



(10) **DE 10 2015 116 110 A1** 2017.03.23

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 116 110.9**

(22) Anmeldetag: **23.09.2015**

(43) Offenlegungstag: **23.03.2017**

(51) Int Cl.: **A61B 3/02 (2006.01)**

A61B 3/032 (2006.01)

A61B 3/036 (2006.01)

A61B 3/113 (2006.01)

A61B 3/04 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Carl Zeiss Vision International GmbH, 73430
Aalen, DE**

(74) Vertreter:

**WITTE, WELLER & PARTNER Patentanwälte mbB,
70173 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

**Ohlendorf, Arne, 72072 Tübingen, DE; Wahl,
Siegfried, 73072 Donzdorf, DE; Cabeza Guillén,
Jesús-Miguel, 73434 Aalen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

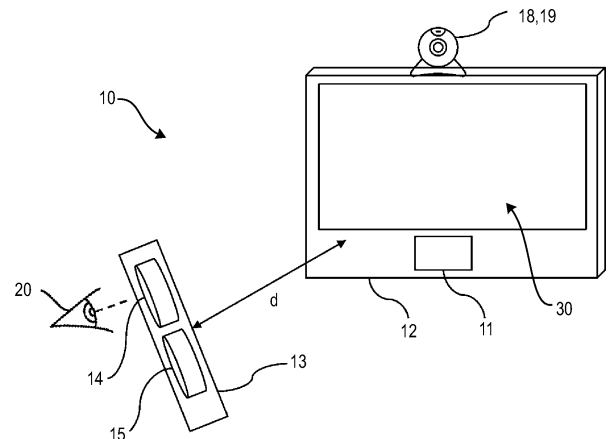
DE	40 91 126	C2
DE	195 16 745	A1
DE	195 37 499	A1
DE	196 33 062	A1
DE	10 2004 055 754	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein System (10) zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges (20) eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes (30), wobei das System Folgendes aufweist: eine Speichereinrichtung (11), in welcher mindestens ein natürliches Bild (30) gespeichert ist; eine Anzeigevorrichtung (12) zum Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes (30) aus der Speichereinrichtung (11); eine Optikanordnung (13) zum Einstellen von verschiedenen licht-brechenden Elementen (14, 15) in einen optischen Pfad zwischen dem Auge (20) des Probanden und der Anzeigevorrichtung (12), wobei die Optikanordnung (13) in einem vorgegebenen Abstand (d) von der Anzeigevorrichtung (12) angeordnet ist. Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein entsprechendes Verfahren sowie die Verwendung eines natürlichen Bildes (30) zur Refraktionsbestimmung.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein System zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner Verfahren zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes bzw. einer natürlichen Szenerie, sowie die Verwendung eines natürlichen Bildes zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden.

[0002] Zur subjektiven Refraktionsbestimmung sind Untersuchungsgeräte wie Messbrille oder Phoropter bekannt, bei denen beispielsweise sphärische oder zylindrische Probiergläser vor das Auge eines Probanden geschwenkt werden, um anhand der Angaben des Probanden seine Fehlsichtigkeit zu bestimmen.

[0003] Bei der subjektiven Refraktionsbestimmung gemäß nationalen sowie internationalen Normen kommen stets definierte Sehzeichen, auch Optotypen genannt, zum Einsatz. Die Optotypen werden schwarz auf weißem Grund mit hohem Kontrast dargestellt. Die Strichstärke (1/5 der Typengröße) des als genormtes DIN-Sehzeichen geltenden Landoltringes ist so bemessen, dass sie in einer für Sehschärfe 1 vorgesehenen Reihe dem Auge unter einem Winkel von 1 Bogenminute erscheint. Weitere Sehzeichen sind der Snellen-Haken, auch E-Haken genannt, der häufig für die Untersuchung von Kindern verwendet wird. Zudem wird bei Prüfungen des Nahvisus häufig eine Texttafel verwendet, zum Beispiel sogenannte Nieden-Leseproben. Die Optotypen werden einzeln oder in Reihen von 5 bzw. 10 Optotypen dargestellt.

[0004] Zur Refraktionsbestimmung werden dem Probanden nacheinander in einer definierten Entfernung Optotypen verschiedener Größen dargeboten. Der Proband sitzt hierfür in einem vorgegebenen Abstand von den angezeigten Optotypen. Die Fehler der Augen werden durch Annäherung an die Schwelle des Auflösungsvermögens des Probanden bestimmt.

[0005] Die Druckschrift US 6,325,513 beschreibt es als im Stand der Technik nachteilig, dass der Proband bei einer derartigen Messung keine entspannte Haltung einnehme und ein natürlicher Seheindruck verfälscht werde. In der Druckschrift wird daher eine Art kompakte Messbrille vorgeschlagen, bei welcher die Zeichen zur Refraktionsbestimmung auf die Retina projiziert werden. Mit der darin vorgeschlagenen Lösung werde eine Überlagerung erzeugter Messbilder mit der Umgebung bei bequemer, entspannter Sitzhaltung ermöglicht. Die subjektive Refraktionsbestimmung erfolgt anhand der Optotypen.

[0006] Die Druckschrift DE 4091126 C2 offenbart eine Vorrichtung zur binokularen Sehprüfung mit einer Anzeigevorrichtung auf der abwechselnd Sehtestzeichen für das linke und das rechte Auge darstellbar sind. Hierfür ist eine steuerbare Verschlusseinrichtung vorgesehen, die derart angesteuert wird, dass einige der dargestellten Sehtestzeichen nur dem linken Auge, einige der dargestellten Sehtestzeichen nur dem rechten Auge und einige der Sehtestzeichen beiden Augen dargeboten werden. Dadurch wird eine binokulare Sehprüfung ermöglicht. Die Anzeigevorrichtung kann ein Fernsehmonitor mit ausreichender hoher Bildwiederholfrequenz sein. Ein Fernsehmonitor weist jedoch meist keine ausreichende hohe Leuchtdichte auf, um die getrennten Sehzeichen dann für jedes Einzelauge mit den geforderten Leuchtdichten (beispielsweise 250cd/m²) darzustellen.

[0007] Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein System und ein Verfahren zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden bereitzustellen, welche die Refraktionsbestimmung weiter verbessern und insbesondere eine aussagekräftige Bestimmung der habituellen Refraktionsfehler ermöglichen.

[0008] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird daher vorgeschlagen, ein System zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes bereitzustellen, wobei das System Folgendes aufweist:

- eine Speichereinrichtung, in welcher mindestens ein natürliches Bild gespeichert ist;
- eine Anzeigevorrichtung zum Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes aus der Speichereinrichtung; und
- eine Optikanordnung zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen in einen optischen Pfad zwischen dem Auge des Probanden und der Anzeigevorrichtung, wobei die Optikanordnung in einem vorgegebenen Abstand von der Anzeigevorrichtung angeordnet ist.

[0009] Die Erfinder haben erkannt, dass die bisherige Darstellung von Sehzeichen bei der Bestimmung der habituellen Refraktion nicht notwendigerweise zu einem optimalen Ergebnis führt. Bisherige Optotypen gemäß

nationalen sowie internationalen Normen, die bei der Messung der Refraktionsfehler der Augen unter monokularen bzw. binokularen Bedingungen sowie während der MKH (Mess- und Korrektionsmethode nach Haase) genutzt werden, werden entsprechend der jeweiligen Normen präsentiert. Diese standardisierten Bedingungen entsprechen jedoch im Allgemeinen nicht denjenigen Bedingungen, welche ein Proband im Alltag vorfinden würde.

[0010] Im Rahmen der vorliegenden Offenbarung wird vorgeschlagen, ein natürliches Bild zur subjektiven Refraktionsbestimmung einzusetzen, insbesondere eine natürliche Szenerie wie beispielsweise eine Landschaftsaufnahme. Dabei zeichnet sich ein natürliches Bild vorzugsweise durch eine aus den Kanten der im Bild dargestellten Objekte resultierende Ortsfrequenzverteilung und vorzugsweise einen ortsfrequenzabhängigen Kontrast aus, wobei der Kontrast insbesondere mit zunehmender Ortsfrequenz abnimmt. Der Kontrastumfang eines im Rahmen der vorliegenden Erfindung verwendeten natürlichen Bildes, d.h. der Bereich der in dem natürlichen Bild vorhandenen Kontraste, beträgt bei einer Bestimmung des Kontrasts nach Michelson vorzugsweise von einschließlich 0,2 bis einschließlich 1, vorzugsweise einschließlich 0,3 bis einschließlich 1, vorzugsweise von einschließlich 0,4 bis einschließlich 1.

[0011] Die Ortsfrequenz gibt an, wie häufig sich sinusförmige Bestandteile eines Bildes wiederholen. Ist der Abstand zwischen den sinusförmigen Bestandteilen eines Bildes sehr groß, entspricht dies einer niederen Ortsfrequenz und einer groben Struktur. Ist im Gegensatz dazu der Abstand zwischen den sinusförmigen Bestandteilen gering, entspricht dies einer hohen Ortsfrequenz und einem feinen Detail. Wird der Abstand zur Anzeigevorrichtung verändert, ändern sich auch die spezifischen Ortsfrequenzen des betrachteten Bildes. Es versteht sich also, dass eine Ortsfrequenz bezogen auf eine Länge bzw. Pixel eines Bildschirms definierter Größe von dem Beobachtungsabstand d von der Anzeigeeinrichtung abhängen. Die Ortsfrequenz kann jedoch umgerechnet und als entfernungsunabhängiger Wert in Perioden pro Grad, auch als cpd ('cycles per degree') bezeichnet, angegeben werden. Unter Ortsfrequenz kann die Anzahl der Kanten pro Grad Sehwinkel verstanden werden.

[0012] Ein Bild kann neben seiner räumlichen Darstellung, beispielweise in Form einer Matrix aus Pixeln unterschiedlicher Grau- bzw. Farbwerte, auch durch die darin enthaltenen räumlichen Frequenzen bzw. Ortsfrequenzen beschrieben werden. Vereinfacht gesprochen entspricht eine kleine Ortsfrequenz einer größeren Struktur. Eine hohe Ortsfrequenz entspricht einer kleineren Struktur. Die Ortsfrequenz ist somit ein Maß für die Größe einer abgebildeten Struktur.

[0013] Ferner besteht bei der Verwendung von Optotypen der Wunsch des Probanden stets das richtige Ergebnis zu nennen. Es entsteht eine Art Prüfungssituation, bei welcher der Proband sich möglicherweise selbst unter Druck setzt. Der Lösungsraum der richtigen Antworten ist bei Sehzeichen, wie beispielsweise dem Snellen-Haken mit vier möglichen Orientierungen, begrenzt. Der Proband kann die Augen kurzfristig zusammenkneifen, um so das Erkennen des richtigen Ergebnisses zu forcieren.

[0014] Ferner kann es sein, dass ein Proband nicht seine gewohnten Kopf- und Körperhaltung einnimmt sondern unnatürlich aufrecht oder angespannt sitzt. Auch dies kann zur Folge haben, dass Seheindrücke anders wahrgenommen werden und sich im schlechtesten Fall negativ auf die ermittelte Stärke auswirken. Es können sich somit Abweichungen zwischen den Ergebnissen einer subjektiven Refraktionsbestimmung und den habituellen Refraktionsfehlern des Probanden ergeben.

[0015] Bei der hierin beschriebenen Lösung wird daher vorgeschlagen, die Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften des Auges des Probanden anhand natürlicher Bilder mit definierten Merkmalen durchzuführen. Natürliche Bilder können dabei Fotografien oder Abbildungen einer natürlichen Szenerie, insbesondere einer typischen Umwelt, in der man lebt, entsprechen. Die Refraktionsbestimmung kann anhand der auf den natürlichen Bildern gezeigten Inhalte auf die alltäglichen Sehbedingungen des Probanden zugeschnitten werden. Ein weiterer Vorteil dieser Lösung gegenüber Sehzeichen ist, dass der Proband nicht von vorneherein weiß, welche Antwort von ihm erwartet wird.

[0016] Basierend auf den natürlichen Bildern können die habituellen Refraktionsfehler der Augen durch Annäherung an die Schwelle des Auflösungsvermögens bestimmt werden. Hierzu weist das natürliche Bild verschiedene Merkmale unterschiedlicher Strukturgrößen bzw. Ortsfrequenzen auf. Aus dem vorgegebenen Abstand von der Anzeigevorrichtung betrachtet entsprechen die Merkmale unterschiedlicher Größe unterschiedlichen Betrachtungswinkeln, welche wiederum zur Bestimmung des Auflösungsvermögens herangezogen werden. Beispielsweise kann getestet werden, ob der Proband bzw. mit welchen lichtbrechenden Elementen im opti-

schen Pfad der Proband eine Struktur wie beispielsweise einen Baum oder eine Felsformation erkennen kann. Entsprechendes gilt für eine natürliche Szenerie einer Testumgebung.

[0017] Die Optikanordnung dient dazu verschiedene lichtbrechende Elemente wie beispielsweise sphärische oder zylindrische Probierrgläser in den optischen Pfad zwischen dem Auge des Probanden und der Anzeigevorrichtung einzubringen. Die Optikanordnung kann beispielsweise ein Phoropter oder eine Messbrille sein.

[0018] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein System zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines Bildes vorgeschlagen, wobei das System Folgendes aufweist:

- eine Speichereinrichtung, in welcher mindestens ein Bild mit einer Mehrzahl von Bildbereichen gespeichert ist, wobei verschiedene Bildbereiche unterschiedliche insbesondere zunehmende Ortsfrequenzen aufweisen und wobei verschiedene Bildbereiche einen ortsfrequenzabhängigen Kontrast aufweisen, welcher mit zunehmender Ortsfrequenz abnimmt;
- eine Anzeigevorrichtung zum Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes aus der Speichereinrichtung;
- eine Optikanordnung zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen in einen optischen Pfad zwischen dem Auge des Probanden und der Anzeigevorrichtung, wobei die Optikanordnung in einem vorgegebenen Abstand von der Anzeigevorrichtung angeordnet ist.

[0019] Gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die Verwendung eines natürlichen Bildes zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden mit einer Mehrzahl von Bildbereichen vorgeschlagen, wobei verschiedene Bildbereiche unterschiedliche insbesondere zunehmende Ortsfrequenzen aufweisen und wobei das natürliche Bild eine natürliche Szenerie abbildet.

[0020] Gemäß einem vierten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes vorgeschlagen, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines Systems zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes, wobei das System Folgendes aufweist:
- eine Speichereinrichtung, in welcher mindestens ein natürliches Bild gespeichert ist;
- eine Anzeigevorrichtung zum Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes aus der Speichereinrichtung;
- eine Optikanordnung zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen in einen optischen Pfad zwischen dem Auge des Probanden und der Anzeigevorrichtung;
- Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes, welches in einer Speichereinrichtung gespeichert ist, auf der Anzeigevorrichtung; und
- Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen in den optischen Pfad zwischen dem Auge des Probanden und der Anzeigevorrichtung mittels der Optikanordnung, wobei die Optikanordnung in einem vorgegebenen Abstand von der Anzeigevorrichtung angeordnet ist.

[0021] Gemäß einem fünften Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes vorgeschlagen, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines Systems zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes, wobei das System Folgendes aufweist:
- eine Speichereinrichtung, in welcher mindestens ein Bild mit einer Mehrzahl von Bildbereichen gespeichert ist, wobei verschiedene Bildbereiche unterschiedliche Ortsfrequenzen aufweisen und wobei das natürliche Bild eine natürliche Szenerie abbildet;
- eine Anzeigevorrichtung zum Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes aus der Speichereinrichtung;
- eine Optikanordnung zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen in einen optischen Pfad zwischen dem Auge des Probanden und der Anzeigevorrichtung; und
- Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes, welches in einer Speichereinrichtung gespeichert ist, auf der Anzeigevorrichtung;
- Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen in den optischen Pfad zwischen dem Auge des Probanden und der Anzeigevorrichtung mittels der Optikanordnung, wobei die Optikanordnung in einem vorgegebenen Abstand von der Anzeigevorrichtung angeordnet ist.

[0022] Gemäß einem sechsten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung einer natürlichen Szenerie vorgeschlagen, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- Bereitstellen einer Testumgebung, welche eine natürliche Szenerie aufweist, wobei die natürliche Szenerie von einer vorgegebenen Position (P) aus betrachtet verschiedene Bereiche unterschiedlicher Ortsfrequenzen aufweist;
- Bereitstellen einer Optikanordnung zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen in einen optischen Pfad zwischen dem Auge des Probanden und der natürlichen Szenerie; und
- Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen in den optischen Pfad zwischen dem Auge des Probanden und der natürlichen Szenerie mittels der Optikanordnung, wobei die Optikanordnung an der vorgegebenen Position angeordnet ist.

[0023] Die vorstehend für den ersten Aspekt der Erfindung ausführlich beschriebenen Vorteile gelten für die weiteren Aspekte der Erfindung entsprechend.

[0024] Mit den vorgeschlagenen Lösungen kann die Refraktionsbestimmung weiter verbessert werden, indem eine habituelle Refraktionsbestimmung unter Bedingungen durchgeführt werden kann, die den natürlichen Sehbedingungen des Probanden eher entsprechen.

[0025] Die eingangs gestellte Aufgabe wird daher vollkommen gelöst.

[0026] In einer Ausgestaltung des Systems kann das natürliche Bild oder ein Bildbereich des natürlichen Bildes einen ortsfrequenzabhängigen Kontrast aufweisen, wobei der Kontrast mit zunehmender Ortsfrequenz abnimmt.

[0027] Mit anderen Worten kann somit zumindest ein Bereich des natürlichen Bildes bzw. Bildes zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften des Auges einen Kontrast aufweisen, welcher bei kleinen Ortsfrequenzen größer ist, als bei hohen Ortsfrequenzen. Eine kleine Ortsfrequenz entspricht dabei einer größeren Struktur. Eine hohe Ortsfrequenz entspricht dabei einer kleineren Struktur. In diesem Kontext kann sich der Ausdruck natürliches Bild auf ein Bild beziehen, welches zumindest einen Bildbereich mit ortsfrequenzabhängigem Kontrast aufweist, wobei der Kontrast mit zunehmender Ortsfrequenz abnimmt. Im Gegensatz hierzu weisen die Optotypen bei konventionellen Sehtesttafeln gemäß nationalen sowie internationalen Normen unabhängig von der Strukturgröße bzw. Ortsfrequenz einen konstanten Kontrast auf. Bei konventionellen Sehtesttafeln werden große wie kleine Optotypen üblicherweise schwarz auf weißen Grund dargestellt. Die Darstellung eines Optotypen auf einer konventionellen Sehtesttafel weist somit unabhängig von der Ortsfrequenz einen konstanten Kontrast nach Michelson mit einem konstanten Wert zwischen 0,9 und 1 auf. Demgegenüber beträgt der Kontrastumfang eines im Rahmen der vorliegenden Erfindung verwendeten natürlichen Bildes bei einer Bestimmung des Kontrasts nach Michelson vorzugsweise von einschließlich 0,2 bis einschließlich 1, vorzugsweise einschließlich 0,3 bis einschließlich 1, vorzugsweise von einschließlich 0,4 bis einschließlich 1.

[0028] Vorzugsweise kann der Kontrast umgekehrt proportional zur Ortsfrequenz sein. Zumindest Abschnittsweise kann somit die Beziehung $K(f) \sim 1/f$ gelten oder allgemeiner $K(f) \sim f^a$ mit $-1,5 \leq a \leq -0,8$, insbesondere $a = -1,2$. Demgegenüber weisen konventionelle Sehtesttafeln, mit beispielsweise schwarzen Sehtestzeichen auf weißem Grund, einen bezüglich der Ortsfrequenz konstanten Kontrast auf. Hierdurch soll bei konventionellen Sehtesttafeln eine maximale Erkennbarkeit der Optotypen sichergestellt werden. Die Erfinder haben jedoch den unerwarteten Effekt erkannt, dass die Verwendung von natürlichen Bildern, einer natürlichen Szenerie bzw. Bildern zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges, welche zumindest in Bereichen einen ortsfrequenzabhängigen Kontrast aufweisen, welcher mit zunehmender Ortsfrequenz abnimmt, zu einem Ergebnis führen kann, welches eine konventionelle Refraktionsbestimmung übertrifft. Insbesondere kann eine basierend auf einem solchen Ergebnis der Refraktionsbestimmung angepasste Sehhilfe von Probanden im Alltag als angenehmer empfunden werden.

[0029] Der Kontrast bzw. photometrische Kontrast kann als Leuchtdichteunterschied verstanden werden. Der Kontrast kann sich zwischen örtlich mehr oder weniger benachbarten Reizen bestimmt werden. Nach Michelson wird der Kontrast K_M für Gittermuster definiert durch

$$K_M = \frac{L_{M \max} - L_{M \min}}{L_{M \max} + L_{M \min}} \quad (1)$$

mit L_{Max} = Leuchtdichtemaximum und L_{Min} = Leuchtdichteminimum. In diesem Falle variiert der Kontrast bei festgelegter, mittlerer Helligkeit durch Erhöhung oder Verringerung der Helligkeit um den gleichen Betrag. Werden jedoch kleine Sehobjekte, wie beispielsweise Landoltringe, verwendet, kann die Definition des Kontrastes nach Weber erfolgen durch

$$K_W = \frac{L_I - L_U}{L_U} \quad (2)$$

mit L_I = Leuchtdichte Innfeld und L_U = Leuchtdichte Umfeld. Im Fall der Sehschärfeuntersuchung erfolgt die Definition des Kontrastes nach Weber. Angaben in dieser Offenbarung beziehen sich auf die Definition des Kontrastes nach Michelson (siehe auch Bex. et al. „Spatial frequency, phase, and the contrast of natural images“, Journal of the Optical Society of America, Vol. 19, No. 6, 2002).

[0030] Vorzugsweise wird ein Kontrast des natürlichen Bildes für höhere Ortsfrequenzen angehoben, insbesondere auf ein Kontrastniveau einer durch das natürliche Bild abgebildeten natürlichen Szenerie.

[0031] Indem ein Kontrast für höhere Ortsfrequenzen angehoben wird, kann eine Tiefpasscharakteristik eines Abbildungssystems bei der Bildaufnahme des natürlichen Bildes kompensiert werden kann. Ein Vorteil dieser Ausgestaltung besteht darin, dass bei Betrachtung des natürlichen Bildes auf einer Anzeigevorrichtung ein ähnlicher Seheindruck hervorgerufen werden, als ob der Proband eine natürliche Szenerie direkt betrachten würde anstelle einer Abbildung der natürlichen Szenerie.

[0032] In einer Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass das natürliche Bild bzw. die darin abgebildete natürliche Szenerie eine Abbildung einer typischen Umwelt ist.

[0033] Ein Vorteil dieser Ausgestaltung ist, dass der Proband auf gewohnte Inhalte blickt und sich somit psychologisch besser von der Testsituation lösen kann. Der Proband nimmt somit mitunter eine entspanntere Haltung ein. Vorzugsweise können natürliche Bilder Abbildungen, insbesondere Fotografien oder fotorealistischen oder gerenderten Abbildungen, von der typischen Umwelt in der man lebt, entsprechen. Beispielsweise können für einen Probanden Landschaftsbilder gezeigt werden. Insbesondere kann ein natürliches Bild eine Fotografie oder fotorealistische Abbildungen einer Landschaftsszene, insbesondere eine zusammenhängende Darstellung einer Szene einer Landschaft, insbesondere mit landschaftstypischer Flora und Fauna. Es kann sich bei natürlichen Bildern somit um ein gewohntes Umfeld des Probanden handeln. Hiermit können bei der habituellen Refraktionsbestimmung mitunter bessere Ergebnisse erzielt werden, da eine übliche Sehsituation die Grundlage der Refraktionsbestimmung bildet. Ferner können natürliche Bilder derart gewählt werden, dass sie beim Probanden positive Assoziationen wecken, wie beispielsweise Bilder von einem Strand, Wald oder dergleichen.

[0034] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass das natürliche Bild Merkmale zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften aufweist.

[0035] Insbesondere kann in einer Ausgestaltung des Systems vorgesehen sein, dass das natürliche Bild mindestens zwei Bereiche mit unterschiedlichen Ortsfrequenzen aufweist. Bereiche unterschiedlicher Ortsfrequenzen, also unterschiedlicher räumlicher Frequenzen, dienen dazu die Sehschärfe zu prüfen. Um kleine Strukturen, also Strukturen mit hoher Ortsfrequenz, auflösen zu können ist eine hohe Sehschärfe erforderlich. In einem natürlichen Bild können sogenannte „Regions of Interest“ (ROIs) definiert werden, die einem bestimmten Bereich von Ortsfrequenzen zugehörig sind, welcher einer bestimmten Sehschärfe entspricht. Mit anderen Worten können ROIs somit Bereiche in einem natürlichen Bild darstellen, die einen abzutestenden Bereich von Ortsfrequenzen beinhalten. Fehler der Augen werden durch Annäherung an die natürliche Schwelle des Auflösungsvermögens bestimmt. Eine hohe Ortsfrequenz entspricht dabei einer kleinen Strukturgröße. Der Proband kann aufgefordert werden, Merkmale aus Bereichen mit unterschiedlichen, vorzugsweise mit immer größer werdenden Ortsfrequenzen, also kleineren Strukturgrößen oder Objekten, zu benennen, bis die Schwelle seines Auflösungsvermögens erreicht ist. Vorzugsweise nimmt der Kontrast für Bereiche mit zunehmenden Ortsfrequenzen ab. Insbesondere kann der Kontrast umgekehrt proportional zur Ortsfrequenz sein.

[0036] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass das natürliche Bild eine Verteilung von Ortsfrequenzen aufweist, welche eine Mehrzahl, vorzugsweise alle, zur Bestimmung von subjektiven Refraktionseigenschaften des Auges des Probanden erforderlichen Ortsfrequenzen in einem einzigen Bild umfassen.

[0037] Mit anderen Worten weist das natürliche Bild vorzugsweise eine vorgegebene Verteilung von Ortsfrequenzen auf, die in Abhängigkeit der Detailtreue hoch ist bzw. mit abnehmender Detailtreue abnimmt. Somit können vorzugsweise alle Schwellen für die Bestimmung der Refraktionsfehler in einem Bild gleichzeitig präsentiert werden. Ein Vorteil dieser Ausgestaltung ist, dass nur ein einziges Bild zur Refraktionsbestimmung erforderlich ist. Beispielsweise kann eine Wolkenkratzerzene die Gebäude als größte Elemente, Fahrzeuge als mittlere Elemente bis hin zu Werbetafeln mit einzelnen Schriftzeichen als kleine Elemente aufweisen. Selbstverständliche sind weitere Zwischenstufen möglich. In einem weiteren Beispiel wird eine Naturszene gezeigt mit Bergketten bis hin zu Blättern oder Tannennadeln. Vorzugweise ist das natürliche Bild entgegen konventionellen Sehtesttafeln nicht derart aufgebaut, dass die Größe der Bildelemente in einer Richtung, beispielsweise von oben nach unten, immer kleiner wird. Insbesondere ist eine Größenabfolge nicht in einer Richtung monoton steigend oder fallend. Insbesondere kann die Verteilung von Ortsfrequenzen im Bild pseudo-zufällig sein. Die Verteilung unterliegt also keinem Schema, welches dem Probanden unmittelbar ersichtlich wäre. Optotypen bzw. Einzeloptotypen können optional, beispielsweise eingebettet in einer solchen Szene, augmentiert präsentiert werden.

[0038] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass das natürliche Bild Strukturen mit unterschiedlichen Ortsfrequenzen (f) zeigt, wobei die Ortsfrequenzverteilung, bei Betrachtung aus dem vorgegebenen Abstand, mindestens eine Ortsfrequenz kleiner oder gleich 0,3 und mindestens eine Ortsfrequenz größer oder gleich 60 Perioden pro Grad aufweist, vorzugsweise mindestens eine Ortsfrequenz kleiner oder gleich 0,01 und mindestens eine Ortsfrequenz größer oder gleich 80 Perioden pro Grad aufweist.

[0039] Die Ortsfrequenzverteilung wird vorzugsweise in Perioden pro Grad also als eine Ortsfrequenz hinsichtlich eines Winkels angegeben, da die Sehschärfe des Probanden als Maß für das Winkelauflösungsvermögen gesehen werden kann. Der Winkel wiederum kann aus dem vorgegebenen Abstand, aus welchem der Proband die Anzeigevorrichtung betrachtet und der Größe der auf der Anzeigevorrichtung angezeigten Struktur berechnet werden. Beispielsweise kann das natürliche Bild eine Ortsfrequenzverteilung von 0.009 bis 85 Perioden pro Grad aufweisen. In einem weiteren Beispiel kann das natürliche Bild eine Ortsfrequenzverteilung von 0.02 bis 70 Perioden pro Grad aufweisen. Es gilt also die Beziehung unterer Wert \leq angegebener Bereich \leq oberer Wert. Die Strukturen im Intervall dazwischen können eine beliebige Anzahl an Ortsfrequenzen zeigen. Unter einer Struktur mit einer Ortsfrequenz ist vorliegend eine Struktur mit einer der Ortsfrequenz entsprechenden räumlichen Größe zu verstehen.

[0040] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass das System ferner eine Auswahleinrichtung zum Auswählen des natürlichen Bildes gemäß Präferenzen des Probanden aufweist.

[0041] Ein Vorteil dieser Ausgestaltung ist, dass die Refraktionsbestimmung auf ein übliches Umfeld des Probanden abgestimmt werden kann, beispielsweise hinsichtlich Beleuchtung, Kontrast, Farbspektrum sowie der dargestellten Inhalte. Vorzugweise kann somit die neuronale Transferfunktion des Probanden bei der Refraktionsbestimmung mit berücksichtigt werden. Beispielsweise kann eine für den Probanden natürliche Umgebung wie Stadt, Wald, Strand gewählt werden. Ein weiterer Vorteil kann darin bestehen, dass der Proband in der Messsituation entspannter sein ist und somit realistischere Werte der subjektiven Refraktionseigenschaften seines Auges erhalten werden können.

[0042] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass das natürliche Bild mindestens eine Verfremdung aufweist.

[0043] Beispielsweise kann es sich bei einer Verfremdung um eine computergraphische Veränderung handeln. Ein Vorteil dieser Ausgestaltung kann darin bestehen, dass einer Erwartungshaltung für das Erkennen von Details in natürlichen Bildern entgegnet werden kann. Es können unerwartete Details angezeigt werden, wie beispielsweise eine bestimmte Form einer Wolke, Eichenblätter an einem Ahornbaum, oder eine unerwartete Form eines Baumstammes. Auch hierbei können die Präferenzen des Probanden vorteilhaft berücksichtigt werden, indem mit einer Erwartungshaltung des Probanden gespielt werden kann und gezielt für diesen Probanden unerwartete Verfremdungen vorgenommen werden können.

[0044] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass wenigstens ein Sehzeichen zumindest teilweise in das natürliche Bild integriert ist.

[0045] Vorzugsweise können Sehzeichen beziehungsweise deren Geometrien, die in nationalen bzw. internationalen Normen zur Bestimmung der subjektiven Refraktion angezeigt werden, ganz oder teilweise in das

natürliche Bild mit aufgenommen sein. Zum Beispiel können Abstände oder Strichstärken von Merkmalen des natürlichen Bildes denen von normierten Sehzeichen entsprechen.

[0046] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass die Anzeigevorrichtung eine gekrümmte Anzeigefläche aufweist.

[0047] Ein gekrümmter Bildschirm ist von Vorteil, da dieser den anatomischen Bedingungen des Auges mit gekrümmter Netzhaut entspricht. Dennoch ist die Darstellung auf einem herkömmlichen, flachen Bildschirm auch möglich. Um eine Annäherung an die anatomischen Gegebenheiten des Auges zu ermöglichen, erfolgt die Darstellung der natürlichen Bildern vorzugsweise auf einer gekrümmten Anzeigeeinheit insbesondere mit einer Bildschirmdiagonale von 55 Zoll oder größer, um ein immersives Gefühl und damit einen natürlicheren Seheindruck bei der Refraktionsbestimmung zu erhalten. Die Verwendung von bisher üblichen Monitoren ist jedoch nicht ausgeschlossen. Auch die Darstellung über einen Beamer auf gerade oder gekrümmte Flächen im Raum ist denkbar. Auch der Einsatz eines Virtual-Reality-(VR-)Systems mit vorzugsweise großem Gesichtsfeld (Field of View) und einstellbarer Fokusfläche von nahen Abständen bis hin zu virtuellen Abständen im Fernbereich und optional integrierter Phoropter oder adaptiver Optik ist denkbar. Bei einer gekrümmten Anzeigefläche kann der Abstand zum Auge des Betrachters für jeden Punkt der Anzeigefläche individuell bestimmt werden. Zur Vereinfachung kann der Abstand zum Krümmungsmittelpunkt betrachtet werden. Auch eine Holobrille kann eingesetzt werden.

[0048] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass die Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften monokular im zweidimensionalen Raum erfolgt oder monokular unter binokularen Bedingungen.

[0049] Die Refraktionsbestimmung kann somit unter zweidimensionalen oder dreidimensionalen Bedingungen erfolgen. Bei der Refraktionsbestimmung unter binokularen Bedingungen im dreidimensionalen Raum können beispielsweise Polarisationsfilter zum Einsatz kommen, um die Beiträge für das rechte und das linke Auge zu separieren.

[0050] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass das System ferner Mittel zum Erfassen der Kopfbewegung und/oder Augenbewegung des Probanden aufweist.

[0051] Wird gemäß dieser Ausgestaltung ein Mittel zur Messung der Augenbewegungen in das System integriert, kann über die Analyse der Verteilung der Augenbewegungen auf dem gesehenen Bild vorzugsweise in Echtzeit nachvollzogen werden, welche Ortsfrequenzen häufig angeblickt werden. Daraus kann abgeleitet werden, welche Ortsfrequenzen häufig erkannt werden. Dies wiederum kann zur genauen Definition der auflösbaren Schwelle des Auges mit und ohne Brille verwendet werden. Die subjektiven Refraktionseigenschaften des Auges können bestimmt werden, indem mit der Optikanordnung nacheinander verschiedene lichtbrechende Elemente (z.B. sphärische Linsen etc.) eingebracht werden und die auflösbare Schwelle des Auges jeweils bestimmt wird. Dies kann wiederholt werden, bis eine Korrektur einer Fehlsichtigkeit erreicht ist. Ein Vorteil dieser Ausgestaltung liegt darin, dass die Bestimmung von Refraktionsparametern des Probanden ohne seine ausdrückliche Rückmeldung erfolgen kann. Dies ist insbesondere von Vorteil bei Probanden, die sich nicht oder nicht adäquat artikulieren können, wie beispielsweise bei Kindern oder Probanden mit Einschränkungen. Wenn die Kopfbewegungen des Probanden erfasst werden, erlaubt dies die Anpassung des anzublickenden Bildes an die Kopfbewegungen des Probanden in Echtzeit, während dessen Refraktion bestimmt wird.

[0052] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass das natürliche Bild ein bewegtes Bild bzw. Video ist.

[0053] Ein Vorteil dieser Ausgestaltung ist, dass die Messsituation aufgelockert werden kann, sodass die Refraktionsbestimmung mit einem entspannteren Probanden erfolgen kann. Die Ergebnisse entsprechen somit eher den natürlichen Sehbedingungen. Bei bewegten Bildern kann es sich um ein zweidimensionales oder auch dreidimensionales Video handeln, welches dem Probanden während der habituellen Refraktionsbestimmung präsentiert wird.

[0054] In einer weiteren Ausgestaltung des Systems kann vorgesehen sein, dass das System ferner einen exzentrischen Photorefraktor aufweist.

[0055] Während der Refraktionsbestimmung kann vorzugsweise eine kontinuierliche Messung der Refraktionsfehler beispielsweise mittels exzentrischer Photorefraktion erfolgen. Ein Untersucher kann dabei beispiels-

weise auf seinem Bildschirm die Restrefraktion des Auges verfolgen und die Qualität seiner Refraktion während der Bestimmung überprüfen. Der exzentrische Photorefraktor ist vorzugsweise in der gleichen Entfernung wie die Anzeigevorrichtung, auf der das natürliche Bild präsentiert wird, angeordnet. Alternativ kann der Photorefraktor bei oder als Teil der Optikanordnung vorgesehen sein. Die Optikanordnung kann somit einen exzentrischen Photorefraktor aufweisen.

[0056] Vorzugweise kann die Ermittlung der habituellen Refraktionsfehler mittels natürlicher Bilder in eine bekannte subjektive Methode integriert werden, wie beispielsweise mittels Messbrille, manuellem oder digitalem Phoropter.

[0057] Beispielsweise können ein Schritt oder mehrere der folgenden Schritte der Refraktionsbestimmung mit Bildinhalten aus natürlichen Bildern durchgeführt werden: Bestimmen eines besten sphärischen Glases, Bestimmen eines Astigmatismus, Achsabgleich eines Astigmatismus, Stärkenabgleich eines Astigmatismus und monokularer und/oder binokularer sphärischer Feinabgleich (rot/grün). Der Proband schaut dabei auf die Anzeigevorrichtung, auf welcher das natürliche Bild dargestellt wird. Um die habituelle Fehlsichtigkeit zu messen muss der Proband Bildinhalte bewerten, vorlesen bzw. erkennen, wie beispielsweise in einem Landschaftsbild Bäume, Äste oder Blätter, damit ein sphärischer und gegebenenfalls auch astigmatischer Fehler des Auges bestimmt und somit auch korrigiert werden kann. Ziel der Refraktionsbestimmung kann dabei die Korrektur der habituellen subjektiven Refraktionseigenschaften mit der maximal erkennbaren Ortsfrequenz bei maximal positiver Korrektur sein.

[0058] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen. Insbesondere gelten die obigen Ausgestaltungen und Weiterbildungen neben natürlichen Bildern für die vorstehend beschriebenen weiteren Aspekte der Erfindung und auch für eine Testumgebung, insbesondere mit einer natürlichen Szenerie, entsprechend.

[0059] Ausführungsformen der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0060] Fig. 1 eine Ausführungsform eines Systems zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes,

[0061] Fig. 2 eine Ausführungsform eines entsprechenden Verfahrens,

[0062] Fig. 3 ein beispielhaftes Szenario zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden anhand einer natürlichen Szenerie,

[0063] Fig. 4 eine Ausführungsform eines entsprechenden Verfahrens,

[0064] Fig. 5 eine Beispiel einer konventionellen Sehtesttafel,

[0065] Fig. 6 ein schematisches Diagramm des Kontrastes gegenüber der Ortsfrequenz für konventionelle Sehtesttafeln,

[0066] Fig. 7 ein Beispiel eines natürlichen Bildes,

[0067] Fig. 8 ein Ortsfrequenzdiagramm des Beispielbildes aus Fig. 7,

[0068] Fig. 9 das Beispielbild aus Fig. 7 mit Kennzeichnung von Bereichen unterschiedlicher Ortsfrequenzen, und

[0069] Fig. 10 ein schematisches Diagramm des Kontrastes gegenüber der Ortsfrequenz für ein Bild gemäß der vorliegenden Offenbarung,

[0070] Fig. 11 eine Ausführungsform eines Verfahrens zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden.

[0071] Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform eines Systems zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes. Das System ist dabei in seiner Gesamtheit mit Bezugszeichen **10** bezeichnet.

[0072] Das System **10** zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften des Auges **20** des Probanden weist dabei Folgendes auf: eine Speichereinrichtung **11**, in welcher mindestens ein natürliches Bild **30** gespeichert ist; eine Anzeigevorrichtung **12** zum Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes **30** aus der Speichereinrichtung **11**; und eine Optikanordnung **13** zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen **14**, **15** in einen optischen Pfad zwischen dem Auge **20** des Probanden und der Anzeigevorrichtung **12**, wobei die Optikanordnung **13** in einem vorgegebenen Abstand d von der Anzeigevorrichtung **12** angeordnet ist.

[0073] Die Speichereinrichtung **11** kann in dieser Ausführungsform in die Anzeigevorrichtung **12** integriert sein oder räumlich getrennt von der Anzeigevorrichtung **11** angeordnet und kabellos oder kabelgebunden mit dieser verbunden sein. Es ist lediglich erforderlich, dass das in der Speichereinrichtung **11** gespeicherte natürliche Bild **30** auf der Anzeigevorrichtung **12** angezeigt werden kann.

[0074] Bei der Anzeigevorrichtung **12** handelt es sich im vorliegenden Beispiel um einen Flachbildfernseher. Dieser weist vorzugsweise eine Bildschirmdiagonale von nicht weniger als 55 Zoll auf. Ferner kann die Anzeigefläche der Anzeigevorrichtung gekrümmt sein, um eine immersivere Darstellung des natürlichen Bildes **30** zu ermöglichen. Damit entspricht die Sehsituation bei der Refraktionsbestimmung eher den üblichen Sehbedingungen des Probanden in seiner üblichen Umgebung. Bei der Anzeigevorrichtung kann es sich um einen 3D-Bildschirm handeln. Ein Vorteil der dreidimensionalen Darstellung ist, dass die Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften nicht nur monokular im zweidimensionalen Raum erfolgen kann, sondern optional auch monokular unter bidirektionalen Bedingungen. Auch die Darstellung bewegter natürlicher Bilder in Form von Videosequenzen ist möglich. Für die 3D Darstellung können bekannte Techniken wie Shutter-Techniken oder Polarisationsfilter zum Einsatz kommen. Optional handelt es sich bei der Anzeigevorrichtung **12** um eine holographische Anzeige.

[0075] Bei der Optikanordnung handelt es sich im vorliegenden Beispiel um einen Phoropter, welcher schematisch durch zwei Linsenelemente **14** und **15** vereinfacht dargestellt ist. Alternativ kann beispielsweise eine Messbrille zum Einsatz kommen. Bei einem beispielhaften Szenario zur Refraktionsbestimmung setzt sich der Proband gegenüber der Anzeigevorrichtung **12** in einem definierten Abstand von der Anzeigevorrichtung **12** auf einen Untersuchungsstuhl und betrachtet das natürliche Bild **30**, welches auf der Anzeigevorrichtung **12** präsentiert wird, durch die Optikanordnung **13**. Ein beispielhafter Ablauf der Refraktionsbestimmung wird nachfolgend mit Bezugnahme auf Fig. 11 detaillierter beschrieben.

[0076] Des Weiteren kann optional vorgesehen sein, dass das System **10** Mittel **18** zum Erfassen der Kopfbewegung und/oder Augenbewegung des Probanden aufweist. In der gezeigten Ausführungsform weist das System **10** hierfür eine Kamera **18** auf, welche auf der Anzeigevorrichtung **12** angeordnet ist. Alternativ können beispielsweise Bewegungssensoren verwendet werden. Auch eine elektrookulographische (EOG) Bestimmung der Augenbewegung ist möglich.

[0077] Des Weiteren kann optional vorgesehen sein, dass das System **10** einen exzentrischen Photorefraktor **19** aufweist. Der exzentrische Photorefraktor **19** kann auf der Anzeigevorrichtung **12** angeordnet sein. Vorzugsweise ist eine Kamera **18** vorgesehen, welche zum einen Teil des exzentrischen Photorefraktors **19** ist und ferner als Mittel zum Erfassen der Kopfbewegung und/oder Augenbewegung des Probanden dient. Es kann somit ein Synergieeffekt erzielt werden.

[0078] Fig. 2 eine Ausführungsform eines Verfahrens zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes dargestellt. Das Verfahren ist allgemein mit **100** bezeichnet.

[0079] Das Verfahren **100** weist hierbei die folgenden Schritte auf: In Schritt **110** wird ein System **10** wie beispielhaft vorstehend unter Bezugnahme auf Fig. 1 beschrieben bereitgestellt. In Schritt **120** wird mindestens ein natürliches Bild **30**, welches in einer Speichereinrichtung **11** gespeichert ist, auf einer Anzeigevorrichtung **12** angezeigt. Es ist dabei auch möglich, dass in der Speichereinrichtung ein Bild mit einer Mehrzahl von Bildbereichen gespeichert ist, wobei verschiedene Bildbereiche unterschiedliche Ortsfrequenzen aufweisen und wobei das natürliche Bild eine natürliche Szenerie abbildet und dieses Bild auf der Anzeigevorrichtung **12** angezeigt wird. In Schritt **130** werden verschiedene lichtbrechende Elemente **14**, **15** in einen optischen Pfad zwischen dem Auge **20** des Probanden und der Anzeigevorrichtung **12** mittels einer Optikanordnung **13**

eingestellt, wobei die Optikanordnung **13** in einem vorgegebenen Abstand d von der Anzeigevorrichtung **12** angeordnet ist. Für einen beispielhaften Ablauf der Refraktionsbestimmung wird erneut auf **Fig. 11** verwiesen.

[0080] **Fig. 3** zeigt ein beispielhaftes Szenario zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges **20** eines Probanden **21** anhand einer natürlichen Szenerie **40**.

[0081] **Fig. 4** zeigt ein entsprechendes Verfahren **400** zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges **20** eines Probanden **21** basierend auf der Verwendung einer natürlichen Szenerie **40**, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: In Schritt **410** wird eine Testumgebung, welche die natürliche Szenerie **40** aufweist bereitgestellt, wobei die natürliche Szenerie von einer vorgegebenen Position P aus betrachtet verschiedene Bereiche unterschiedlicher Ortsfrequenzen aufweist. In Schritt **420** wird eine Optikanordnung **13** zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen **14**, **15** in einen optischen Pfad zwischen dem Auge **20** des Probanden und der natürlichen Szenerie bereitgestellt. In Schritt **430** werden verschiedenen lichtbrechenden Elementen **14**, **15** in den optischen Pfad zwischen dem Auge **20** des Probanden und der natürlichen Szenerie mittels der Optikanordnung **13** eingestellt, wobei die Optikanordnung **13** an der vorgegebenen Position P angeordnet ist. Für einen beispielhaften Ablauf der Refraktionsbestimmung wird erneut auf **Fig. 11** verwiesen.

[0082] Die natürliche Szenerie **40** weist, wie auch ein natürliches Bild **30**, Merkmale unterschiedlicher Strukturgröße auf, welche unterschiedlichen Sehwinkeln α_1 , α_2 des Probanden **21** entsprechen. In dem in **Fig. 3** dargestellten Beispiel weist die natürliche Szenerie **40** eine Gruppe von Bäumen unterschiedlicher Größe auf. Beispielsweise entspricht die Höhe h_1 des Baumes **41** aus dem Betrachtungsabstand d_1 betrachtet einem Sehwinkel α_1 . Wenn der Proband den Baum **41** nicht erkennen kann, so ist sein Auge zumindest ohne helfendes lichtbrechendes optisches Element **14**, **15**, nicht in der Lage den Winkel α_1 aufzulösen. Es können testweise verschiedene lichtbrechende Elemente **14**, **15** in den optischen Pfad zwischen dem Auge **20** des Probanden und dem Baum **41** eingebracht werden. So kann einen Refraktionsfehler des Auges des Probanden korrigiert und bestimmt werden, und der Proband ggf. die gewünschte Struktur, hier den baum **41** erkennen. Weitere Details sind unter Bezugnahme auf **Fig. 11** beschrieben.

[0083] Das Vorgehen kann für weitere Strukturen bzw. Elemente der natürlichen Szenerie wiederholt werden. Vorzugsweise werden sukzessive kleinere Strukturen abgefragt. Dadurch erfolgt eine Annäherung an die Auflösungsschwelle des Probanden. Im Fall der Kirche **42** kann der Proband beispielsweise nacheinander gefragt werden, was für eine Art Gebäude abgebildet ist, wie viele Fenster der Turm aufweist bzw. was auf der Spitze des Turmes abgebildet ist. Wenn der Proband beispielsweise den Hahn auf der Kirchturmspitze erkennen kann, entspricht dies mit der Höhe des Hahnes h_2 aus dem Betrachtungsabstand d_2 einem Auflösungsvermögen von mindestens dem Sehwinkel α_2 . Mit anderen Worten kann die Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften nicht nur mit einer Anzeigevorrichtung, auf welcher ein natürliches Bild angezeigt wird, erfolgen, sondern unmittelbar indem eine natürliche Szenerie durch die Optikanordnung betrachtet wird. Die nachfolgenden Ausführungen zu natürlichen Bildern gelten entsprechend.

[0084] **Fig. 5** zeigt ein Beispiel einer konventionellen Sehtesttafel. Als Sehtestzeichen kommen hierbei Zahlen zum Einsatz. Es sind jedoch auch andere Sehtestzeichen, wie sogenannte Landoltringe oder Snellen-Haken üblich. Die Sehtesttafel weist zehn Zeilen L_0 bis L_9 mit Zahlen unterschiedlicher Größen auf. In der Praxis werden immer die kompletten Einzeloptotypen für die Bestimmung der Sehschärfe benutzt. Im vorliegenden Beispiel werden also nacheinander und unabhängig voneinander einzelne Zahlen abgefragt.

[0085] Unabhängig von der Größe werden die Sehtestzeichen schwarz auf weißem Grund dargestellt. Ein entsprechendes schematisches Diagramm des Kontrastes gegenüber der Ortsfrequenz für konventionelle Sehtesttafeln ist in **Fig. 6** dargestellt. Der Kontrast hat gemäß nationalen wie internationalen Normen sehr hoch zu sein, idealerweise nach Michelson gleich 1, und zwar bei allen getesteten Größen der Sehzeichen und somit bei allen verwendeten Ortsfrequenzen. Wie in **Fig. 6** gezeigt ist der Kontrast konstant gegenüber der Ortsfrequenz und unabhängig von der Größe bei allen Sehtestzeichen gleich.

[0086] Bei Verwendung einer Sehtesttafel bzw. Sehprobentafel, wie beispielhaft in **Fig. 5** gezeigt, werden die einzelnen Zeilen benutzt, um Refraktionsfehler des Auges und damit eine beste Brillenstärke zu definieren, welche einen vorhandenen Refraktionsfehler ausgleicht. Insbesondere wird bei Verwendung einer Sehtesttafel die Sehschärfe des Probanden mittels unterschiedlicher lichtbrechender Elemente der Optikanordnung in den einzelnen Reihen getestet und die lichtbrechenden Elemente werden dahingehend verändert, dass es dem Probanden möglich ist, eine möglichst kleine Reihe erkennen zu können. Wird die Sehtesttafel aus **Fig. 5** bei einer Bildgröße von 998 Pixeln Höhe und 2120 Pixeln Breite in einer Entfernung von 1 m auf einem Bildschirm

mit einer Pixelauflösung von 0.0275 Zentimeter pro Pixeln [cm/px] genutzt, ergeben sich die folgenden Sehschärfewerte für die Reihen L1–L9 gemäß Tabelle 1. Neben Angaben über die Pixeldimension ist das benötigte minimale Auflösungsvermögen [logMAR], um ein Detail erkennen zu können, angegeben.

TABELLE 1

Zeile	Pixelhöhe der Zeichen	Minimal benötigtes Auflösungsvermögen [Sehschärfe]	Minimal benötigte Sehschärfe [logMAR]
L1	137	0.04	1.41
L2	102	0.05	1.29
L3	86	0.06	1.21
L4	70	0.08	1.12
L5	60	0.09	1.05
L6	52	0.10	0.99
L7	48	0.11	0.96
L8	43	0.12	0.91
L9	33	0.16	0.80

[0087] Im Gegensatz zu einer konventionellen Sehtesttafel zeigt **Fig. 7** ein Beispiel für ein natürliches Bild **30**. Im vorliegenden Beispiel entspricht das natürliche Bild **30** vorzugsweise einer Fotografie von einer typischen ländlichen Umgebung in der der Proband lebt. Es ist eine Hütte bzw. ein Bootshaus am Rande eines Sees vor dem Hintergrund von Bergen abgebildet.

[0088] Die Kenngrößen von natürlichen Bildern folgen bestimmten Gesetzmäßigkeiten. Die räumlichen Inhalte eines natürlichen Bildes lassen sich beispielsweise durch eine FourierTransformation mathematisch berechnen. Beispielsweise kann hierbei in der Software Matlab der Befehl FFT2 verwendet werden. In Abhängigkeit von der Pixeldichte auf einem Computermonitor und dem Betrachtungsabstand zu dem Monitor wird ermittelt, welche Ortsfrequenzen in einem Bild vorhanden sind.

[0089] **Fig. 8** zeigt ein Ortsfrequenzdiagramm des Beispielbildes aus **Fig. 7**. Auf der horizontalen Achse ist die Ortsfrequenz f in Perioden pro Grad und auf der vertikalen Achse ist die Anzahl der entsprechenden Ortsfrequenzen A angegeben. Die Darstellung in **Fig. 8** entspricht einer Ortsfrequenzanalyse bzw. Fourier-Transformation des Bildes aus **Fig. 7** wenn es in einer Größe von 1920 Pixeln Breite und 1200 Pixeln Höhe in einem Abstand von 1 m bei einer Pixelauflösung von 0.0275 Zentimeter pro Pixel [cm/px] betrachtet wird. **Fig. 6** gibt die Anzahl der unterschiedlichen Ortsfrequenzen für die y -Richtung, also die vertikale Richtung, der Abbildung in **Fig. 5** an. Ein natürliches Bild kann mitunter dadurch gekennzeichnet sein, dass die Anzahl der Ortsfrequenzen bzw. eine Amplitude des Ortsfrequenzdiagramms mit steigender Ortsfrequenz abnimmt. Diese Tendenz ist in **Fig. 8** durch die gestrichelte Linie dargestellt. Insbesondere ist die Amplitude des Ortsfrequenzdiagramms bei einem natürlichen Bild umgekehrt proportional zur Ortsfrequenz (siehe auch Tolhurst et al. „Amplitude spectra of natural images“, Ophthal. Physiol. Opt., Vol. 12, 1992 sowie Field et al. „Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells“, Vol. 4, No. 12, Journal of the Optical Society of America, 1987).

[0090] Bei der Verwendung einer konventionellen Sehtesttafel, wie in **Fig. 5**, werden die einzelnen Zeilen mit einzelnen Sehtestzeichen zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften bzw. der Brillenstärke benutzt. Demgegenüber können bei Verwendung eines natürlichen Bildes, wie in **Fig. 7**, verschiedene Bildbereiche bzw. verschiedene Bildinhalte verwendet werden. Durch eine Ortsfrequenzanalyse kann vorzugsweise auf den Bildinhalt geschlossen werden. Aus der Ortsfrequenz von Merkmalen bzw. Bildinhalten in dem natürlichen Bild kann eine Transformation auf die Sehschärfe erfolgen.

[0091] Für eine bessere Darstellung zeigt **Fig. 9** nochmals das Beispielbild **30** aus **Fig. 7** mit Kennzeichnung von Bereichen unterschiedlicher Ortsfrequenzen. Dabei sind unterschiedliche Details des Bildes durch Positionen im Bild P1 bis P7 definiert. Dabei sind auch die entsprechenden Pixeldimensionen durch ihre Pixelanzahl für die unterschiedlichen beispielhaft ausgewählten Details angegeben. Bei den ausgewählten Details

kann es sich um sogenannte Regions of interest (ROIs) handeln, welche zur Befragung des Probanden bei der habituellen Refraktionsbestimmung verwendet werden.

[0092] Die nachfolgende beispielhafte Tabelle gibt an wie hoch bei einer Bildgröße von 1920 Pixeln Breite und 1200 Pixeln Höhe für eine Entfernung von einem Meter und eine Pixelauflösung der Anzeigevorrichtung **12** von 0.0275 Zentimeter pro Pixel [cm/px] die Sehschärfe des Auges sein muss, um die Details erkennen zu können.

TABELLE 2

Position	Pixelanzahl	Minimal benötigtes Auflösungsvermögen [Sehschärfe]	Minimal benötigte Sehschärfe [logMAR]
P1	314	0.0158	1.8
P2	150	0.315	1.5
P3	66	0.08	1.10
P4	34	0.16	0.80
P5	22	0.25	0.6
P6	18	0.3	0.5
P7	7	0.8	0.1

[0093] Fig. 10 zeigt ein schematisches Diagramm des Kontrastes K gegenüber der Ortsfrequenz f für ein Bild gemäß der vorliegenden Offenbarung. Im Gegensatz zu einer konventionellen Sehtesttafel, welche einen konstanten Kontrast gegenüber der Ortsfrequenz aufweist, wird in der vorliegenden Offenbarung insbesondere die Verwendung von Bildern zur Refraktionsbestimmung vorgeschlagen, bei welchen der Kontrast mit zunehmender Ortsfrequenz abnimmt. Zur Bestimmung des Kontrasts kann der Grauwert eines Pixels mit dem Grauwert seines Nachbarpixels verglichen werden. Insbesondere kann der Kontrast umgekehrt proportional zur Ortsfrequenz sein.

[0094] Mit anderen Worten liegt eine weitere Gesetzmäßigkeit für die vorgeschlagenen natürlichen Bilder in der Abnahme des Kontrasts mit zunehmender Ortsfrequenz. Bei der Auswertung von unterschiedlichen natürlichen Bildern konnten beispielsweise Tollhurst et al. (Tollhurst, D. J., Tadmor, Y., & Chao, T. (1992). Amplitude spectra of natural images. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 12(2), 229–232.) zeigen, dass die Steigung der Abnahme mit zunehmender Ortsfrequenz im Mittel -1.2 beträgt. Dieser Zusammenhang wird auch von Burton et. al. (Burton et. al., „Color and spatial structure in natural scenes“, *Applied Optics*, Vol. 26, No. 1, 1987) beschrieben.

[0095] Fig. 11 zeigt eine beispielhafte Ausführungsform eines Verfahrens zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges **20** eines Probanden. Die Refraktionsbestimmung kann unter Verwendung des natürlichen Bildes aus Fig. 7 bzw. Fig. 9, bzw. in einem Szenario mit einer natürlichen Szenerie wie in Fig. 3, wie folgt durchgeführt werden:

In Schritt **210** kann zunächst eine erforderliche Sphäre des Probanden bestimmt werden. Der Proband trägt keine eigene Korrektur und betrachtet das auf der Anzeigevorrichtung **12** dargestellte natürliche Bild **30** durch die Optik **13**, hier durch einen Phoropter. Beispielsweise soll der Proband zunächst Detail gemäß Position 1 (Haus) erkennen. Kann er dieses nicht, wird zuerst ein Plusglas (nach Stufungstabelle) vorgehalten und gefragt, ob es schlechter wird. Wenn nein, kann weiter mit Pluslinsen korrigiert werden, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt wird. Wenn ja, kann mit Minusgläsern weiter korrigiert werden. Nachfolgenden können nun Gläser nach Stufungstabelle verwendet und immer kleiner Details aus dem Bild verwendet. Wenn der Kunde beispielsweise Position 7 (Türbeschlag) im Bild erkennen kann ist das gewünschte bzw. beste sphärische Glas gefunden.

[0096] Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Stufungstabelle für sphärische Gläser. Die Stufungstabelle gibt eine Abstufung der vorzuhaltenden bzw. vorzuschaltenden Gläser bei der Bestimmung sphärischer Korrekturen in Abhängigkeit vom Visus an.

TABELLE 3

Visus	Glasabstufung in Dioptrien (dpt)
unter 0,05	2 dpt
0,05 bis 0,2	1 dpt
0,2 bis 0,5	0,5 dpt
über 0,5	0,25 dpt

[0097] In Schritt **220** kann eine Bestimmung einer astigmatischen Korrektur erfolgen. Nach dem das beste sphärische Glas gefunden wurde, erfolgt die Prüfung auf Astigmatismus. Der Proband kann beispielsweise gebeten werden Position 5 zu betrachten. Dann wird ein Kreuzzylinder (Abstufung nach Stufungstabelle) eingebracht und gefragt ob es besser oder schlechter wird. Es kann also erneut eine Vorhaltebefragung durchgeführt werden. Je nach Antwort wird ein Astigmatismus bestimmt und eine entsprechende Korrektur eingebracht (ja) oder nicht (nein). Es kann eine weitere Vorhaltebefragung erfolgen, bis es keine Verbesserung bzw. eine Verschlechterung mit der Vorhaltebefragung gibt. Dabei ist darauf zu achten, dass der sphärische Fehler nachgezogen wird (nach Stufungstabelle).

[0098] In Schritt **230** kann eine Bestimmung einer Achslage der astigmatischen Korrektur erfolgen. Hierbei kann mittels Wendebefragung die genaue Achslage des korrigierenden Zylinderglases gefunden werden. Der Probanden wird dabei beispielsweise gebeten auf Position 3 (Pflanze) zu sehen. Die Wendebefragung kann so lange durchgeführt werden, bis der Kunde keinen Unterschied zwischen den beiden Achslagen bei der Wendebefragung sieht.

[0099] In Schritt **240** kann ein monokularer sphärischer Feinabgleich erfolgen, insbesondere nach Durchführung der Schritte **210** bis **230**. Hierfür kann der Proband gebeten werden, Position 6 zu betrachten. Es können Plusgläser oder Minusgläser vorgehalten werden, bis der höchste Visus, also die größte Sehschärfe, mit maximalem Plus erreicht wird.

[0100] In Schritt **250** kann eine Refraktionsbestimmung des zweiten Auges analog zu den vorstehend beschriebenen Schritten **210** bis **240** erfolgen.

[0101] In Schritt **260** kann ein binokularer sphärischer Feinabgleich erfolgen. Hierfür kann Schritt **240** unter binokularen Bedingungen durchgeführt werden. Dazu kann der Kunde zum Beispiel die Wolken am Himmel betrachten.

[0102] Optional kann eine Bestimmung von Messwerten aus einer Mess- und Korrekturmethode nach Haase mit bisher bekannten Tests im Anschluss an die Ermittlung von Refraktionsfehlern niedriger Ordnung, wie Sphäre, Astigmatismus und Zylinder, umgesetzt werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 6325513 [0005]
- DE 4091126 C2 [0006]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Bex. et al. „Spatial frequency, phase, and the contrast of natural images“, Journal of the Optical Society of America, Vol. 19, No. 6, 2002 [0029]
- Tolhurst et al. „Amplitude spectra of natural images“, Ophthal. Physiol. Opt., Vol. 12, 1992 [0089]
- Field et al. „Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells“, Vol. 4, No. 12, Journal of the Optical Society of America, 1987 [0089]
- Tolhurst, D. J., Tadmor, Y., & Chao, T. (1992). Amplitude spectra of natural images. Ophthalmic and Physiological Optics, 12(2), 229–232 [0094]
- Burton et. al., „Color and spatial structure in natural scenes“, Applied Optics, Vol. 26, No. 1, 1987 [0094]

Patentansprüche

1. System (10) zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges (20) eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes (30), wobei das System Folgendes aufweist:
 - eine Speichereinrichtung (11), in welcher mindestens ein natürliches Bild (30) gespeichert ist;
 - eine Anzeigevorrichtung (12) zum Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes (30) aus der Speichereinrichtung (11); und
 - eine Optikanordnung (13) zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen (14, 15) in einen optischen Pfad zwischen dem Auge (20) des Probanden und der Anzeigevorrichtung (12), wobei die Optikanordnung (13) in einem vorgegebenen Abstand (d) von der Anzeigevorrichtung (12) angeordnet ist.
2. System nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das natürliche Bild einen ortsfrequenzabhängigen Kontrast (K) aufweist, wobei der Kontrast mit zunehmender Ortsfrequenz (f) abnimmt.
3. System nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kontrast (K) umgekehrt proportional zur Ortsfrequenz (f) ist.
4. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kontrast (K) des natürlichen Bildes für höhere Ortsfrequenzen angehoben wird, insbesondere auf ein Kontrastniveau einer durch das natürliche Bild abgebildeten natürlichen Szenerie.
5. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das natürliche Bild (30) mindestens zwei Bereiche mit unterschiedlichen Ortsfrequenzen (f) aufweist.
6. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das natürliche Bild (30) eine Verteilung von Ortsfrequenzen (f) aufweist, welche eine Mehrzahl, vorzugsweise alle, zur Bestimmung von subjektiven Refraktionseigenschaften des Auges (20) des Probanden erforderlichen Ortsfrequenzen in einem einzigen Bild umfassen.
7. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das natürliche Bild (30) Strukturen mit unterschiedlichen Ortsfrequenzen (f) zeigt, wobei die Ortsfrequenzverteilung, bei Betrachtung aus dem vorgegebenen Abstand (d), mindestens eine Ortsfrequenz kleiner oder gleich 0,3 und mindestens eine Ortsfrequenz größer oder gleich 60 Perioden pro Grad aufweist, vorzugsweise mindestens eine Ortsfrequenz kleiner oder gleich 0,01 und mindestens eine Ortsfrequenz größer oder gleich 80 Perioden pro Grad aufweist.
8. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Auswahleinrichtung zum Auswählen des natürlichen Bildes (30) gemäß Präferenzen des Probanden.
9. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das natürliche Bild (30) mindestens eine Verfremdung aufweist.
10. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens ein Sehzeichen zumindest teilweise in das natürliche Bild (30) integriert ist.
11. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzeigevorrichtung (12) eine gekrümmte Anzeigefläche aufweist.
12. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Mittel (18) zum Erfassen der Kopfbewegung und/oder Augenbewegung des Probanden.
13. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das natürliche Bild (30) ein Video ist.
14. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System (10) ferner einen exzentrischen Photorefraktor (19) aufweist.
15. System (10) zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges (20) eines Probanden basierend auf der Verwendung eines Bildes (30), wobei das System Folgendes aufweist:

- eine Speichereinrichtung (11), in welcher mindestens ein Bild (30) mit einer Mehrzahl von Bildbereichen gespeichert ist, wobei verschiedene Bildbereiche unterschiedliche Ortsfrequenzen aufweisen und wobei verschiedene Bildbereiche einen ortsfrequenzabhängigen Kontrast aufweisen, welcher mit zunehmender Ortsfrequenz abnimmt;
- eine Anzeigevorrichtung (12) zum Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes (30) aus der Speichereinrichtung (11);
- eine Optikanordnung (13) zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen (14, 15) in einen optischen Pfad zwischen dem Auge (20) des Probanden und der Anzeigevorrichtung (12), wobei die Optikanordnung (13) in einem vorgegebenen Abstand (d) von der Anzeigevorrichtung (12) angeordnet ist.

16. Verwendung eines natürlichen Bildes (30) zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges (20) eines Probanden mit einer Mehrzahl von Bildbereichen, wobei verschiedene Bildbereiche unterschiedliche Ortsfrequenzen aufweisen und wobei das natürliche Bild eine natürliche Szenerie abbildet.

17. Verfahren (100) zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges (20) eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes (30), wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines Systems (10) zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges (20) eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes (30), wobei das System Folgendes aufweist:
 - eine Speichereinrichtung (11), in welcher mindestens ein natürliches Bild (30) gespeichert ist;
 - eine Anzeigevorrichtung (12) zum Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes (30) aus der Speichereinrichtung (11);
 - eine Optikanordnung (13) zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen (14, 15) in einen optischen Pfad zwischen dem Auge (20) des Probanden und der Anzeigevorrichtung (12);
 - Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes (30), welches in einer Speichereinrichtung (11) gespeichert ist, auf der Anzeigevorrichtung (12); und
 - Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen (14, 15) in den optischen Pfad zwischen dem Auge (20) des Probanden und der Anzeigevorrichtung (12) mittels der Optikanordnung (13), wobei die Optikanordnung (13) in einem vorgegebenen Abstand (d) von der Anzeigevorrichtung (12) angeordnet ist.

18. Verfahren (100) zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges (20) eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes (30), wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines Systems (10) zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges (20) eines Probanden basierend auf der Verwendung eines natürlichen Bildes (30), wobei das System Folgendes aufweist:
 - eine Speichereinrichtung (11), in welcher mindestens ein Bild (30) mit einer Mehrzahl von Bildbereichen gespeichert ist, wobei verschiedene Bildbereiche unterschiedliche Ortsfrequenzen aufweisen und wobei das natürliche Bild eine natürliche Szenerie abbildet;
 - eine Anzeigevorrichtung (12) zum Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes (30) aus der Speichereinrichtung (11);
 - eine Optikanordnung (13) zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen (14, 15) in einen optischen Pfad zwischen dem Auge (20) des Probanden und der Anzeigevorrichtung (12);
 - Anzeigen des mindestens einen natürlichen Bildes (30), welches in einer Speichereinrichtung (11) gespeichert ist, auf der Anzeigevorrichtung (12); und
 - Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen (14, 15) in den optischen Pfad zwischen dem Auge (20) des Probanden und der Anzeigevorrichtung (12) mittels der Optikanordnung (13), wobei die Optikanordnung (13) in einem vorgegebenen Abstand (d) von der Anzeigevorrichtung (12) angeordnet ist.

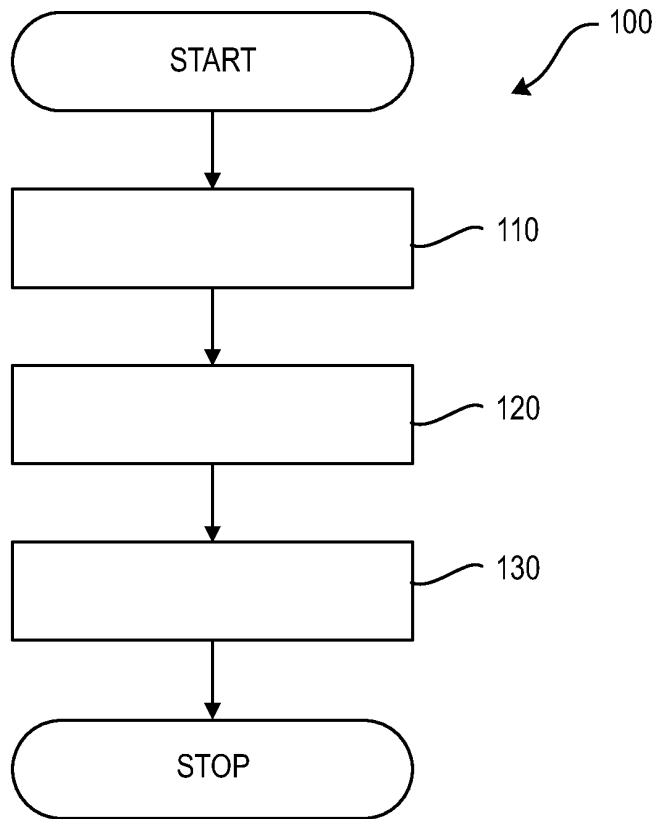
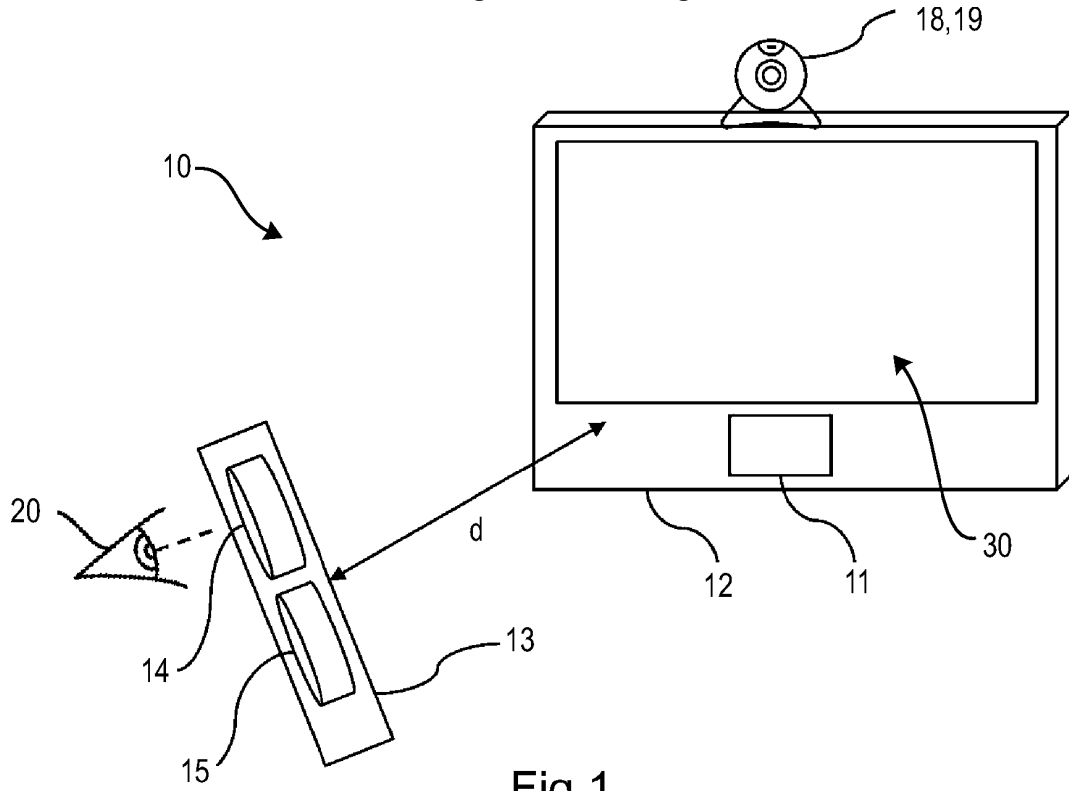
19. Verfahren (400) zur Bestimmung der subjektiven Refraktionseigenschaften eines Auges (20) eines Probanden (21) basierend auf der Verwendung einer natürlichen Szenerie (40), wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- Bereitstellen einer Testumgebung, welche eine natürliche Szenerie (40) aufweist, wobei die natürliche Szenerie von einer vorgegebenen Position (P) aus betrachtet verschiedene Bereiche unterschiedlicher Ortsfrequenzen aufweist;
- Bereitstellen einer Optikanordnung (13) zum Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen (14, 15) in einen optischen Pfad zwischen dem Auge (20) des Probanden und der natürlichen Szenerie; und

– Einstellen von verschiedenen lichtbrechenden Elementen (**14, 15**) in den optischen Pfad zwischen dem Auge (**20**) des Probanden und der natürlichen Szenerie mittels der Optikanordnung (**13**), wobei die Optikanordnung (**13**) an der vorgegebenen Position (P) angeordnet ist.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



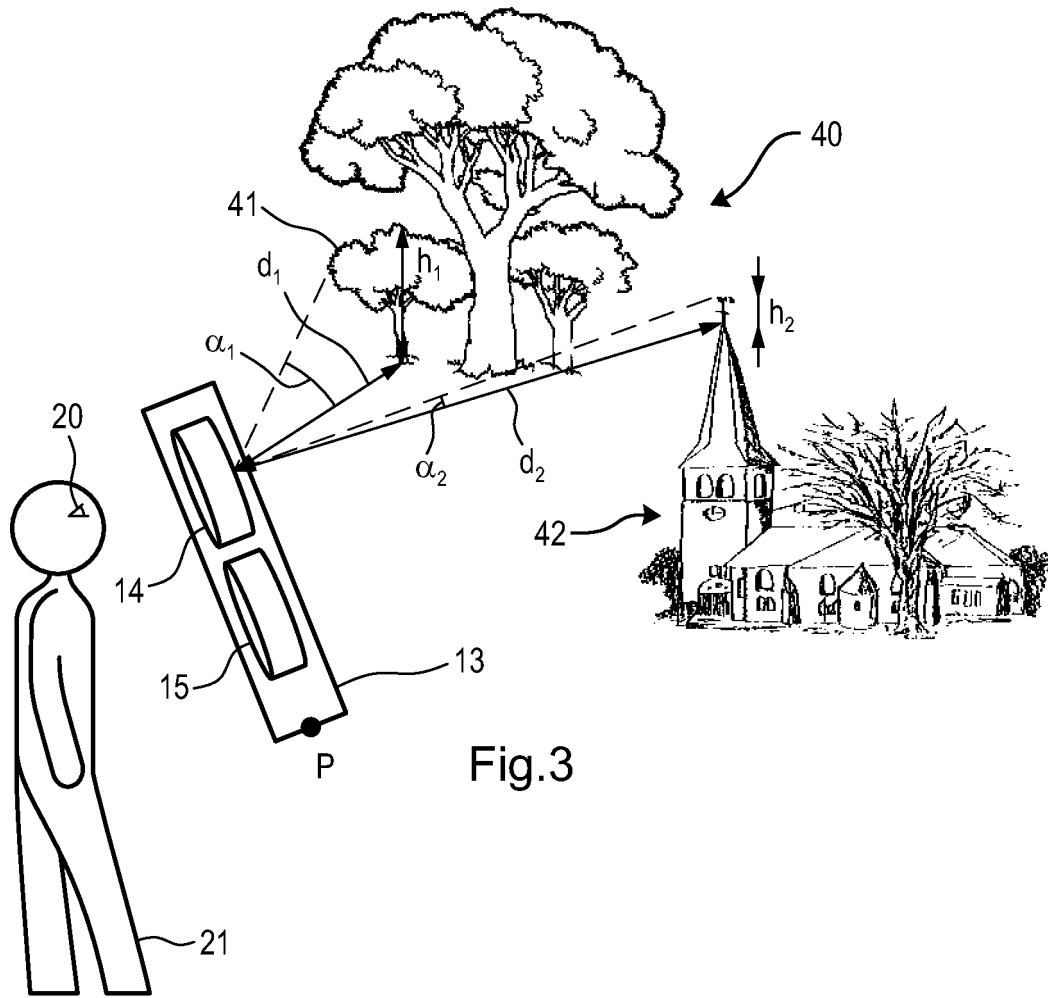


Fig.3

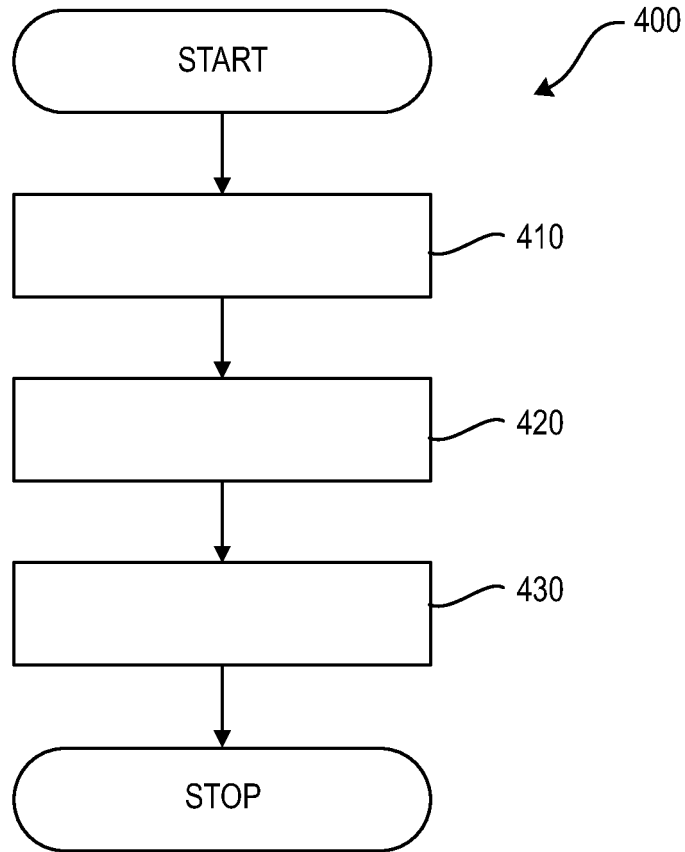


Fig.4

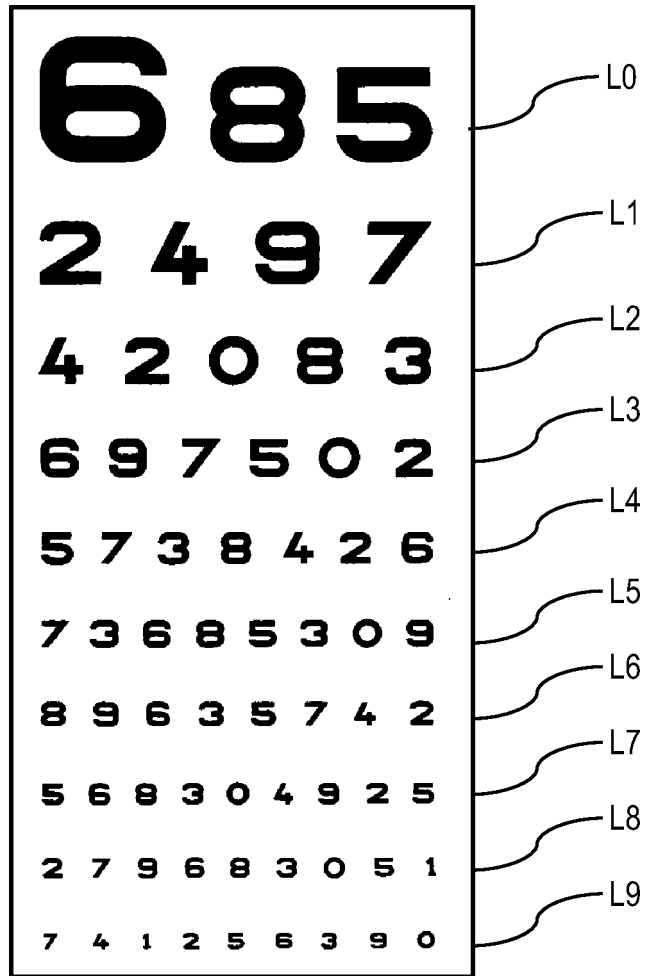


Fig.5

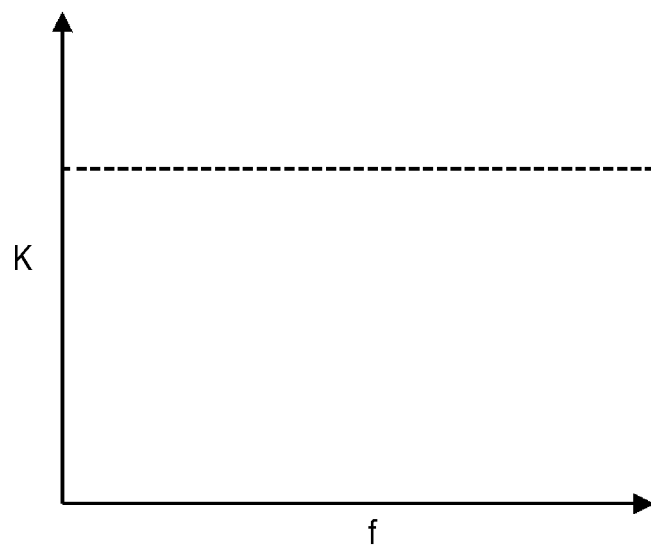


Fig.6



Fig.7

30

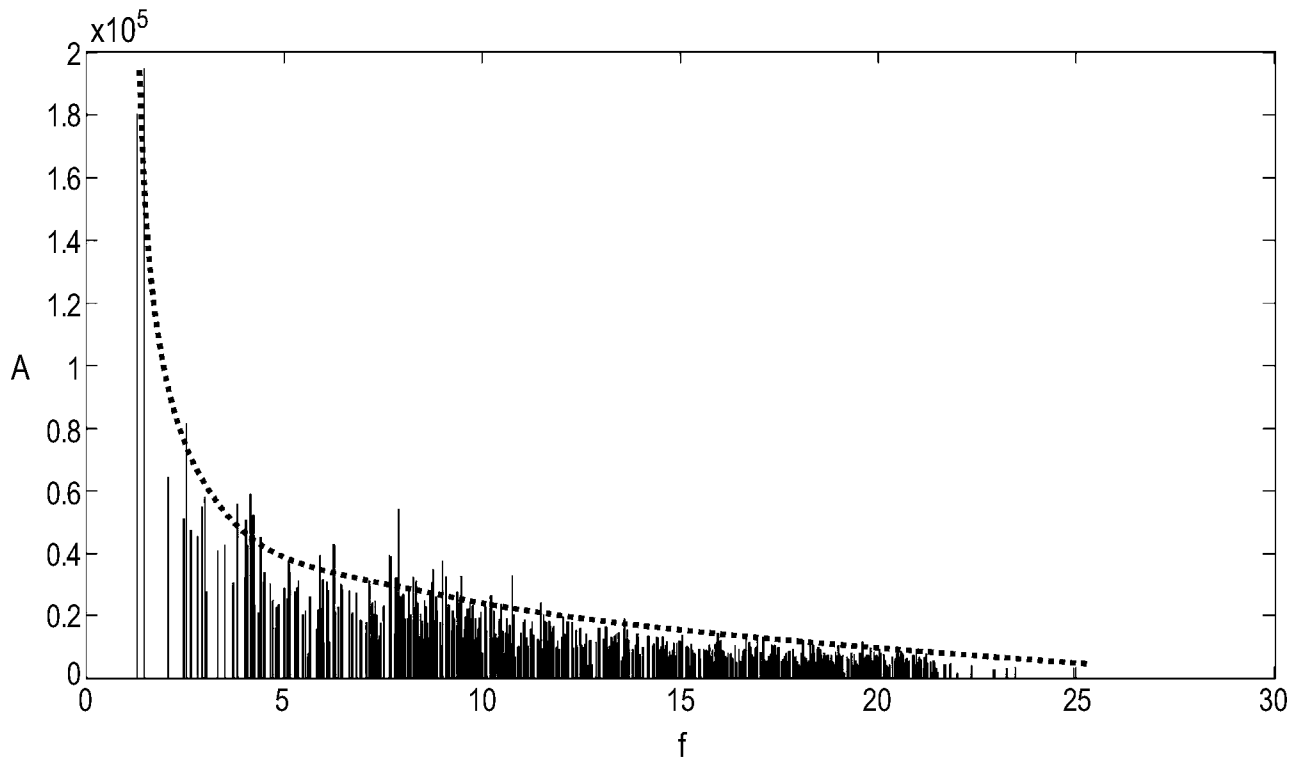


Fig.8

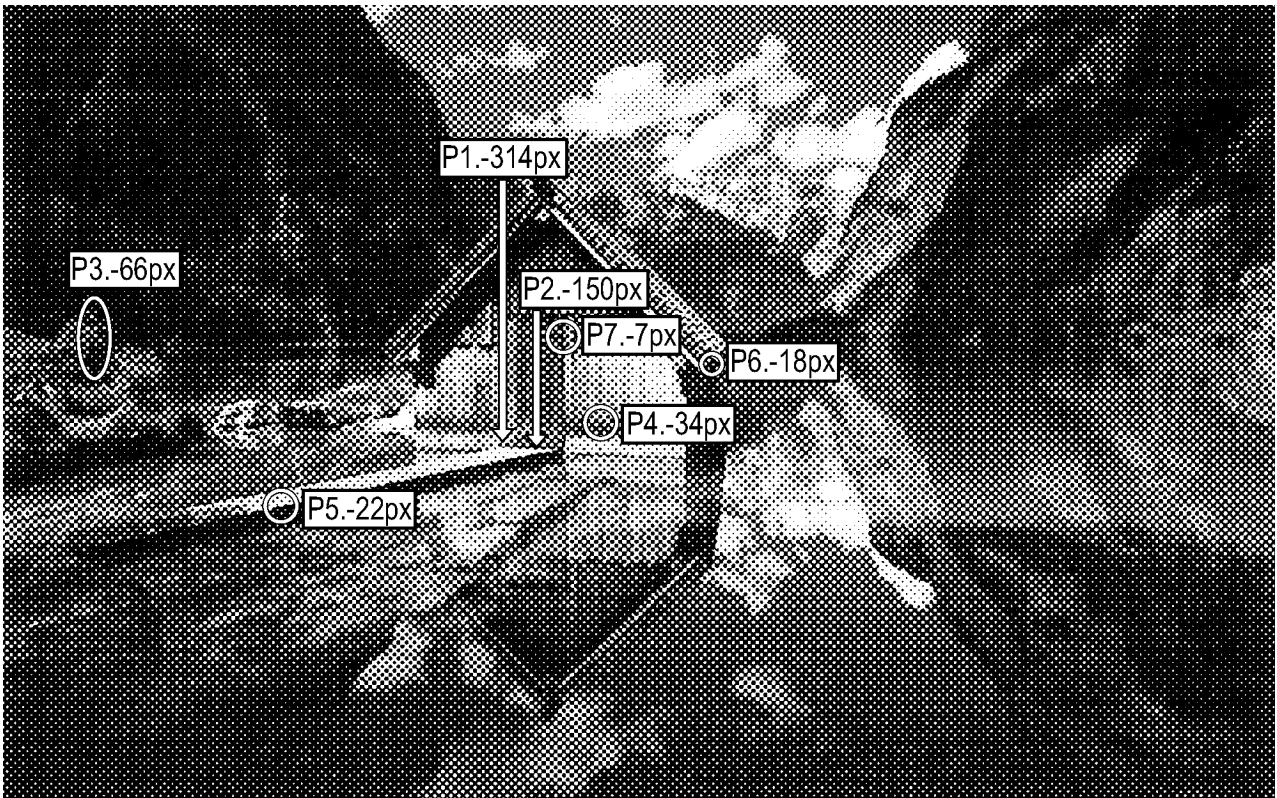


Fig.9

30

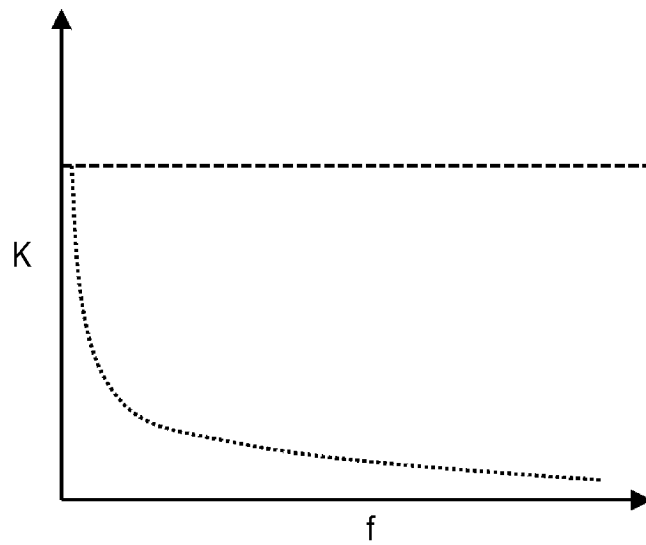


Fig.10

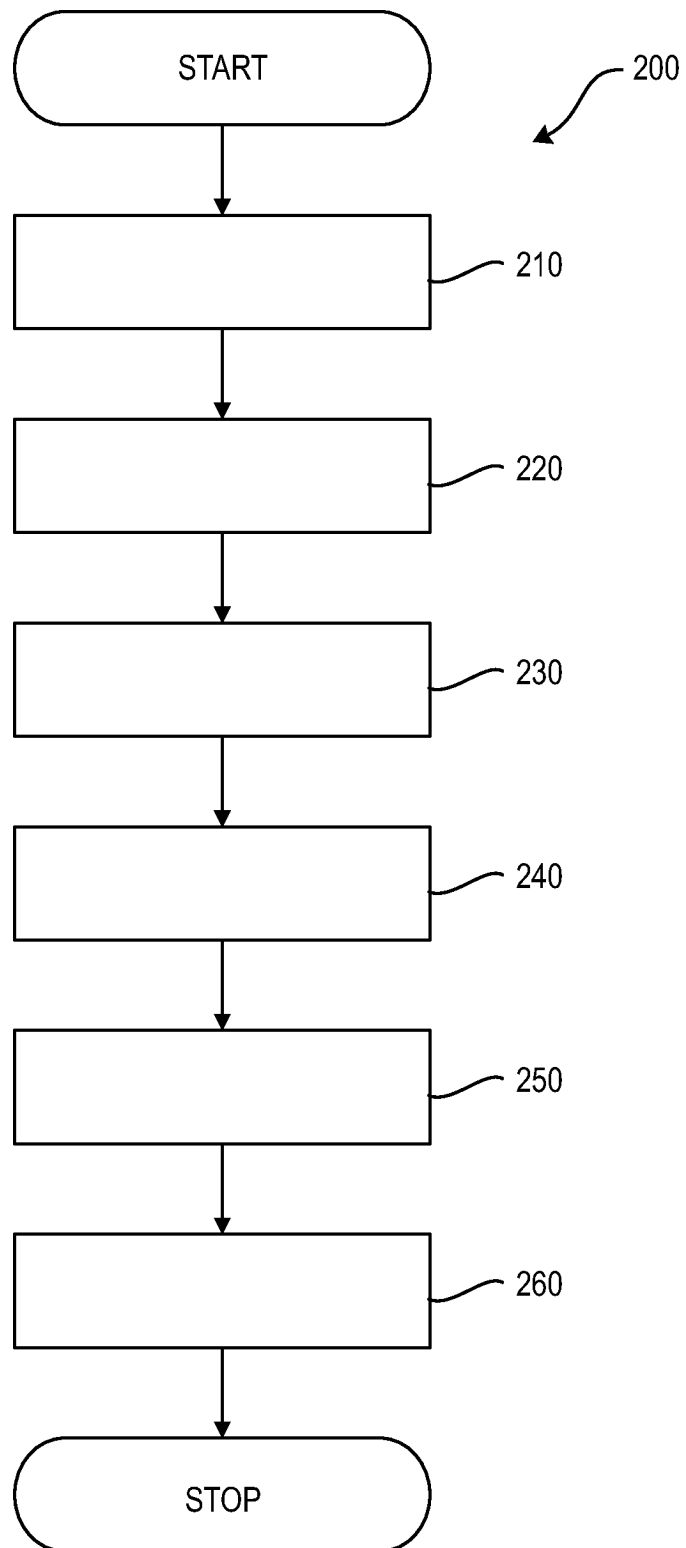


Fig.11