



(10) **DE 10 2018 129 600 A1** 2020.05.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 129 600.2**  
(22) Anmeldetag: **23.11.2018**  
(43) Offenlegungstag: **28.05.2020**

(51) Int Cl.: **G06T 15/08 (2011.01)**  
**G06T 15/04 (2011.01)**  
**G06T 19/20 (2011.01)**  
**G09F 19/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Fielmann Ventures GmbH, 22083 Hamburg, DE**

(72) Erfinder:  
**Rützel, Thomas, 22455 Hamburg, DE; Schwinger,  
Tobias, 22605 Hamburg, DE**

(74) Vertreter:  
**Seemann & Partner Patentanwälte mbB, 20095  
Hamburg, DE**

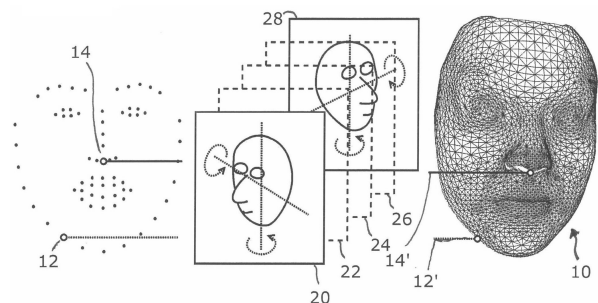
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zur virtuellen Anprobe einer Brille**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren (30) und ein System zur virtuellen Anprobe einer Brille am Kopf eines Menschen.

Dabei werden zweidimensionale Bilder des Kopfes aus verschiedenen Perspektiven mit einer Aufnahmevorrichtung erstellt, Kennpunkte (12, 14) des Kopfes in den zweidimensionalen Bildern detektiert, approximierte dreidimensionale Koordinaten (12', 14') der Kennpunkte (12, 14) mittels Projektion der Kennpunkte (12, 14) auf ein dreidimensionales Modell (10) des Kopfes ermittelt, Position und Orientierung des Kopfes in Bezug auf die Aufnahmevorrichtung in den zweidimensionalen Bildern anhand eines Vergleichs der approximierten dreidimensionalen Koordinaten (12', 14') wenigstens eines Teils der detektierten Kennpunkte (12, 14) mit dreidimensionalen Koordinaten (12', 14') korrespondierender Kennpunkte eines bekannten dreidimensionalen Ausgangsmodells (10) eines Kopfes ermittelt und eine oder mehrere Darstellungen des Kopfes mit der Brille erzeugt und angezeigt. Es erfolgt eine Optimierung der Positionierung in Bezug auf die approximierten dreidimensionalen Koordinaten (12', 14') der Kennpunkte (12, 14), bei der die einzelnen Kennpunkte (12, 14) mit individuellen Gewichtungen einfließen, die von der Genauigkeit und/oder Stabilität der Projektion der Kennpunkte (12, 14) aus den zweidimensionalen Bildern auf das dreidimensionale Modell (10) des Kopfes abhängen.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zur virtuellen Anprobe einer Brille am Kopf eines Menschen.

**[0002]** Das technische Gebiet der vorliegenden Erfindung ist die virtuelle Anprobe von Brillen oder Brillenfassungen am Kopf eines Kunden, wobei eine Vielzahl von Brillengestellen zur Auswahl gestellt werden soll und dem Kunden möglichst realitätsgetreu dargestellt werden sollen. Entsprechende Verfahren sind bereits bekannt, sind jedoch in ihrer Qualität noch nicht überzeugend.

**[0003]** Bei der virtuellen Anprobe von Brillen oder Brillenfassungen sollte eine korrekte Darstellung aus möglichst vielen Positionen und Winkeln erreicht werden, um dem Kunden eine möglichst umfassende Entscheidungshilfe zu bieten. Grundlage für die Positionierung des virtuellen Modells einer Brille ist ein 3D-Modell des Kopfes des Kunden. Die Positionierung der Brille erfolgt im virtuellen dreidimensionalen Raum. Ein solches 3D-Modell des Kopfes kann entweder direkt unter dreidimensionaler Vermessung des Kopfes des Kunden erstellt werden, oder auf der Basis von Bildmaterial erstellt und an die individuelle Form des jeweiligen Kopfes angepasst werden, wobei zusätzlich die Kameraposition relativ zum Kopf bei der jeweiligen Aufnahme bestimmt werden kann. Das 3D-Modell der Brille lässt sich dann relativ zum 3D-Modell des Kopfes positioniert darstellen.

**[0004]** Eine möglichst akkurate 3D-Rekonstruktion des Kopfmodells ist für eine realistische Darstellung wichtig. Hier hat die direkte 3D-Vermessung des Kopfes des Kunden zwar einen qualitativen Vorteil, bringt allerdings auch einen erheblichen Aufwand mit sich. Im Normalfall wird es nicht möglich sein, ein 3D-Modell des Kopfes des Kunden zu erstellen. Einfacher in der Bedienung und kundenfreundlicher ist es, Fotos oder eine Filmsequenz des Kopfes des Kunden zu erstellen und zu verwenden.

**[0005]** Eine mögliche Art der Darstellung beinhaltet, den ursprünglichen oder leicht bearbeiteten zweidimensionalen Aufnahmen eine Darstellung der Brille zu überlagern. Bei einer solchen automatischen Fotomontage müssen die Kamerainformationen und Tiefeninformationen stimmen, damit die Brille richtig in das jeweilige Foto eingepasst werden kann. Dies bedeutet, dass die genaue Position der Kamera im Verhältnis zum Kopf bekannt sein muss, ebenso wie der Blickwinkel auf den Kopf, beispielsweise frontal, in einer Schrägansicht oder in einer Seitenansicht, damit das Modell der Brille korrekt positioniert werden kann und die entsprechenden Bereiche des Brillengestells ausgeblendet werden, die in einer perspektivischen Darstellung vom Kopf verdeckt würden.

**[0006]** Alternativ kann das 3D-Modell des Kopfes mit der Brille auch direkt dargestellt werden. So können zweidimensionale Wiedergaben des dreidimensionalen Modells des Kopfes mit dem Modell der Brille aus verschiedenen Perspektiven gerendert und dargestellt werden. Allerdings sind bei einer direkten Darstellung die Rekonstruktion und der dabei inhärente verfahrensbedingte Fehler deutlicher sichtbar. Derzeit auf dem Markt verfügbare Lösungen bieten diesbezüglich keine zufriedenstellende Nutzererfahrung.

**[0007]** Ein solches direktes Rendering kann auch dann unternommen werden, wenn lediglich zweidimensionale Aufnahmen des Kopfes vorliegen. Das verwendete dreidimensionale Modell ist dann an die verfügbaren Aufnahmen anzupassen. Dazu kann dasjenige dreidimensionale Kopfmodell verwendet werden, welches bereits bei der Bestimmung der Kameraposition und des Blickwinkels zum Einsatz gekommen war.

**[0008]** Die vorliegende Erfindung befasst sich mit dem Fall, dass zweidimensionale Bilder oder Videosequenzen des Kopfes eines Kunden vorliegen, an die ein dreidimensionales Modell des Kopfes angepasst wird und anhand dessen die Kameraposition und die Blickrichtung bzw. der Blickwinkel bestimmt werden. Bei dem Übergang von den zweidimensionalen Fotos zum dreidimensionalen Modell kommt häufig eine sogenannte „Landmark Detection“ zum Einsatz, also die Detektion von Kennpunkten im Gesicht und am Kopf, die in einer Vielzahl von Köpfen und Perspektiven zuverlässig wiedererkannt werden können und charakteristische Positionen im Gesicht darstellen. Diese Kennpunkte sind in vielen Fällen vorbekannt oder vordefiniert und sollten über das gesamte Gesicht, idealerweise über den gesamten Kopf, verteilt sein, damit ein dreidimensionales Kopfmodell anhand dieser Kennpunkte und ihrer räumlichen Verteilung angepasst werden kann.

**[0009]** Eine Probe für eine erfolgreiche Anpassung des Kopfmodells sowie die korrekte Bestimmung der Kamerapositionen relativ zum Kopf besteht darin, dass Kennpunkte am dreidimensionalen Kopfmodell in von diesem Modell erstellten perspektivischen Ansichten, die der jeweiligen Perspektive der aufgenommenen Bilder entspricht, wieder an der gleichen Position im zweidimensionalen Bild erscheinen wie im ursprünglichen Bild. Umgekehrt kann auch untersucht werden, ob die Kennpunkte bei einer Projektion auf das Kopfmodell in Bezug auf Aufnahmen aus verschiedenen Perspektiven auf den gleichen räumlichen Koordinaten zu liegen kommen.

**[0010]** Technische Herausforderungen liegen darin, dass eine Landmark Detection im Allgemeinen keine wirklich festen Punkte auf dem Gesicht ermittelt, und dass solche Kennpunkte, die an einer Konturlinie des Gesichts definiert sind, bei einer festen Zuord-

nung zu einem höheren Fehler führen. Gerade solche Kontur-Kennpunkte enthalten allerdings wichtige Informationen über die Wölbungen und Seitenpartien des Gesichts. Auch die Projektionen anderer Kennpunkte auf das Gesicht am 3D-Modell, beispielsweise unter Rotation des Modells um Höhen- und Breitenachse, sind nicht räumlich fix.

**[0011]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und ein System zur virtuellen Anprobe einer Brille am Kopf eines Menschen zur Verfügung zu stellen, mit denen mit geringem Aufwand für einen Kunden eine möglichst robuste und realistische Positionierung und Darstellung ermöglicht wird.

**[0012]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur virtuellen Anprobe einer Brille am Kopf eines Menschen mit den folgenden Verfahrensschritten:

- a) Erstellen einer Mehrzahl von zweidimensionalen Bildern des Kopfes aus verschiedenen Perspektiven mit einer Aufnahmevorrichtung,
- b) Detektieren von Kennpunkten des Kopfes in der Mehrzahl der zweidimensionalen Bilder,
- c) Ermitteln von approximierten dreidimensionalen Koordinaten der Kennpunkte mittels Projektion der Kennpunkte auf ein dreidimensionales Modell des Kopfes,
- d) Ermitteln einer Position und Orientierung des aufgenommenen Kopfes in Bezug auf die Aufnahmevorrichtung in der Mehrzahl der zweidimensionalen Bilder anhand eines Vergleichs der approximierten dreidimensionalen Koordinaten wenigstens eines Teils der detektierten Kennpunkte mit dreidimensionalen Koordinaten korrespondierender Kennpunkte eines bekannten dreidimensionalen Ausgangsmodells eines Kopfes, wobei die Position und Orientierung iterativ optimiert wird,
- e) Erzeugen und Anzeigen einer oder mehrerer Darstellungen des Kopfes mit der Brille, insbesondere aus verschiedenen Perspektiven,

wobei beim Ermitteln einer Position und Orientierung des aufgenommenen Kopfes in Bezug auf die Aufnahmevorrichtung eine Optimierung der Positionierung in Bezug auf die approximierten dreidimensionalen Koordinaten der Kennpunkte erfolgt, bei der die einzelnen Kennpunkte mit individuellen Gewichtungen einfließen, die von der Genauigkeit und/oder Stabilität der Projektion der Kennpunkte aus den zweidimensionalen Bildern auf das dreidimensionale Modell des Kopfes, insbesondere unter verschiedenen Blickwinkeln, abhängen.

**[0013]** Im Rahmen der Erfindung sind Merkmale, die mit „insbesondere“ oder „vorzugsweise“ gekennzeichnet sind, als fakultative, also nicht zwingende, Merkmale zu verstehen.

**[0014]** Das Verfahren beinhaltet eine Landmark- bzw. Kennpunkt-basierte Schnittstelle zwischen zweidimensionalen Aufnahmen (im Folgenden auch „Ausgangsbilder“ genannt) eines realen Kopfes mit unbekanntem Aufnahmeparametern, wie beispielsweise Lichtverhältnissen, Kameraposition und -ausrichtung einschließlich Tiefeninformationen und einem dreidimensionalen Modell eines Kopfes. Hierzu wird üblicherweise eine, vorzugsweise feste, Anzahl von Kennpunkten definiert, die das Gesicht bzw. den Kopf charakterisieren, die möglichst gut auffindbar sind und die in den Aufnahmen des Kopfes gesucht und, wenn möglich, detektiert werden. Die Detektion von Landmarks bzw. Kennpunkten erfolgt mithilfe eines softwarebasierten sogenannten „Landmark Detector“, der beispielsweise mit von Hand annotierten Beispielbildern trainiert worden ist oder für jeden Kennpunkt mit einer Heuristik, einem vorbestimmten oder antrainierten Regelwerk, ausgestattet ist. Anhand der Kennpunkte werden dann die Kamerapositionen, Blickwinkel usw. in den einzelnen Ausgangsbildern und das Kopfmodell, das als für alle Bilder gültig unterstellt wird, anhand der gefundenen Kennpunkte optimiert. Zusätzlich kann eine von Bild zu Bild unterschiedliche Mimik als Modifikation des Kopfmodells angepasst werden.

**[0015]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass nicht jeder Kennpunkt mit der gleichen Genauigkeit am 3D-Kopfmodell reproduzierbar ist. Übliche Verfahren haben aus diesem Grund Probleme, zu einem akzeptablen dreidimensionalen Kopfmodell zu gelangen, weil sie durch schlecht reproduzierbare Kennpunkte in die Irre geführt werden. Dies stört auch bei der Ermittlung der konkreten Kameraposition und des konkreten Blickwinkels in als Ausgangsbilder verwendeten zweidimensionalen Aufnahmen.

**[0016]** Diese Erkenntnis wird umgesetzt in Gewichtungen für die einzelnen Kennpunkte, die berücksichtigen, wie stabil die Reproduktion des jeweiligen Kennpunktes unter anderem unter Rotation des Kopfes oder anderweitiger Perspektivänderung ist. Auf diese Weise wird eine gewichtete Korrespondenz zwischen den zweidimensionalen Kennpunkten und dreidimensionalen Punkten am 3D-Modell des Kopfes hergestellt, die die Rotationswinkel der Kamera relativ zum Kopf mit einbezieht. Die Auswahl korrespondierender Punkte in einem variablen dreidimensionalen Modell des Kopfes, wie beispielsweise einem verformbaren polygonalen Gitternetz, erlaubt es, die Distanz zwischen den zweidimensionalen Projektionen und den identifizierten Kennpunkten über eine nichtlineare Optimierung zu minimieren, um diejenigen Deformationen des Kopfmodells zu finden, die den Kunden charakterisieren.

**[0017]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden realitätsnahe Gewichtungen verwendet, die zum

Zwecke der Optimierung des Kopfmodells und der Kameraposition als bekannt vorausgesetzt werden. Die Anpassung des 3D-Modells des Kopfes und der Kamerapositionen für die Ausgangsbilder wird dann durch die stabilsten Kennpunkte maßgeblich vorangetrieben, so dass in kurzer Zeit eine robuste Ermittlung der Kameraposition und eine realitätsgetreue Modellierung des Kopfmodells erreicht wird, welches mit den verwendeten Ausgangsbildern optimal übereinstimmt.

**[0018]** Die Gewichtungen zu den Kennpunkten können im Extremfall Null sein. Ein solcher Wert bedeutet, dass eine Landmark unter einer gegebenen Ansicht des Bildes nicht zu gebrauchen ist und das Ergebnis eher verfälscht als verbessert. In einem anderen Bild, d. h., einer anderen Perspektive, kann der entsprechende Kennpunkt allerdings aussagekräftig sein und eine hohe Gewichtung haben. Die einzelnen Gewichtungen zu den einzelnen Kennpunkten sind daher in einer Ausführungsform abhängig von der Perspektive bzw. Blickrichtung. Wenn zum Beispiel Profilaufnahmen von beiden Seiten betrachtet werden, sind die Kennpunkte der Konturen nur von jeweils einer Seite zu sehen. Nur in Perspektiven von dieser Seite erhalten Sie eine Gewichtung, die größer ist als Null.

**[0019]** In einer Ausführungsform des Verfahrens wird, ausgehend von einem generischen dreidimensionalen Modell des Kopfes, das Modell des Kopfes in einer, insbesondere iterativen, Optimierung an eine Mehrzahl der aufgenommenen zweidimensionalen Bilder angepasst, wobei insbesondere die Anpassung zusammen mit Verfahrensschritt d) ausgeführt wird. Für jedes Bild werden diejenigen Kennpunkte verwendet, die unter der im Bild vorhandenen Perspektive auch sichtbar sind. Insofern können, abhängig von der jeweiligen Kameraposition, die zu verwendeten Daten dynamisch gewählt und verwendet werden. Die Optimierung ist in einer Ausführungsform eine nichtlineare iterative Optimierung.

**[0020]** In Ausführungsformen erfolgt das Ermitteln der Position und Orientierung und/oder das Anpassen des dreidimensionalen Modells des Kopfes unter Verwendung von Kennpunkten, die in den aufgenommenen zweidimensionalen Bildern des Kopfes detektiert werden, auf das dreidimensionale Modell des Kopfes projiziert und mit einem Ort auf dem dreidimensionalen Modell des Kopfes korreliert werden und von dem korrelierten Ort auf dem dreidimensionalen Modell des Kopfes auf eine angenommene Bildebene rückprojiziert werden, die einer Bildebene eines zugehörigen Ausgangsbildes entspricht.

**[0021]** Diese Anpassung des Kopfmodells sowie Ermittlung der Kameraposition erfolgt vorzugsweise im Rahmen einer iterativen nichtlinearen Optimierung, in welcher eine Projektion der zweidimensionalen

Kennpunkte auf das dreidimensionale Kopfmodell verwendet wird. Hierzu werden zunächst Werte für die Kameraposition und den Projektionswinkel jedes verwendeten Ausgangsbildes als Startwerte unterstellt. Die Kameraposition ist hierfür relativ zum Kopf definiert und impliziert damit auch die Perspektive, aus welcher der Kopf aufgenommen worden ist, also beispielsweise frontal, seitlich oder schräg von links oder rechts, schräg unten oder schräg oben. Ein weiterer Startwert kann die Annahme über die Breite des Kopfes sein, welche als Breite des Kopfes in einem Standard-Kopfmodell verwendet wird. Diese Startwerte werden iterativ verfeinert.

**[0022]** Die Projektion selber verwendet in jeder Iteration die aktuellen Parameter, die das Kopfmodell und die Kamerapositionierung sowie den Projektionswinkel beschreiben, und projiziert den Pixel bzw. das Zentrum des Kennpunktes entlang der Sichtachse des Bildes für den konkreten Pixel, welche durch die Kameraposition und Projektionswinkel bestimmt wird, auf das Kopfmodell. Der Punkt wird bestimmt, an dem diese Projektionslinie das Kopfmodell zum ersten Mal kreuzt.

**[0023]** Besonders stabil ist diese Projektion, wenn die zum Kreuzungspunkt nächstliegenden Gitterknotenpunkte bzw. Vertexe oder Vertices des verformbaren Gitternetzmodells verwendet werden, welche in diesem Fall als „3D-Kennpunkte“ aufgefasst werden können. Diese sind wesentlich stabiler als der Satz an Kennpunkten, der in den zweidimensionalen Ausgangsbildern bestimmt wurde. Dies bedeutet, dass beispielsweise die Nasenspitze die Nasenspitze bleibt, auch unter Verformung und erst recht dann, wenn das Modell rotiert abgebildet wird.

**[0024]** Die Rückprojektion verläuft andersherum. Ein „3D-Kennpunkt“, also ein Punkt auf dem dreidimensionalen Kopfmodell, welcher einem Kennpunkt entspricht, wird zur Kamera hin an seiner angenommenen Position beziehungsweise zur Bildebene entsprechend der aktuellen Werte der entsprechenden Optimierungsparameter für ein konkretes Ausgangsbild projiziert und die 2D-Position des Schnittpunktes mit der Bildebene erfasst. Die Fehlerfunktion der Optimierung beinhaltet einen Term, welcher den Abstand bzw. einen zweidimensionalen Abstandsvektor dieses Punktes zur zuvor erkannten Position des zugehörigen Kennpunktes im zweidimensionalen Ausgangsbild wiedergibt. Dieser Abstandsvektor kann durch die Gewichtung auf Standardabweichungen entlang der Koordinatenachsen, insbesondere uneinheitlich, skaliert werden. (Bitte um Erklärung, was eine solche uneinheitliche Skalierung bedeutet!)

**[0025]** Die Bestimmung der Kamerapositionen für die einzelnen Ausgangsbilder und die Anpassung des Kopfmodells können in einer Ausführungsform des Verfahrens derart voneinander getrennt werden,

dass vor dem Beginn der Optimierung eine erste geschätzte Bestimmung der jeweiligen Kameraposition anhand eines eingeschränkten Satzes von Kennpunkten erfolgt. Dies sind solche Kennpunkte, die in einer großen Anzahl verschiedener Perspektiven gut sind, also hohe Gewichtungen haben. Die anschließende Anpassung des Kopfmodells und Verfeinerung der jeweiligen Kameraposition verwendet dann eine größere Anzahl von Kennpunkten. Die Verfeinerung der Kameraposition kann innerhalb derselben Iteration wie die Anpassung des Kopfmodells erfolgen, oder getrennt davon, beispielsweise abwechselnd. Das Kopfmodell sollte, anders als die für das jeweilige Bild charakteristische Kameraposition, bis auf mögliche Unterschiede in der Mimik global für alle verwendeten Bilder gelten.

**[0026]** In einer Ausführungsform werden Perspektiven oder aufgenommene Bilder ausgewählt, die einen Sweep um die vertikale Achse darstellen, um das Kopfmodell anzupassen und anschließend eine Präsentation aus den ausgewählten Perspektiven und/oder aufgenommenen Bildern zu erstellen.

**[0027]** In einer Ausführungsform wird die Darstellung des Kopfes mit der Brille als Rendering des dreidimensionalen Modells des Kopfes mit dem positionierten dreidimensionalen Modell der Brille erzeugt. Diese Maßnahme ermöglicht es, frei wählbare virtuelle Kamerapositionen auszuwählen und Ansichten aus sehr vielen verschiedenen Blickrichtungen zu erzeugen. Alternativ wird die Darstellung des Kopfes mit der Brille als Überlagerung eines Renderings des dreidimensionalen Modells der Brille über die entsprechende zweidimensionale Aufnahme des Kopfes erzeugt.

**[0028]** In einer Ausführungsform werden oder sind die Mehrzahl von zweidimensionalen Bildern als Frames einer Videosequenz extrahiert, insbesondere eines mit einer tragbaren Aufnahmevorrichtung aufgenommenen Selfie-Videos. In diesem Fall können geeignete Frames ausgewählt werden, die eine Darstellung als virtuellen Flug um den Kopf herum erlauben.

**[0029]** Das Verfahren hängt von der Verwendung geeigneter Gewichtungen ab, welche die Stabilität der Projektion der gefundenen Kennpunkte auf das 3D-Modell des Kopfes enthalten. Solche Gewichtungen existieren nicht von vorneherein, sondern sind zuvor zu ermitteln. In einer Ausführungsform werden zu diesem Zweck die individuellen Gewichtungen vor ihrer Anwendung in einem statistischen Simulationsverfahren bestimmt, in welchem eine Mehrzahl von simulierten Köpfen als 3D-Gitternetzmodelle mit einheitlicher Gitternetzstruktur erzeugt wird, für die simulierten Köpfe statistisch verteilte Abweichungen von einem generischen Kopfmodell erzeugt werden und verschiedene Perspektiven eingestellt werden, von

diesen 3D-Gitternetzmodellen zweidimensionale Bilder aus verschiedenen Perspektiven gerendert werden, Kennpunkte in den gerenderten zweidimensionalen Bildern detektiert und auf das jeweilige 3D-Gitternetzmodell zurückprojiziert werden und ermittelt wird, wie stabil der zurückprojizierte Ort jedes detektierten Kennpunktes unter Wechsel der Perspektive ist, wobei jedem Kennpunkt eine Gewichtung zugewiesen wird, die proportional zu ihrer räumlichen Stabilität gegenüber Perspektivwechseln ist, insbesondere gemessen über eine Vielzahl oder die Gesamtheit der 3D-Gitternetzmodelle der erzeugten verschiedenen Köpfe und Perspektiven.

**[0030]** Dieses statistische Verfahren ermöglicht die Bestimmung der Gewichtungskoeffizienten für die einzelnen Kennpunkte. Dies gilt sowohl für deren Stabilität gegenüber Perspektivwechseln als auch für die Stabilität gegenüber verschiedenen Variationen von Köpfen gegenüber einem Standardkopf. Die Variation beruht auf der Verformung eines verformbaren Gesichtsmodells, bei dem relative Verformungsziele, sogenannte „Morph Targets“ für Geometrie und Farbinformationen gewonnen werden, beispielsweise aus einer „Principal Component Analysis“ anhand von sogenannten „Eigenfaces“ und/oder basierend auf sogenannten 3DMM. Zur Variation wird beispielsweise normalverteilter Pseudozufall verwendet, um aus den Eigenfaces eine Vielfalt von Kopfformen und Gesichtern hervorzubringen. Die konkreten Kopfformen und Gesichter sind Superpositionen der Eigenfaces mit jeweils individuellen sogenannten Morph-Koeffizienten. Zusätzlich kann ein beispielsweise händisch erzeugter Satz an relativen geometrischen Verformungszielen für verschiedene Gesichtsausdrücke verwendet werden, vorzugsweise mit geringerer Gewichtung, wobei die Gesichtsausdrücke bei der Anpassung an zweidimensionale Bilder mit eigenen Morph-Koeffizienten in die Superposition einfließen können. Alternativ kann ein datengestützter Ansatz eingesetzt werden, der auf 3D-Modellen basiert, beispielsweise auf 3D-Scans oder Handarbeit.

**[0031]** In der statistischen Analyse werden Bildmengen synthetisiert, insbesondere innerhalb überlappender Intervalle von Rotationswinkeln um die Höhenachsen und davon abhängigen, lokalen Breitenachsen des Kopfes in Hinblick auf die Kamera. Eine Kennpunkt-Detektion wird auf diese Bilder angewendet und die erkannten Kennpunkte auf das dreidimensionale Modell zurückprojiziert.

**[0032]** In Ausführungsformen wird oder werden als zusätzliche(r) weitere(r) Parameter eine Kameraposition, eine Kameraausrichtung, eine Kopfhaltung, eine Mimik, eine Hautfarbe, eine Hautbeschaffenheit oder Hautreflexivität, eine Helligkeit des einfallenden Lichts und/oder eine Richtung des einfallenden Lichts variiert. Es werden somit neben dem Gesichtsmodell, der Reflexivität der Haut und den Lichtverhält-

nissen auch der Projektionswinkel der Kamera, geringfügige Translationen entlang Höhen- und Breitenachsen sowie geringfügige Rotation um die globale Tiefenachse variiert. Diese Variationen dienen dazu, Unbekannte in der Anwendung, beispielsweise einer mobilen virtuellen Anprobe, statistisch zu simulieren. Hierbei handelt es sich beispielsweise um unterschiedliche Nutzer und Kameras, unbekannte Beleuchtung sowie imperfekte Zentrierung und leichte Schräglage der Kamera. So werden das Modell und die Gewichtungen robust gegen Änderungen gemacht und eine große Zahl von Aufnahmesituationen und Erscheinungsbildern von Kunden abgebildet.

**[0033]** Das Ergebnis dieses Simulationsverfahrens ist ein ausgewählter Sektor bzw. eine Ergebnismenge festgelegter Größen, in der für jeden Kennpunkt entweder feste oder perspektivabhängige Gewichtungen hinterlegt sind. Insbesondere ist die Gewichtung für solche Kombinationen von Kennpunkten und Perspektiven, bei denen der Kennpunkt unter der entsprechenden Perspektive nicht sichtbar ist, auf Null zu setzen.

**[0034]** Das dreidimensionale Modell des Kopfes und die in dem statistischen Simulationsverfahren zuvor verwendeten dreidimensionalen Modelle simulierter Köpfe weisen vorzugsweise jeweils eine Gitternetzstruktur auf, insbesondere die gleiche Gitternetzstruktur. Dies erhöht die Vergleichbarkeit. Eine solche Gitternetzstruktur besteht aus einer fixen Anzahl von Gitterknotenpunkten oder Vertices, welche in einer vorgegebenen Struktur miteinander verbunden sind und bestimmte Merkmale eines Kopfes und eines Gesichts abbilden. Innerhalb der vorgeschriebenen oder vorgegebenen Struktur sind die einzelnen Gitterknotenpunkte verschiebbar, um verschiedene Kopfformen abzubilden.

**[0035]** In Ausführungsformen werden bei der Ermittlung der approximierten dreidimensionalen Koordinaten der Kennpunkte die dreidimensionalen Koordinaten eines jeweils nächsten Knotenpunktes der Gitternetzstruktur verwendet. Insbesondere, wenn in verschiedenen Perspektiven für einen Kennpunkt verschiedene Knotenpunkte der Gitternetzstruktur gefunden werden, wird derjenige Knotenpunkt ausgewählt, welcher den Kennpunkt unter Perspektivwechsel am stabilsten repräsentiert bzw. wird, insbesondere innerhalb jedes der Intervalle, für jeden Kennpunkt ein 3D-Gitternetzknotten des Kopfmodells mit geringster Varianz gefunden.

**[0036]** Die entsprechende Gitternetzstruktur für das Kopfmodell kann bei der Simulation zur Bestimmung der Gewichtungen für die einzelnen Kennpunkte somit so verwendet werden, dass die Position des erkannten Kennpunktes als Position desjenigen Gitterknotenpunktes festgelegt wird, welcher der Projektion des erkannten Kennpunktes auf das 3D-Modell

am nächsten liegt. In der weiteren statistischen Analyse wird untersucht, welcher Gitterknotenpunkt den jeweiligen Kennpunkt am stabilsten repräsentiert. Dazu wird die dreidimensionale Projektion des Kennpunktes auf das Gesicht betrachtet. Für diese Projektion der Kennpunkte auf das Gesicht sind Tiefeninformationen verfügbar, da die Bilder aus 3D-Modellen synthetisiert worden sind. Es kann somit der sogenannte Z-Puffer ausgelesen werden. Ein Raycast wäre eine alternative Implementierung.

**[0037]** In einer Ausführungsform werden bei der Ermittlung der approximierten dreidimensionalen Koordinaten der Kennpunkte solche Kennpunkte ausgeschlossen, deren approximierte Position außerhalb des Modells des Kopfes oder an einer Rückseite des Modells des Kopfes liegen. Auf diese Weise wird bei der Projektion sichergestellt, dass keine falschen Trainingsdaten wiedergegeben werden oder Kennpunkte unter der falschen Annahme einer Frontalansicht extrapoliert werden.

**[0038]** Die eigentliche Gewichtung zu den einzelnen Kennpunkten ist in einer Ausführungsform eine Reziproke der Standardabweichung entlang einer 2D-Koordinatenachse, welche als Fehlermaß für die 3D-Rekonstruktion dient. Diese Reziproken bilden die Gewichte für eine uneinheitliche Skalierung des Abstands der auf das Bild projizierten Punkte in der Fehlerfunktion des Optimierungsprozesses. Ausgeschlossene Zuordnungen erhalten eine Null-Gewichtung. So können beispielsweise solche Werte, deren Abweichung vom Mittelwert größer ist als eine bestimmte Zahl von Standardabweichungen, beispielsweise 1, 2 oder 3 Standardabweichungen, mit Null-Gewichtung ausgeschlossen werden.

**[0039]** Die bei der Optimierung verwendete Fehlerfunktion hat in einer Ausführungsform des Verfahrens als Parameter Morph-Koeffizienten für die Kopfform sowie eine Feinanpassung der Abbildungswinkel der Projektion für alle Bilder gemeinsam, sowie per Bild Morph-Koeffizienten für den Gesichtsausdruck sowie eine Feinanpassung der Translation und Rotation der Kamera.

**[0040]** Diese Daten, nämlich die Kennpunkte und ihre zugehörigen Gewichtungen, werden in eine Applikation zur virtuellen Anprobe eingebettet, welche die eigentliche 3D-Rekonstruktion vornimmt, um beispielsweise aus einer Video-Eingabe automatisch Fotomontage-Darstellung zu erzeugen oder neue Bilder zu rendern.

**[0041]** Eine nicht ausschließliche beispielhafte Ausführungsform des Verfahrens kann so aussehen, dass im Falle eines Videos, in welchem der Kopf eines Kunden aus verschiedenen Perspektiven in einer Sequenz aufgenommen worden ist, die Einzelbilder des Videos mithilfe eines Kennpunkt-Detektors ana-

lysiert werden und eine grobe Kamerabestimmung anhand eines festen Minimalgesetzes am Kennpunkten stattfindet. Die Kamerabestimmung wird dann iterativ, unter Verwendung der winkelabhängigen Daten aus dem oben beschriebenen Simulationsprozess verfeinert. Anhand einer zuvor antrainierten oder vorgegebenen Heuristik werden geeignete Einzelbilder für die Anzeige mit Brille aus verschiedenen Winkeln automatisch ausgewählt. Die Auswahl kann auch per Hand erfolgen. Auf der Basis der ausgewählten Bilder erfolgt eine vollständige 3D-Rekonstruktion, wieder unter Verwendung der winkelabhängigen Daten aus der Simulation. Diese 3D-Rekonstruktion umfasst die Anpassung des Kopfmodells sowie eine abschließende Verfeinerung der Kamerabestimmung als Basis für die Bildsynthese verschiedener Brillen, welche der Benutzer dann virtuell ausprobieren und aus verschiedenen Winkeln betrachten kann.

**[0042]** Bei der Positionierung des Brillenmodells am Modell des Kopfes werden üblicherweise bekannte Strukturen des Gesichts verwendet. Beispielsweise ist in einer Gitternetzstruktur des Kopfmodells der Knotenpunkt der Nase-Stirn-Mündung, der zur Positionierung der Brille verwendet wird, fix und stabil.

**[0043]** Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird auch durch ein System zur virtuellen Anprobe einer Brille am Kopf eines Menschen gelöst, umfassend eine Aufnahmevorrichtung, die ausgebildet und eingerichtet ist, eine Mehrzahl von zweidimensionalen Bildern des Kopfes aus verschiedenen Perspektiven zu erstellen, eine Anzeigevorrichtung zur Anzeige einer oder mehrerer Darstellungen des Kopfes mit der Brille, insbesondere aus verschiedenen Perspektiven, sowie eine Datenverarbeitungsanlage, die ausgebildet und eingerichtet ist, ein zuvor beschriebenes erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen. Dieses System verwirklicht die gleichen Merkmale, Vorteile und Eigenschaften wie das zuvor beschriebene erfindungsgemäße Verfahren.

**[0044]** Weitere Merkmale der Erfindung werden aus der Beschreibung erfindungsgemäßer Ausführungsformen zusammen mit den Ansprüchen und den beigefügten Zeichnungen ersichtlich. Erfindungsgemäße Ausführungsformen können einzelne Merkmale oder eine Kombination mehrerer Merkmale erfüllen.

**[0045]** Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, wobei bezüglich aller im Text nicht näher erläuterten erfindungsgemäßen Einzelheiten ausdrücklich auf die Zeichnungen verwiesen wird. Es zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung der Korrespondenz von Kennpunkten und dreidimensionalen Punkten an einem dreidimensionalen Modell eines Kopfes, sowie

**Fig. 2** ein Ablaufdiagramm für eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0046]** In den Zeichnungen sind jeweils gleiche oder gleichartige Elemente und/oder Teile mit denselben Bezugsziffern versehen, so dass von einer erneuten Vorstellung jeweils abgesehen wird.

**[0047]** **Fig. 1** stellt schematisch die Korrespondenz zwischen einem Set von Kennpunkten und entsprechenden Punkten an einem dreidimensionalen Modell eines Kopfes dar. Auf der linken Seite sind Kennpunkte dargestellt, die ein Gesicht sowie Konturen des Gesichtes bzw. Kopfes darstellen. Ein Kennpunkt an der Kontur im Bereich des Kinnes ist mit dem Bezugszeichen **12** markiert, der Kennpunkt an der Nasenunterseite mit dem Bezugszeichen **14**. Die Kennpunkte in dem vorliegenden Beispiel markieren die Augen, die Nase und den Mund sowie die Konturen des Gesichtes.

**[0048]** Auf der rechten Seite der **Fig. 1** ist ein Modell **10** eines Kopfes mit einer Gitternetzstruktur dargestellt, welches eine perspektivische Ansicht des Gesichtes erlaubt. Die markierten dreidimensionalen Punkte **12'**, **14'** entsprechen den Kennpunkten **12**, **14** auf der linken Seite der **Fig. 1**. Die Gitternetzstruktur ist so definiert, dass in flächigen Bereichen die Abstände zwischen den Knotenpunkten des Gitternetzes vergleichsweise groß sind, während in stark kontrollierten Bereichen wie den Lippen oder der Nase, ebenso den Augen, die Abstände zwischen den Gitternetzpunkten klein sind. Ein solches Gitternetzmodell erlaubt es auf einfache Weise, durch Verschiebung der Gitternetzpunkt des Modells so zu verformen, dass es mit einem realen Kopf übereinstimmt.

**[0049]** In der Mitte der **Fig. 1** ist eine Abfolge von Bildern **20**, **22**, **24**, **26**, **28** einer Kamera gezeigt, in denen ein Schwenk um ein Gesicht herum vollzogen wurde. Der Schwenk erfolgte um zwei Schwenkachsen, die gestrichelt in dem ersten Bild **20** und im letzten Bild **28** dargestellt sind. Wie aus der perspektivischen Darstellung deutlich wird, sind in den verschiedenen Bildern **20**, **22**, **24**, **26**, **28** jeweils verschiedene Exemplare aus dem Set der Kennpunkte **12**, **14** überhaupt sichtbar. Diese Kennpunkte **12**, **14** werden dazu verwendet, das Modell **10** des Kopfes an den Kopf anzupassen, der in den Bildern **20**, **22**, **24**, **26**, **28** dargestellt ist und für jedes der Bilder die entsprechende Kameraposition relativ zum Kopf zu bestimmen.

**[0050]** Diese in **Fig. 1** dargestellte Korrespondenz wird auch bei dem oben beschriebenen vorbereiten-

den statistischen Simulationsverfahren verwendet. Dabei wird für eine Vielzahl von unterschiedlich formatierten Modellen **10** von Köpfen eine Vielzahl von Bildern **20, 22, 24, 26, 28** aus unterschiedlichen Perspektiven gerendert, in diesen Bildern **20, 22, 24, 26, 28** die entsprechenden Kennpunkte, unter anderem die Kennpunkte **12, 14**, gesucht und detektiert und wiederum mit Punkten auf dem Modell **10** bzw. Knotenpunkten auf dem Gitternetz des Modells **10** durch Projektion aus dem zweidimensionalen Bild auf das dreidimensionale Modell **10** identifiziert. Das Verfahren wird unten mit Bezug auf **Fig. 2** näher erläutert.

**[0051]** **Fig. 2** zeigt ein Ablaufdiagramm für eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens **30** zur virtuellen Anprobe einer Brille. Ebenfalls gezeigt in dem Ablaufdiagramm ist der Ablauf des vorbereitenden statistischen Simulationsverfahrens **40**, welches die Gewichtungen für die einzelnen Kennpunkte **12, 14** für das Verfahren **30** bereitstellt. Auf der linken Seite werden außerdem zwei Datenressourcen gezeigt.

**[0052]** Zunächst wird die vorbereitende statistische Simulation **40** erläutert. Da das Simulationsverfahren iterativ erfolgt, sind einige der Verfahrensschritte (Blöcke) mit Pfeilen miteinander verbunden, die andeuten, dass diese Schritte wiederholt werden. Der oberste Block **41** repräsentiert die Auswahl eines Perspektiv- bzw. Winkelintervalls, typischerweise ein Winkelbereich, der für einen Sweep bzw. Kameraschwenk um einen Kopf herum typisch ist. Es können auch kleinere Intervalls gewählt werden, beispielsweise für die rechte Seite, für die linke Seite, für Perspektiven von schräg oben oder von schräg unten, frontale Ansichten etc., in denen erfahrungsgemäß nur eine Untergruppe von zu suchenden Kennpunkte **12, 14** auch sichtbar sein wird.

**[0053]** In Schritt **42** werden Winkel bzw. Perspektiven innerhalb des Winkelintervalls iteriert und in Schritt **43** für jeden Winkel bzw. jede Perspektive innerhalb dieser Iteration bzw. für jeden Kopf zusätzliche Parameter gewählt. Solche zusätzlichen Parameter betreffen beispielsweise das Gesichtsmodell oder Kopfmodell, einschließlich seiner Mimik, die Reflexivität der Haut, der Projektionswinkel der Kamera, die Lichteinfallrichtung, geringfügige Translationen entlang der Bildachsen und eine leichte Rotation um die globale Tiefenachse. Auf diese Weise werden die Unbekannten bei der virtuellen Anprobe simuliert, wie beispielsweise verschiedene Kunden und Kameras, unbekannte Lichtverhältnisse, suboptimale Zentrierung oder eine leichte Rotation der Kamera.

**[0054]** In Schritt **44** wird für jeden Blickwinkel bzw. jede Perspektive ein Bild **20, 22, 24, 26, 28** anhand der zuvor gewählten Parameter auf der Grundlage der Konfiguration **52** des variablen 3D-Gesichtsmodells **10** gerendert, welches anschließend dem Kenn-

punkt-Detektor in Schritt **45** überlassen wird, welcher Kennpunkte, beispielsweise die Kennpunkte **12, 14**, unter anderem aus einem Satz von vordefinierten Kennpunkten in den jeweiligen gerenderten Bildern identifiziert. Die Funktion des Kennpunkt-Detektors hängt von der Konfiguration **50** des Kennpunkt-Detektors ab. Diese kann beispielsweise in einem Maschinentrainings-Verfahren trainiert worden sein anhand von Hand indizierter realer Aufnahmen, oder durch eine fest vorgegebene Heuristik mit einem festen Regelwerk für die einzelnen Kennpunkte o. ä. Die gefundenen Kennpunkte werden in Schritt **46** unter Verwendung der Tiefeninformationen des Modells **10** mit der Konfiguration **52** zurück auf das Modell **10** des Gesichts bzw. Kopfes projiziert und der Abstand zu jedem Knotenpunkt des Gesichtsmodells **10** berechnet. So wird auch berechnet, welchem Knotenpunkt des Gesichtsmodells **10** die Projektion des jeweiligen Kennpunktes auf das 3D-Modell **10** am nächsten ist. Kennpunkte, die an einen Ort außerhalb des Bildes des Gesichts projiziert werden oder auf die falsche Seite des Hauptmodells projiziert wurden, werden für das entsprechende Intervall ausgeschlossen bzw. die Gewichtung hierfür auf null gesetzt. Dieser Vorgang wird für alle Kamerawinkel bzw. Perspektiven (Schritt **42**) und Parameter zu Köpfen und Perspektiven (Schritt **43**) innerhalb des in Schritt **41** ausgewählten Intervalls wiederholt.

**[0055]** Anschließend wird für jeden Kennpunkt derjenige Knotenpunkt des Gitternetzes des Modells **10** als korrespondierender Knotenpunkt ausgewählt, der die geringste Varianz aufweist (Schritt **47**), also im Durchschnitt über alle Perspektiven und weiteren Parameter der laufenden Iteration am nächsten an der Rückprojektion des jeweiligen Kennpunktes auf das Modell **10** gelegen hat. Es erfolgt eine Ausgabe in Schritt **48** von Indizes und Gewichtungen, in der jeder Kennpunkt des ursprünglichen Satzes von Kennpunkten mit dem Knotenpunkt geringster Varianz und der entsprechenden Gewichtung verknüpft ist. Dieser Vorgang wird für weitere Intervalle wiederholt (Pfeil zu Schritt **41**), so dass Gewichtungen für die einzelnen Kennpunkte in Abhängigkeit von Winkeln bzw. Perspektiven erzeugt werden.

**[0056]** Das Resultat dieses Simulationsverfahrens **40** wird in dem Verfahren **30** zur virtuellen Anprobe, in der rechten Spalte in **Fig. 2** gezeigt, angewendet. In diesem Verfahren **30** wird zunächst eine Eingabe **31** von Aufnahmen eines Kunden bzw. dessen Kopfes getätigt. Es kann sich um einzelne Aufnahmen aus verschiedenen Perspektiven handeln oder um eine Videosequenz, in der ein Schwenk um den Kopf des Kunden vollzogen wurde. In einer besonders einfachen Ausführungsform handelt es sich um eine mit einem Mobilgerät, beispielsweise einem Smartphone, aufgenommene Videosequenz.



**[0057]** In Schritt **32**, welcher voraussetzt, dass die zur Verfügung gestellten Bilder in Form einer Videosequenz vorliegen, werden die einzelnen Frames der Videosequenz extrahiert und in Schritt **33** eine Kennpunkt-Detektion in diesen Bildern mit der gleichen Konfiguration **50** des Kennpunkt-Detektors durchgeführt, welche bei der vorhergegangenen Simulation **40** zum Einsatz gekommen war. Damit wird die Vergleichbarkeit bzw. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gewährleistet.

**[0058]** In Schritt **34** wird die Kameraposition aufgrund eines nicht angepassten Kopfmodells und einem kleineren Satz von fest vorgegebenen Kennpunkt-Korrespondenzen abgeschätzt und anschließend iterativ mittels der winkelabhängigen Daten aus dem Simulationsprozess **40** verfeinert. In Schritt **35** werden solche Videoframes ausgesucht, die zur späteren Anzeige geeignet sind. Diese werden automatisch anhand einer zuvor trainierten oder fest vorgegebenen Heuristik ausgewählt, um eine im Wesentlichen äquidistante Rotation um die horizontale Achse mit gleichzeitig visuell ansprechenden Bildern zu generieren. Anschließend findet im Schritt **36** eine vollständige 3D-Rekonstruktion des Kopfes sowie eine abschließende Verfeinerung der Kameraposition statt, bevor in Schritt **37** diese Bilder für eine Bildsynthese verwendet werden, in der die ausgewählten Bilder mit Darstellungen des passend positionierten und teilweise abgeschatteten Modells des Brillengestells überlagert werden. Der Kunde kann dann verschiedene Brillengestelle aus verschiedenen Winkeln auf ihre optische Wirkung virtuell überprüfen, ähnlich wie bei einem Blick in einen Spiegel.

**[0059]** Anstelle der Überlagerung der ursprünglich aufgenommenen Bilder mit einem Modell eines Brillengestells ist es auch möglich, auf der Grundlage des fertig angepassten Kaufmodells ein vollständiges Rendering des Kopfmodells **10** mit darauf positioniertem Brillengestelle durchzuführen und die gerenderten Bilder anzuzeigen.

**[0060]** Alle genannten Merkmale, auch die den Zeichnungen allein zu entnehmenden sowie auch einzelne Merkmale, die in Kombination mit anderen Merkmalen offenbart sind, werden allein und in Kombination als erfindungswesentlich angesehen. Erfindungsgemäße Ausführungsformen können durch einzelne Merkmale oder eine Kombination mehrerer Merkmale erfüllt sein.

Bezugszeichenliste

<b>10</b>	3D-Gitternetzmodell eines Kopfes
<b>12, 14</b>	2D-Kennpunkt
<b>12', 14'</b>	3D-Kennpunkt
<b>20</b>	Bild in erster Perspektive

<b>22, 24, 26</b>	Bilder in Zwischenperspektiven
<b>28</b>	Bild in Endperspektive
<b>30</b>	Verfahren zur virtuellen Anprobe
<b>31</b>	Eingabe
<b>32</b>	Extrahieren von Video-Frames
<b>33</b>	Detektion von Kennpunkten
<b>34</b>	Schätzung der Kameraposition
<b>35</b>	Auswahl von Video-Frames zur Anzeige
<b>36</b>	komplette 3D-Rekonstruktion
<b>37</b>	Bildsynthese
<b>40</b>	Statistisches Simulationsverfahren
<b>41</b>	Auswahl eines Perspektivintervalls
<b>42</b>	Iteration über Kamerawinkel im Perspektivintervall
<b>43</b>	Auswahl zusätzlicher Parameter zu Köpfen und Perspektive
<b>44</b>	Bildrendering
<b>45</b>	Detektion von Kennpunkten
<b>46</b>	Bestimmung von 3D-Projektionen der Kennpunkte
<b>47</b>	Ermitteln des Knotenpunktes mit geringster Varianz
<b>48</b>	Ausgabe von Indizes und Gewichtungen
<b>50</b>	Konfiguration des Kennpunkt-Detektors
<b>52</b>	Konfiguration des variablen 3D-Gesichtsmodells

**Patentansprüche**

1. Verfahren (30) zur virtuellen Anprobe einer Brille am Kopf eines Menschen, mit den folgenden Verfahrensschritten:
  - a) Erstellen einer Mehrzahl von zweidimensionalen Bildern (20, 22, 24, 26, 28) des Kopfes aus verschiedenen Perspektiven mit einer Aufnahmevorrichtung,
  - b) Detektieren von Kennpunkten (12, 14) des Kopfes in der Mehrzahl der zweidimensionalen Bilder (20, 22, 24, 26, 28),
  - c) Ermitteln von approximierten dreidimensionalen Koordinaten (12', 14') der Kennpunkte (12, 14) mittels Projektion der Kennpunkte (12, 14) auf ein dreidimensionales Modell (10) des Kopfes,
  - d) Ermitteln einer Position und Orientierung des aufgenommenen Kopfes in Bezug auf die Aufnahmevor-

richtung in der Mehrzahl der zweidimensionalen Bilder (20, 22, 24, 26, 28) anhand eines Vergleichs der approximierten dreidimensionalen Koordinaten (12', 14') wenigstens eines Teils der detektierten Kennpunkte (12, 14) mit dreidimensionalen Koordinaten (12', 14') korrespondierender Kennpunkte eines bekannten dreidimensionalen Ausgangsmodells (10) eines Kopfes, wobei die Position und Orientierung iterativ optimiert wird,

e) Erzeugen und Anzeigen einer oder mehrerer Darstellungen des Kopfes mit der Brille, insbesondere aus verschiedenen Perspektiven, wobei beim Ermitteln einer Position und Orientierung des aufgenommenen Kopfes in Bezug auf die Aufnahmevorrichtung eine Optimierung der Positionierung in Bezug auf die approximierten dreidimensionalen Koordinaten (12', 14') der Kennpunkte (12, 14) erfolgt, bei der die einzelnen Kennpunkte (12, 14) mit individuellen Gewichtungen einfließen, die von der Genauigkeit und/oder Stabilität der Projektion der Kennpunkte (12, 14) aus den zweidimensionalen Bildern (20, 22, 24, 26, 28) auf das dreidimensionale Modell (10) des Kopfes, insbesondere unter verschiedenen Blickwinkeln, abhängen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass, ausgehend von einem generischen dreidimensionalen Modell (10) des Kopfes, das Modell (10) des Kopfes in einer, insbesondere iterativen, Optimierung an eine Mehrzahl der aufgenommenen zweidimensionalen Bilder (20, 22, 24, 26, 28) angepasst wird, wobei insbesondere die Anpassung zusammen mit Verfahrensschritt d) ausgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln der Position und Orientierung und/oder das Anpassen des dreidimensionalen Modells (10) des Kopfes unter Verwendung von Kennpunkten (12, 14) erfolgt, die in den aufgenommenen zweidimensionalen Bildern (20, 22, 24, 26, 28) des Kopfes detektiert werden, auf das dreidimensionale Modell (10) des Kopfes projiziert und mit einem Ort auf dem dreidimensionalen Modell (10) des Kopfes korreliert werden und von dem korrelierten Ort auf dem dreidimensionalen Modell (10) des Kopfes auf eine angenommene Bildebene rückprojiziert werden, die einer Bildebene eines zugehörigen Ausgangsbildes entspricht.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Darstellung des Kopfes mit der Brille als Rendering des dreidimensionalen Modells (10) des Kopfes mit dem positionierten dreidimensionalen Modell der Brille erzeugt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Darstellung des Kopfes mit der Brille als Überlagerung eines Renderings des dreidimensionalen Modells der Brille über

die entsprechende zweidimensionale Aufnahme des Kopfes erzeugt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mehrzahl von zweidimensionalen Bildern (20, 22, 24, 26, 28) als Frames einer Videosequenz extrahiert werden oder sind, insbesondere eines mit einer tragbaren Aufnahmevorrichtung aufgenommenen Selfie-Videos.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die individuellen Gewichtungen vor ihrer Anwendung in einem statistischen Simulationsverfahren (40) bestimmt werden, in welchem eine Mehrzahl von simulierten Köpfen als 3D-Gitternetzmodelle (10) mit einheitlicher Gitternetzstruktur erzeugt wird, für die simulierten Köpfe statistisch verteilte Abweichungen von einem generischen Kopfmodell erzeugt werden (43) und verschiedene Perspektiven eingestellt werden (42), von diesen 3D-Gitternetzmodellen (10) zweidimensionale Bilder (20, 22, 24, 26, 28) aus verschiedenen Perspektiven gerendert werden (44), Kennpunkte (12, 14) in den gerenderten zweidimensionalen Bildern (20, 22, 24, 26, 28) detektiert (45) und auf das jeweilige 3D-Gitternetzmodell (10) zurückprojiziert werden (46) und ermittelt wird, wie stabil der zurückprojizierte Ort jedes detektierten Kennpunktes (12, 14) unter Wechsel der Perspektive ist, wobei jedem Kennpunkt (12, 14) eine Gewichtung zugewiesen wird (48), die proportional zu ihrer räumlichen Stabilität gegenüber Perspektivwechseln ist, insbesondere gemessen über eine Vielzahl oder die Gesamtheit der 3D-Gitternetzmodelle (10) der erzeugten verschiedenen Köpfe und Perspektiven.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass als zusätzliche(r) weitere(r) Parameter eine Kameraposition, eine Kameraausrichtung, eine Kopfhaltung, eine Mimik, eine Hautfarbe, eine Hautbeschaffenheit oder Hautreflexivität, eine Helligkeit des einfallenden Lichts und/oder eine Richtung des einfallenden Lichts variiert wird oder werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das dreidimensionale Modell (10) des Kopfes und die in dem statistischen Simulationsverfahren (40) zuvor verwendeten dreidimensionalen Modelle (10) simulierter Köpfe jeweils eine Gitternetzstruktur aufweisen, insbesondere die gleiche Gitternetzstruktur.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Ermittlung der approximierten dreidimensionalen Koordinaten (12', 14') der Kennpunkte (12, 14) die dreidimensionalen Koordinaten eines jeweils nächsten Knotenpunktes der Gitternetzstruktur verwendet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Ermittlung der approximierten dreidimensionalen Koordinaten (12', 14') der Kennpunkte (12, 14) für jeden Kennpunkt (12, 14) ein 3D-Gitternetzknotten des dreidimensionalen Modells (10) des Kopfes mit geringster Varianz gefunden wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Ermittlung der approximierten dreidimensionalen Koordinaten (12', 14') der Kennpunkte (12, 14) solche Kennpunkte ausgeschlossen werden, deren approximierte Position außerhalb des Modells (10) des Kopfes oder an einer Rückseite des Modells (10) des Kopfes liegen.

13. System zur virtuellen Anprobe einer Brille am Kopf eines Menschen, umfassend eine Aufnahmevorrichtung, die ausgebildet und eingerichtet ist, eine Mehrzahl von zweidimensionalen Bildern (20, 22, 24, 26, 28) des Kopfes aus verschiedenen Perspektiven zu erstellen, eine Anzeigevorrichtung zur Anzeige einer oder mehrerer Darstellungen des Kopfes mit der Brille, insbesondere aus verschiedenen Perspektiven, sowie eine Datenverarbeitungsanlage, die ausgebildet und eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 durchzuführen.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

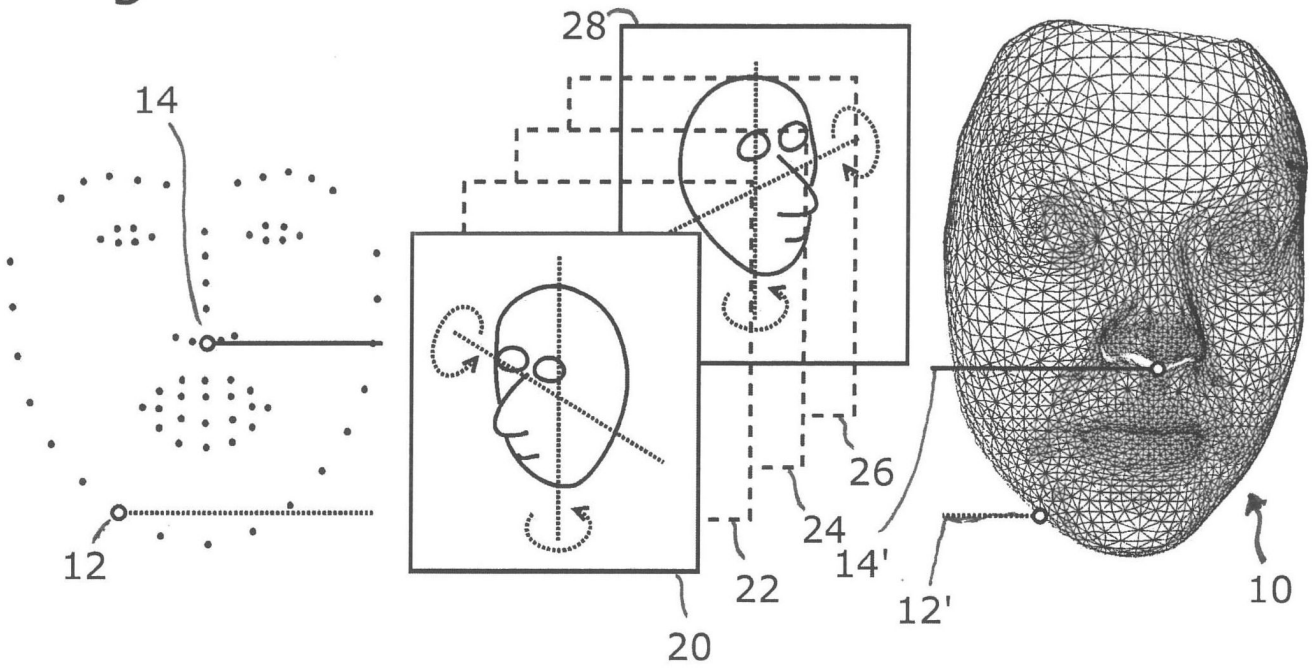


Fig. 2

