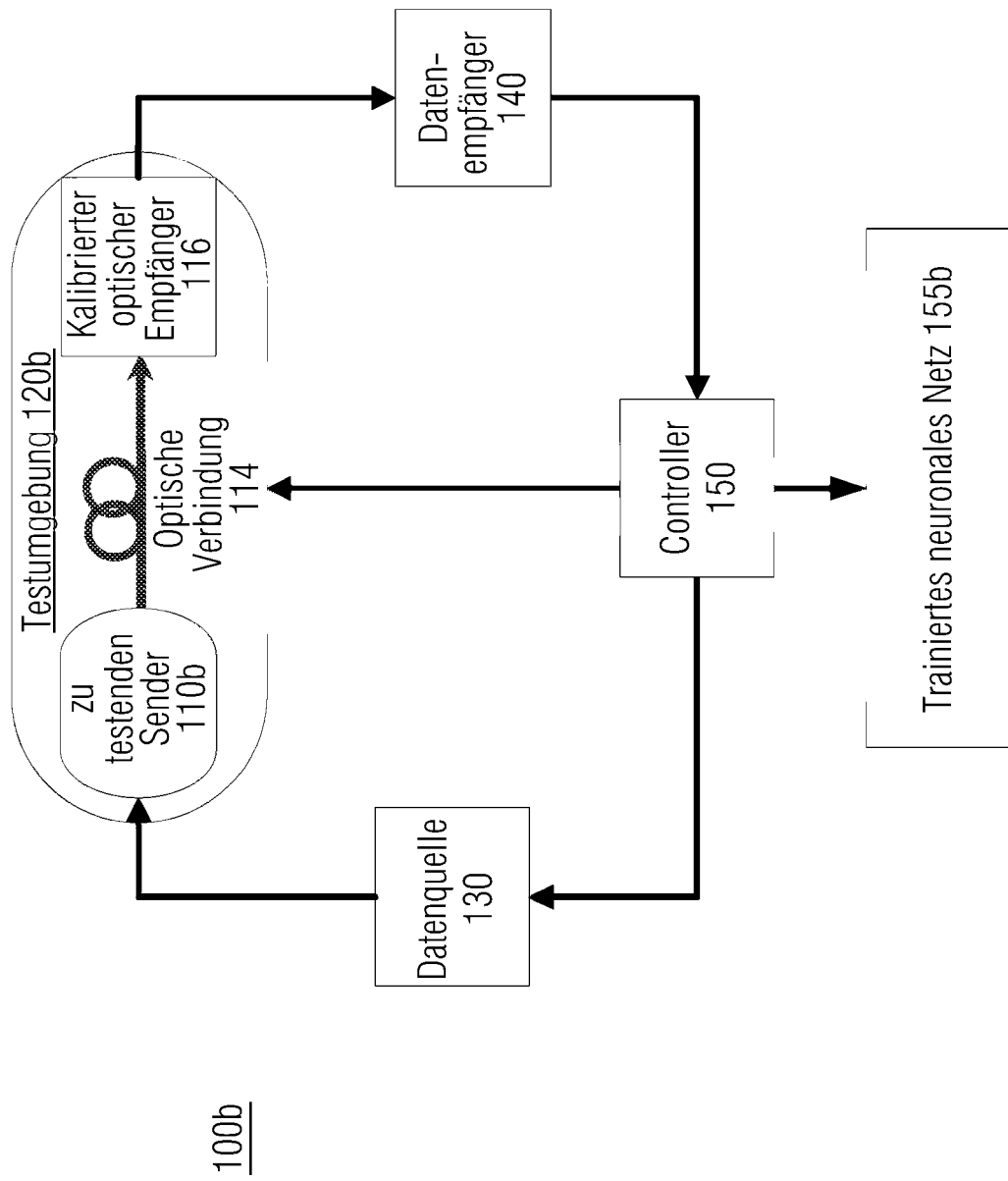


FIG. 1B

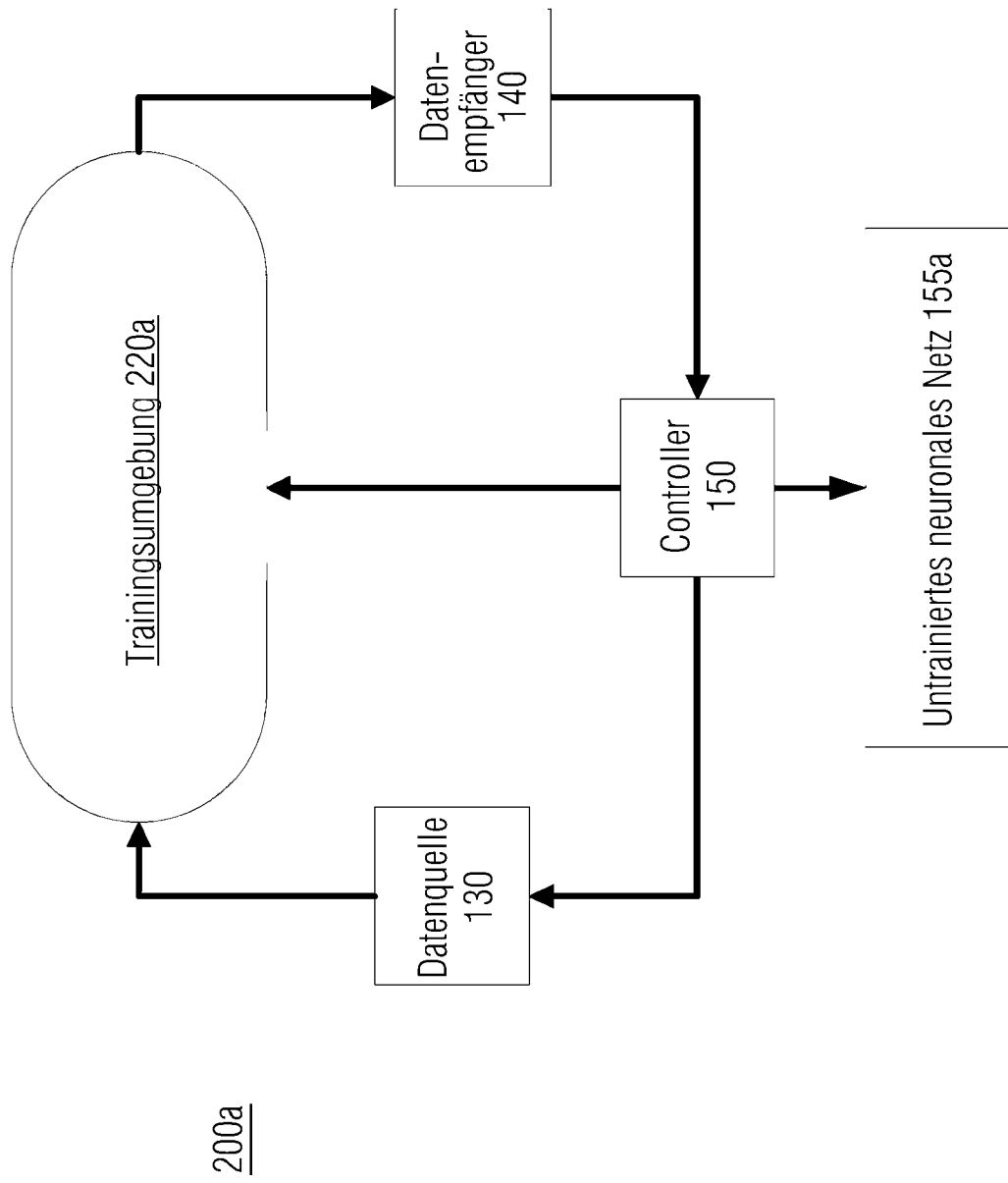


FIG. 2A

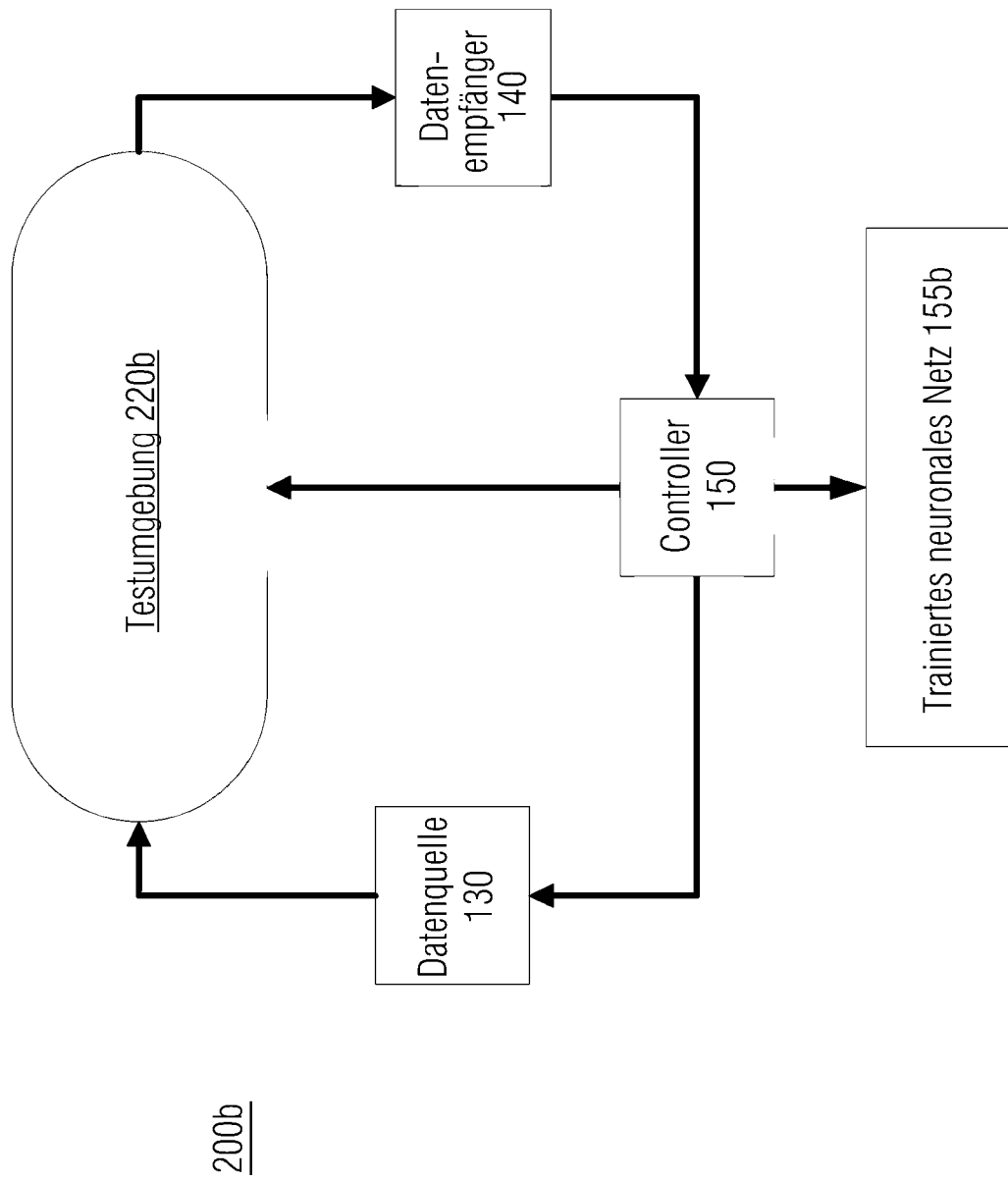


FIG. 2B

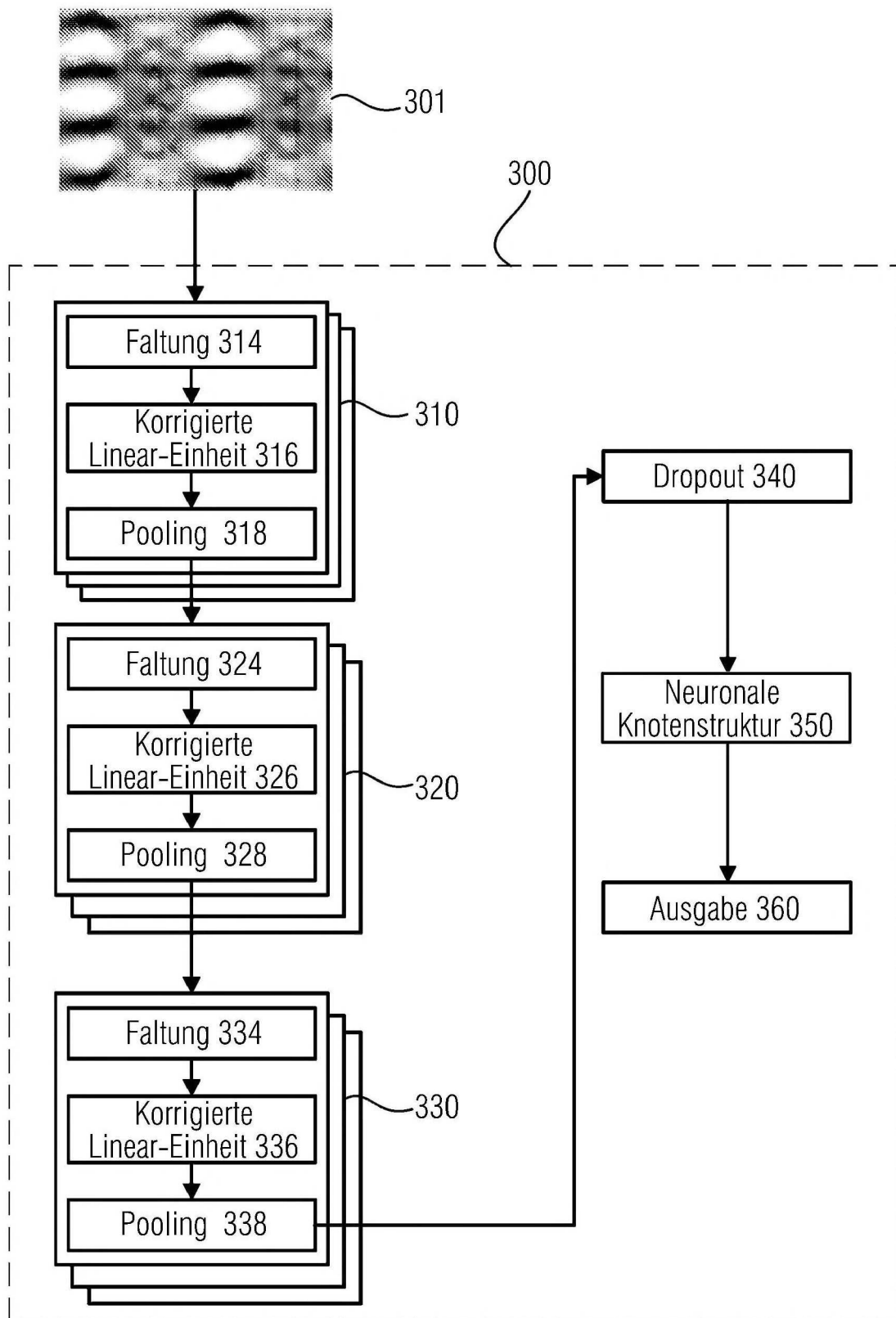


FIG. 3

400

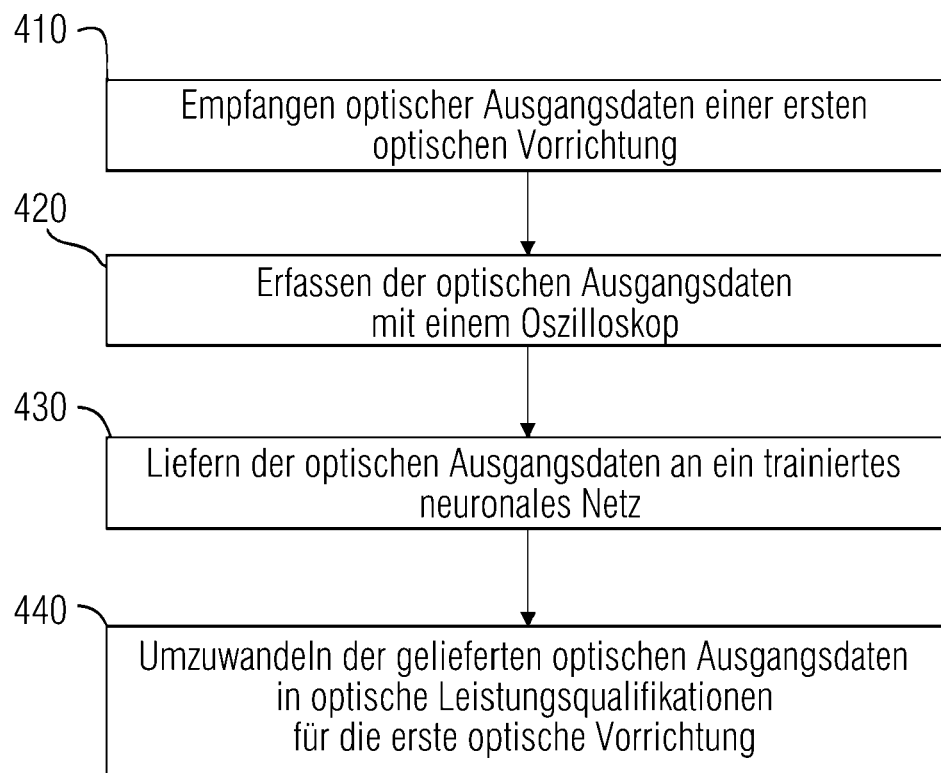


FIG. 4

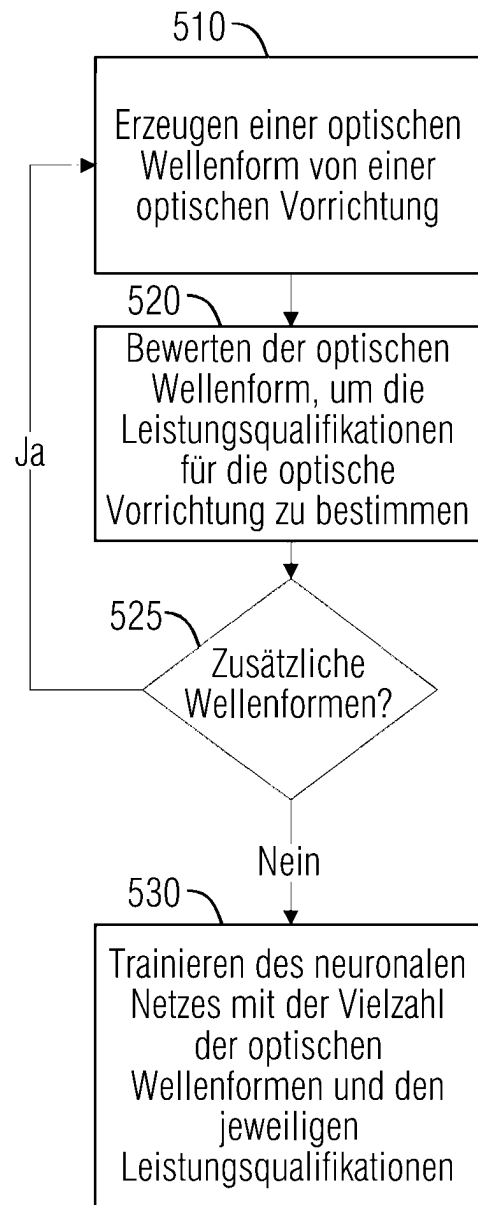
500

FIG. 5

600

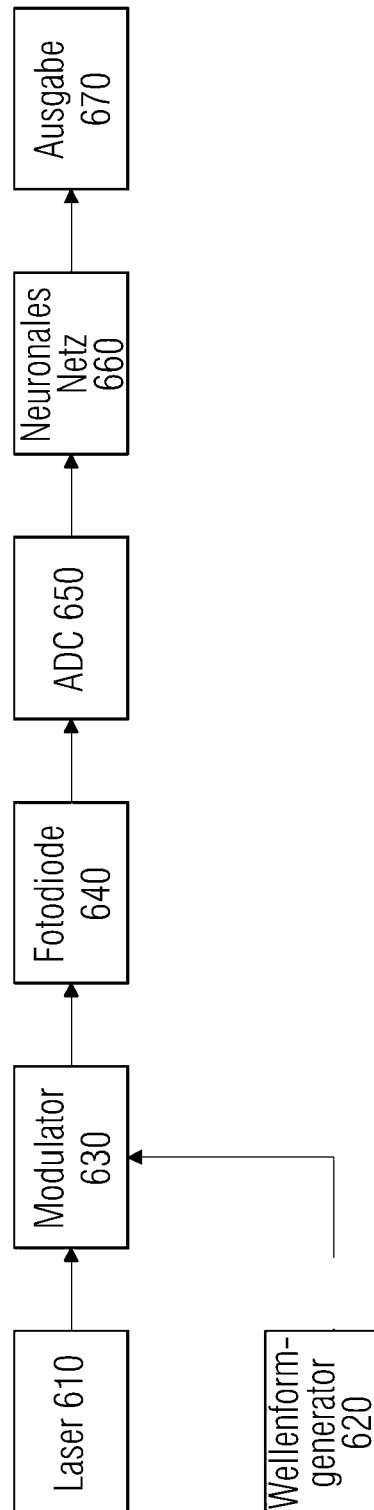


FIG. 6

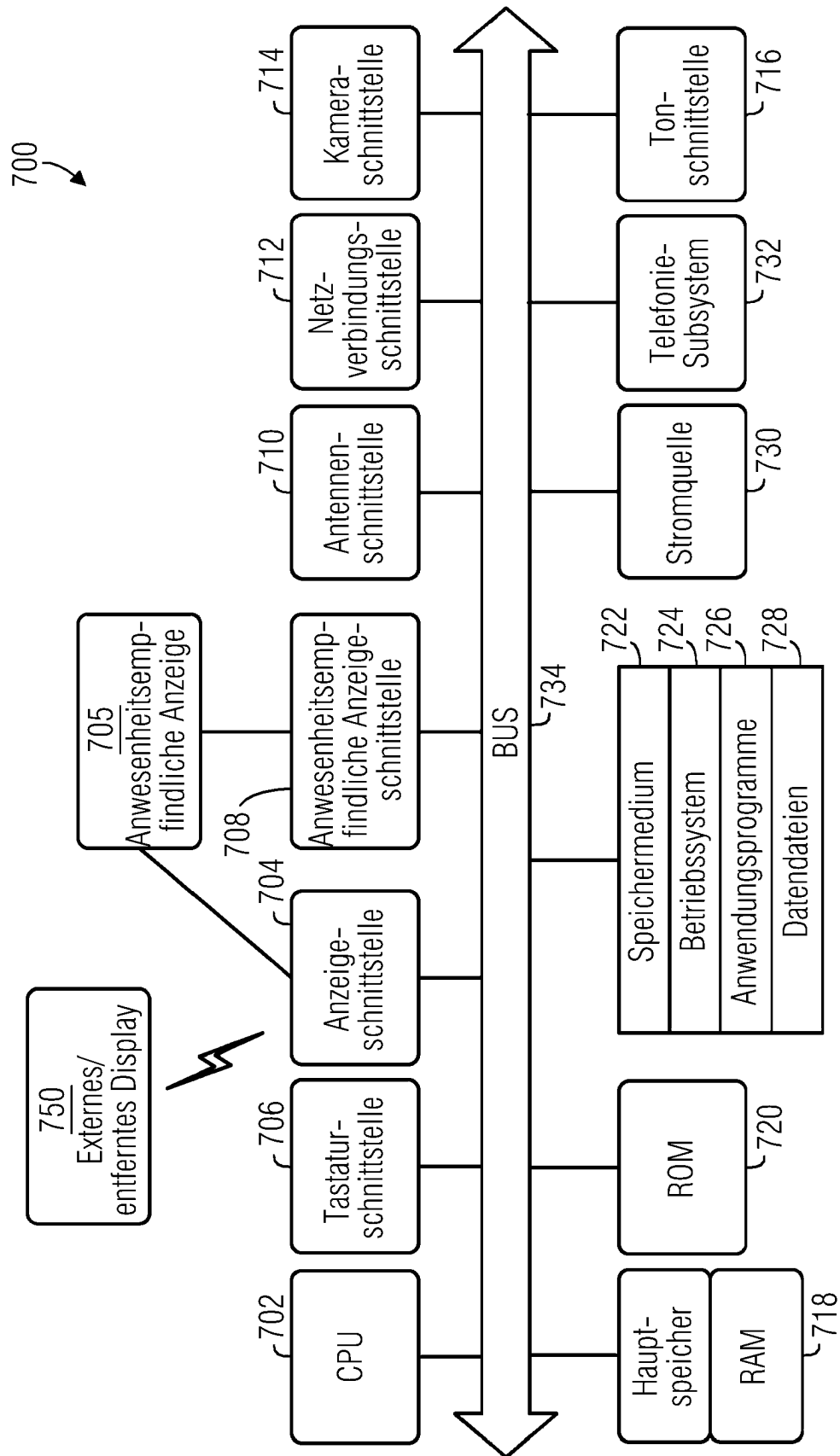


FIG. 7