



(10) **DE 10 2018 009 811 A1** 2020.06.18

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 009 811.8**

(22) Anmeldetag: **13.12.2018**

(43) Offenlegungstag: **18.06.2020**

(51) Int Cl.: **G06F 30/00 (2020.01)**

G06T 17/20 (2006.01)

G06N 20/00 (2019.01)

G16Z 99/00 (2019.01)

G02C 13/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

YOU MAWO GmbH, 78467 Konstanz, DE

(74) Vertreter:

**K & P Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80335
München, DE**

(72) Erfinder:

**Szabo, Daniel, 64289 Darmstadt, DE; Kolb,
Dominik, 78479 Reichenau, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

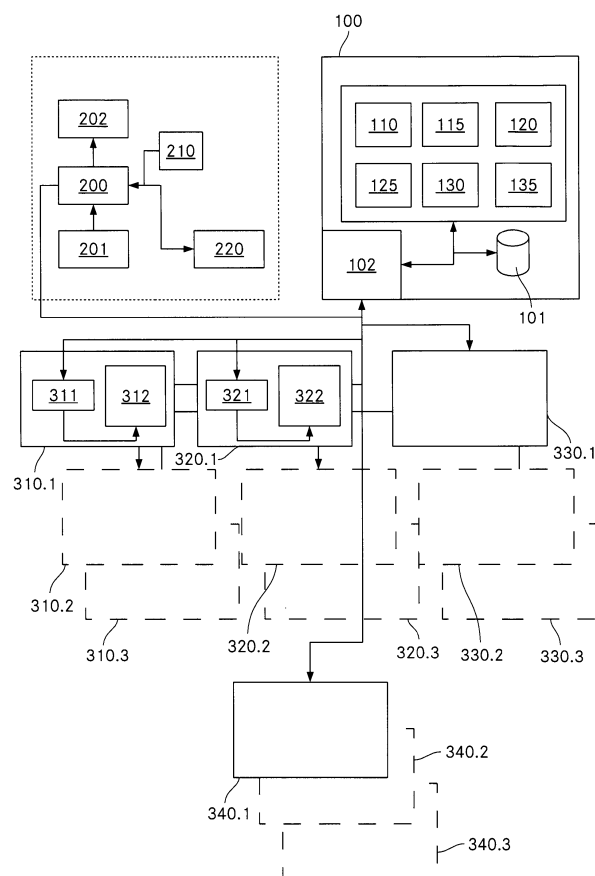
US	9 810 927	B1
US	2015 / 0 127 132	A1
WO	2015/ 027 196	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person, wird zunächst mindestens ein dreidimensionales Abbild eines Kopfes der Person erfasst. Anschließend werden erste Eingangsdaten aus dem dreidimensionalen Abbild erzeugt, ein Polygonmodell für mindestens ein Element der herzustellenden Brille bereitgestellt und das Polygonmodell vollautomatisch anhand der ersten Eingangsdaten angepasst. Anschließend werden Bilddaten einer Überlagerung des angepassten Polygonmodells mit einer Ansicht des Kopfes der Person und Herstellungsdaten generiert aus dem angepassten Polygonmodell ausgegeben. Ein entsprechendes System umfasst eine Kamera (210) zur Aufnahme eines oder mehrerer Bilder eines Kopfes der Person, ein erstes Verarbeitungsmodul zum Erzeugen eines dreidimensionalen Abbilds des Kopfes aus dem einen oder den mehreren Bildern, ein zweites Verarbeitungsmodul (110) zum Erzeugen von ersten Eingangsdaten aus dem dreidimensionalen Abbild, ein Modellierungsmodul (115) zum Bereitstellen eines Modells für mindestens ein Element der herzustellenden Brille, ein Anpassungsmodul (120) zum automatischen Generieren von Anpassungsdaten für das Modellierungsmodul anhand der ersten Eingangsdaten, ein Bildausgabemodul (125) zum Ausgeben von Bilddaten einer Überlagerung des Modells mit dem einen oder den mehreren Bildern des Kopfes der Person, ein Ausgabegerät (202) zum Empfangen und Darstellen der ausgegebenen Bilddaten, ein drittes ...



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person. Sie betrifft weiter ein Verfahren zur Herstellung einer Brille für eine Person, ein Computerprogramm, ein Speichermedium und ein System zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person.

Stand der Technik

[0002] Verfahren zur Modellierung von Brillenfassungen nach Maß und zur Herstellung solcher Fassungen durch additive Herstellungsverfahren sind grundsätzlich bekannt.

[0003] So beschreibt beispielsweise die US 9,810,927 B1 (3-D Frame Solutions) ein Verfahren zum Generieren einer Produktespezifikation für eine angepasste Brillenfassung. Dabei wird auf eine Bibliothek mit vollständig parametrisierten Standardmodellen zugegriffen. Die Modelle können mittels Anpassungswerten, die biometrische Daten des zukünftigen Trägers umfassen, angepasst werden. Aus dem angepassten Modell wird schließlich die Produktespezifikation für die Herstellung, z. B. mittels eines 3D-Druckers, generiert.

[0004] Die FR 3 044 430 B1 (AK Optique) offenbart ein Verfahren zur Herstellung einer Brillenfassung mit flachen Nasenauflagen. Dabei werden zunächst räumliche Daten des Gesichts des zukünftigen Trägers erfasst, gestützt darauf ein dreidimensionales Modell der Brillenfassung erzeugt und schließlich die Fassung durch ein additives Herstellungsverfahren gefertigt. Bei der Erzeugung des dreidimensionalen Modells wird dieses mit einem dreidimensionalen Modell des Gesichts abgeglichen, so dass an der korrekten Stelle Abflachungen als Nasenauflagen erzeugt werden können.

[0005] Bei den bekannten Verfahren ist der Umfang der vornehmbaren Anpassungen sehr beschränkt. Nach der Erfassung der räumlichen Daten hat der zukünftige Träger keine Einflussmöglichkeiten auf die Gestaltung der anzufertigenden Brille.

Darstellung der Erfindung

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, ein dem eingangs genannten technischen Gebiet zugehöriges Verfahren zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person zu schaffen, welches eine höhere Flexibilität und Kundeninteraktion ermöglicht.

[0007] Die Lösung der Aufgabe ist durch die Merkmale des Anspruchs 1 definiert. Gemäß der Erfindung umfasst das Verfahren zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person folgende Schritte:

- a) Erfassen mindestens eines dreidimensionalen Abbilds eines Kopfes der Person;
- b) Erzeugen von ersten Eingangsdaten aus dem dreidimensionalen Abbild;
- c) Bereitstellen eines Polygonmodells für mindestens ein Element der herzustellenden Brille;
- d) vollautomatisches Anpassen des Polygonmodells anhand der ersten Eingangsdaten;
- e) Ausgeben von Bilddaten einer Überlagerung des angepassten Polygonmodells mit einer Ansicht des Kopfes der Person; und
- f) Ausgeben der Herstellungsdaten generiert aus dem angepassten Polygonmodell.

[0008] Beim Verfahren handelt es sich um ein computergestütztes Verfahren, welches durch entsprechende Software auf geeigneten Rechnern und Maschinen zum Ablauf gebracht wird.

[0009] Entsprechend umfasst die Erfindung ein Computerprogramm, das so angepasst ist, dass es das erfindungsgemäße Verfahren ausführt, sowie ein (nichtflüchtiges) Speichermedium umfassend ein solches Computerprogramm. Das Computerprogramm kann mehrere Module umfassen, welche auf verschiedenen Geräten ausgeführt werden, die geografisch voneinander beabstandet und über ein Daten Netzwerk miteinander verbunden sind.

[0010] Mit einem dreidimensionalen Abbild des Kopfs ist ein maßgenaues Abbild der Kopfoberfläche inklusive Tiefeninformation gemeint. Die Erfassung des dreidimensionalen Abbilds des Kopfs kann direkt erfolgen, durch Nutzung einer Abbildungstechnologie, welche die dreidimensionale Form unmittelbar erfassen kann. Die Erfassung kann auch indirekt erfolgen, z. B. indem mehrere zweidimensionale Bilder aus verschiedenen Perspektiven geeignet miteinander verrechnet werden. Die Erfassung kann auch darin bestehen, dass Rohdaten zur Erzeugung des dreidimensionalen Abbilds oder bereits dreidimensional gewonnene oder aufbereitete Daten von einer externen Quelle über eine geeignete Schnittstelle empfangen werden.

[0011] Geeignete Technologien zur Gewinnung dreidimensionaler Abbilder sind grundsätzlich bekannt. So existieren zur direkten Erfassung lauffzeitbasierte Systeme (TOF-Kameras), stereoskopische Systeme oder Triangulations- oder interferometrische Systeme. Auch Lichtfeldkameras sind ein-

setzbar. Die indirekte Errechnung kann auf Rohdaten gängiger (Digital-)Kameras basieren.

[0012] Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens können mehrere Bilder desselben Kopfs erfasst und verarbeitet werden, z. B. mehrere Frames einer Videoaufnahme und/oder Bilder, die verschiedene Gesichtsausdrücke zeigen - um sicherzustellen, dass die Brille in verschiedenen Situationen passt und ästhetisch wirkt.

[0013] Es muss nicht der ganze Kopf der Person erfasst werden. In der Regel genügt es, die Gesichtregion (inkl. Stirn und Haaransatz) sowie die Schläfen- und Ohrenregion abzudecken. Je nach vorgesehener Ausgabe der überlagerten Bilddaten kann es aber sinnvoll sein, weitere Bereiche des Kopfs bzw. den gesamten Kopf zu erfassen.

[0014] Beim mindestens einen Element der herzustellenden Brille handelt es sich insbesondere um die Brillenfassung, gegebenenfalls nur um die Brillenfront (die mit den Bügeln und allfälligen weiteren Elementen zur Brillenfassung kombiniert wird).

[0015] Mithilfe des Polygonmodells wird das mindestens eine Element der Brille durch ein Polygonnetz repräsentiert. Dies bedeutet, dass die geometrische Form des Elements durch ein Netz aus diskreten Elementen bestehend aus Punkten, Kanten und Polygonflächen angenähert wird. Jedem einzelnen Element werden grundlegende Informationen wie Position, Orientierung und angrenzende Nachbarelemente zugeordnet sowie zusätzliche Datenfelder wie Gruppenzugehörigkeit und Attribute, welche die parametrische Form definieren.

[0016] Polygonmodelle sind insbesondere aus der 3D-Computergrafik bekannt, wie sie z. B. im Rahmen von Computerspielsoftware für die Echtzeit-Erstellung animierter Grafikdarstellungen zum Einsatz kommt. Hardwarekomponenten, welche entsprechende Verarbeitungsschritte spezifisch unterstützen, sind kommerziell verfügbar (z. B. entsprechende Grafikchips).

[0017] Bei der Bereitstellung eines Polygonmodells wird dieses initialisiert, d. h. die Modellparameter werden auf vorgegebene Werte gesetzt. Diese können bereits einem Grundmodell für das mindestens eine Element der herzustellenden Brille entsprechen, welches den Ausgangspunkt für die nachfolgenden Anpassungsschritte bildet.

[0018] Das Ausgeben der Bilddaten kann unmittelbar die Darstellung auf einem Ausgabegerät einschließen, in der Regel werden aber die Bilddaten (in einer zur unmittelbaren Ausgabe geeigneten Form oder als Vorläuferdaten, die zu Bilddaten weiter verarbeitet werden können) an ein beabstandet ange-

ordnetes Endgerät übermittelt und dort dargestellt. Diese Übermittlung erfolgt insbesondere über ein Computernetzwerk (WAN oder LAN). Die Bilder können letztlich statisch oder bewegt (Videoüberlagerung) ausgegeben werden.

[0019] Die Herstellungsdaten definieren die Geometrie der Brillenfassung (oder von Teilen davon) und gegebenenfalls von weiteren Elementen der Brille, insbesondere solchen, welche automatisch herstellbar sind. Sie sind insbesondere für die nachfolgende additive Herstellung (3D-Druck, z. B. Laser-Sintering) bestimmt. Ergänzend oder alternativ umfassen die Herstellungsdaten aber auch Daten, die für andersartige Herstellungsverfahren (z. B. CNC-Fräsen, Schleifen usw.) bestimmt sind.

[0020] Ein System zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person, umfasst entsprechend bevorzugt

- a) eine Kamera zur Aufnahme eines oder mehrerer Bilder eines Kopfes der Person;
- b) ein erstes Verarbeitungsmodul zum Erzeugen eines dreidimensionalen Abbilds des Kopfes aus dem einen oder den mehreren Bildern;
- c) ein zweites Verarbeitungsmodul zum Erzeugen von ersten Eingangsdaten aus dem dreidimensionalen Abbild;
- d) ein Modellierungsmodul zum Bereitstellen eines Modells für mindestens ein Element der herzustellenden Brille;
- e) ein Anpassungsmodul zum automatischen Generieren von Anpassungsdaten für das Modellierungsmodul anhand der ersten Eingangsdaten;
- f) ein Bildausgabemodul zum Ausgeben von Bilddaten einer Überlagerung des Modells mit dem einen oder den mehreren Bildern des Kopfes der Person;
- g) ein Ausgabegerät zum Empfangen und Darstellen der ausgegebenen Bilddaten;
- h) ein drittes Verarbeitungsmodul zum Generieren von Herstellungsdaten aus dem Modell;
- i) ein Datenausgabemodul zum Ausgeben der Herstellungsdaten.

[0021] Bei der Kamera kann es sich um eine Still- oder Videokamera handeln, wobei der Begriff „Kamera“ alle denkbaren Bilderfassungsgeräte einschließt. Insbesondere ist die Kamera Teil eines mobilen Endgeräts (z. B. Smartphones oder Tablets). Sie weist bevorzugt die Fähigkeit zur direkten Erfassung dreidimensionaler Bilder auf, z. B. gestützt auf integrierte Infrarotsensoren zur Tiefenmessung. Dadurch kann auf dedizierte zusätzliche Erfassungsgeräte verzichtet werden; der Kunde oder ein Dienstleister kann ein

bereits vorhandenes oder im Handel ohne Weiteres und relativ kostengünstig erhältliches Endgerät nutzen.

[0022] Das Modellierungsmodul kann auf einem Polygonmodell für das mindestens eine Element basieren, dies ist jedoch nicht zwingend - andere Modelle zur Beschreibung der Elementgeometrie können zum Einsatz kommen (z. B. CSG- oder Freiformflächenmodelle). Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens lässt sich der Modellierungsprozess vollautomatisch durchführen, wodurch die Konfiguration und Bestellung einer Maßbrille jederzeit, unabhängig von der Verfügbarkeit fachkundigen Personals, stattfinden kann. Weil die Kombination aus Parameteranpassung und Aufbereitung der Bilddaten in einigen Sekunden oder schneller, also sozusagen in Echtzeit, erfolgen kann, sind die virtuelle Anprobe während des Bestellvorgangs und die Durchführung mehrerer Iterationen bis zur Definition des perfekt passenden Brillenmodells, gestützt auf die Rückmeldungen des zukünftigen Trägers, ohne Weiteres möglich. Das erfindungsgemäße Verfahren kann kundenseitig vollständig auf state-of-the-art-Geräte wie Smartphones oder Tablets gestützt werden, wobei eine spezifische App oder eine webbasierte Applikation im Browser genutzt werden kann.

[0023] Bevorzugt sind das erfindungsgemäße Verfahren so gesteuert und das erfindungsgemäße System so ausgebildet, dass folgende Schritte vollständig automatisiert ablaufen können und keine manuellen Aktionen seitens des Dienstleisters erfordern:

- die Erfassung des Kopfes;
- die Erstellung des 3D-Modells des Kopfes;
- die Orientierung und Positionierung des 3D-Modells des Kopfes;
- das Finden einer Brillenparameterkonfiguration;
- die Erstellung des 3D-Brillenmodells;
- das Erzeugen der Voransicht des 3D-Brillenmodells auf dem dreidimensionalen Kopf;
- das Erstellen aller Produktionsdaten;
- die Übermittlung bzw. Zurverfügungstellung der Produktionsdaten an die Hersteller.

[0024] Ein System zur Herstellung einer Brille für eine Person umfasst bevorzugt das beschriebene System zum Generieren von Produktionsdaten und eine erste Vorrichtung zur additiven Fertigung des mindestens einen Elements der herzustellenden Brille anhand der ausgegebenen Produktionsdaten.

[0025] Die additive Fertigung (3D-Druck) ermöglicht die automatisierte Herstellung von Formkörpern aus unterschiedlichen Materialien und bei Bedarf mit

komplexer Formgebung. Geräte für die additive Fertigung sind in verschiedenen Preis- und Qualitätsklassen verfügbar und können dezentral betrieben werden. Voraussetzungen für deren Funktion sind im Wesentlichen ein Zugriff auf die benötigten Herstellungsdaten und die Bereitstellung der benötigten Ausgangsmaterialien. Die Herstellungsdaten können neben den für die additive Fertigung benötigten Daten (G-Code) auch weitere Daten für andere Herstellungsschritte umfassen, wie weiter unten näher beschrieben. Für die additive Fertigung wird somit nur ein Subset der Herstellungsdaten benötigt.

[0026] Für die additive oder subtraktive Fertigung kann das System aus dem Polygonmodell Daten in industrietypischen Formaten zur Speicherung von Polygonnetzen wie zum Beispiel STL, OBJ oder PLY gewinnen. Darüber hinaus kann das System aber mit Vorteil aus dem Polygonmodell auch Splinekurven und -flächen generieren und exportieren, die für Produktionssysteme geeignet sind, die derartige Repräsentationsmodelle für Objekte benötigen. Darüber hinaus ist es auch möglich, neben der Repräsentation des 3D-Modells, direkt Instruktionsdatensätze zur Fertigung des 3D-Modells auszuspielen, z. B. maschinenspezifischer G-Code für die Steuerung von 3D-Druckern oder Fräsen.

[0027] Die verschiedenen Exportmöglichkeiten ermöglichen es, Brillen in unterschiedlichen Materialien, die unterschiedliche Produktionsverfahren und daher unterschiedliche Datenaustauschformate benötigen, herzustellen. Die Herstellungsdaten werden für den Produktionsprozess auf digitalem Weg an die Hardware, die das Objekt fertigt, weitergeleitet, insbesondere über ein Computernetzwerk (WAN oder LAN). Das System verfügt über Schnittstellen, um die erzeugten Produktionsdaten in einem Kundenportal zu speichern oder direkt an den Herstellungspartner über eine entsprechende Programmschnittstelle zu übermitteln.

[0028] Des Weiteren können vom System bevorzugt bemaßte Technische Zeichnungen automatisiert ausgegeben werden, die den Anpassungsprozess dokumentieren und den Produktionsprozess unterstützen.

[0029] Bevorzugt werden beim Erzeugen der ersten Eingangsdaten mehrere Orientierungspunkte am Kopf der Person identifiziert und deren Position gespeichert. Die Identifikation der Orientierungspunkte erfolgt anhand des Abbildes, nach ihrer Identifikation werden sie auf das dreidimensionale Polygonmodell übertragen, markiert und gespeichert. Der Kopf der Person wird dadurch vermessen, und für die Anpassung der Brillenfassung relevante Merkmale (Augen, Ohren, Mund, Nase usw.) werden für die weitere, automatisierte Verarbeitung der Daten verfügbar gemacht. Sie werden insbesondere für die automati-

sche Positionierung und Orientierung des dreidimensionalen Abbilds und die nachfolgende automatisierte Anpassung des Polygonmodells herangezogen.

[0030] Es sind Programmbibliotheken bzw. SDKs (Software Development Kits) verfügbar, um aus Kameradaten, z. B. von mobilen Endgeräten, direkt Kopfmodelle mit Orientierungspunkten zu erzeugen.

[0031] Mit Vorteil umfasst das Verfahren den weiteren Schritt der manuellen Eingabe von zweiten Eingangsdaten, wobei die zweiten Eingangsdaten beim vollautomatischen Anpassen des Polygonmodells herangezogen werden. Derartige manuelle Eingaben können beispielsweise direkt vom zukünftigen Träger der anzufertigenden Brille erfolgen oder von einem Beratungsdienstleister (Optiker), der sich bei dieser Person befindet oder mit ihr live kommuniziert (z. B. über einen Videochat). Die manuell eingegebenen zweiten Eingangsdaten beziehen sich beispielsweise auf Präferenzen (Modestil, Farbe, Material, Preisrahmen) in Bezug auf die anzufertigende Brille oder auf zusätzliche Informationen, welche für das Generieren der Herstellungsdaten benötigt werden.

[0032] Ebenso können diese zweiten Eingangsdaten darauf basieren, dass zunächst mittels speziellen Messbrillen relevante Maße des Kopfes bestimmt werden. Diese schließen im Regelfall die Bügellänge, Inklination, Fassungsbreite und Nasenbreite ein. Diese Maße werden als Teil der zweiten Eingangsdaten erfasst und zur Anpassung des Polygonmodells verwendet. Da die Nasenform nur schwer zu messen ist, wird die Nasenform anhand mehrerer (z. B. fünf bis sieben) Nasenform-Demovarianten, welche in die Messbrille geklickt werden, bestimmt. Nach Auswahl des passenden Nasenmodells wird dieses ebenfalls als Teil der zweiten Eingangsdaten übermittelt. Diese Erfassung gewisser Kernparameter stellt eine Alternative zur Gewinnung aus den ersten Eingangsdaten dar. Die Maße können aber gerade auch zur Kalibrierung des erfassten 3D-Abbilds bzw. der daraus erzeugten ersten Eingangsdaten herangezogen werden, wodurch die Fertigungspräzision erheblich gesteigert werden kann. Eine Alternative stellt die gleichzeitige Bildaufnahme des Kopfes mit einem Referenzgegenstand (z. B. einem Maßband) dar. Gewisse Geräte und Verfahren sind zudem in der Lage, absolute Distanz- bzw. Positionsmessungen ohne derartige Zusatzmaßnahmen vorzunehmen.

[0033] Vorzugsweise sind die zweiten Eingangsdaten nach dem Ausgeben der Bilddaten eingebbar, wonach die Schritte d) und e) in Abhängigkeit der zweiten Eingangsdaten erneut zur Ausführung gelangen. Der zukünftige Träger oder der Beratungsdienstleister (oder eine andere Person) können somit eine Rückmeldung zur aktuellen Gestaltung der Brillenfassung gemäß derzeitigem Polygonmodell abge-

ben. Diese kann in einer einfachen JA/NEIN-Antwort bestehen bzw. in mehreren JA/NEIN-Antworten auf verschiedene Fragen, sie kann aber auch spezifische Beeinflussungsparameter beinhalten - beispielsweise kann die eingebende Person Elemente der Brille mit Hilfe einer grafischen Benutzeroberfläche auswählen und beeinflussen. Die grafische Benutzeroberfläche kann beispielsweise vorsehen, dass der Benutzer an Elementen der Brillenfassung „ziehen“ kann, um deren Dimensionierung und/oder Form direkt zu beeinflussen. Alternativ oder zusätzlich können etwa Schieberegler vorgesehen sein, mit welchen der Benutzer gewisse Aspekte (Dimensionen, Verrundungen, Farben usw.) beeinflussen kann. Daraus werden jeweils zweite Eingangsdaten erzeugt, die einer Anpassung eines Parameters des Polygonmodells entsprechen.

[0034] Insbesondere werden zweite Daten manuell sowohl vor der ersten Darstellung als auch danach erfasst. Die erste Erfassung betrifft generelle Präferenzen und Rahmenbedingungen, die weiteren Erfassungen betreffen Rückmeldungen zum aktuellen Stand der Modellierung. Nach Abschluss der Modellierung mit dem Benutzer kann eine weitere Person (z. B. seitens des Beratungsdienstleisters oder des Fertigers) noch finale Anpassungen vornehmen, bevor die Brille gefertigt wird.

[0035] Bevorzugt werden die Schritte d) und e) und die manuelle Eingabe von Daten in einem Kreisprozess durchlaufen, bis der Benutzer das aktuelle Modell akzeptiert und für die Fertigung freigibt. Anschließend werden die Herstellungsdaten generiert.

[0036] Der Kreisprozess kann weitere Schritte umfassen. So kann - wie weiter unten im Detail beschrieben - ein Probeexemplar der Brille hergestellt und anprobiert werden. Je nach Ergebnis der Anprobe können sich daraus wiederum zweite Daten ergeben, die in die weitere Anpassung einfließen.

[0037] Bevorzugt basiert das vollautomatische Anpassen des Polygonmodells (auch) auf Verarbeitungsdaten, welche aus den ersten Daten mittels eines auf maschinellem Lernen basierenden Prozesses gewonnen werden.

[0038] Derartige Prozesse (machine learning, ML) sind bekannt und ermöglichen die automatische Verarbeitung (z. B. Klassierung) von komplexen Eingangsdaten. Durch fortlaufendes Trainieren des Prozesses mit neuen Trainingsdaten wird die Qualität der Verarbeitung kontinuierlich gesteigert. Im vorliegenden Fall erlaubt die Anwendung des ML-Prozesses eine laufende Reduktion der benötigten Iterationen, bis das Polygonmodell die vom Benutzer gewünschte Brillenfassung repräsentiert. Der ML-Prozess kann zum einen für die Empfehlung eines Brillen-Grundmodells eingesetzt werden, welches zur

Physiognomie des zukünftigen Trägers passt, zum anderen für die automatische Anpassung der Form und Positionierung des Grundmodells an die Physiognomie während der anschließenden Modellierung, basierend auf den identifizierten Orientierungspunkten.

[0039] Geeignete ML-Algorithmen basieren beispielsweise auf Support Vector Machines (SVM) oder künstlichen neuronalen Netzwerken.

[0040] Im vorliegenden Fall dürften insbesondere ML-Prozesse zum Einsatz kommen, welche auf überwachtem Lernen (supervised learning) basieren.

[0041] Mit Vorteil basiert der ML-Prozess auf einer Vielzahl von ersten Eingangsdaten aus dreidimensionalen Abbildern einer Vielzahl von Personen und damit verknüpften angepassten Polygonmodellen.

[0042] Im vorliegenden Fall werden die für die Anwendung des entsprechenden ML-Prozesses benötigten Daten also aus den aus den dreidimensionalen Abbildern gewonnen ersten Daten (z. B. den Orientierungspunkten) (und gegebenenfalls zweiten Daten, falls vorhanden und dienlich) und den letztlich erzeugten Polygonmodellen, d. h. den Modellparameterwerten, welche diese angepassten Modelle repräsentieren, gewonnen. Weitere Datenquellen sind möglich - beispielsweise können verfügbare Fotografien, die das Gesicht von Personen mit aufgesetzter Brille zeigen und bei denen die Brille von Personen oder einem geeigneten Algorithmus als passend für das jeweilige Gesicht beurteilt wird, als Trainingsdaten zum Einsatz kommen. Auch die Verwendung „negativer“ Trainingsdaten, welche eine schlechte Anpassung einer Brille repräsentieren, ist möglich.

[0043] Vorzugsweise basieren die initialen Trainingsdaten auf einer manuellen oder semiautomatischen Anpassung von Brillenfassungen, z. B. im Rahmen eines computerunterstützten Anpassungsprozesses mit einer virtuellen Anprobe, wobei aber die Anpassung des Modells von einer Bedienperson manuell vorgenommen wurde. Für das Trainieren des ML-Algorithmus werden dabei nur die Parameter akzeptierter Modelle herangezogen. Liegt eine ausreichende Zahl von Zuordnungen zwischen 3D-Abbildern und akzeptierten Polygonmodellen vor (z. B. mindestens 100, bevorzugt mindestens 500), kann mit Hilfe des trainierten ML-Algorithmus bereits eine merkliche Verbesserung des vollautomatischen Anpassungsprozesses stattfinden.

[0044] Bevorzugt basiert der maschinelle Lernprozess weiter auf Eigenschaftsdaten der Person, insbesondere einem Alter, einem Geschlecht, einer ethnischen Herkunft und/oder Präferenzangaben der Person. Aufgrund diesen lässt sich die Person einer Zielgruppe zuordnen. Aus den Trainingsdaten ist be-

kannt, welche Präferenzen in Bezug auf das Brillenmodell und gegebenenfalls die Anpassung die entsprechende Zielgruppe hat. Entsprechend kann die Auswahl des Grundmodells und/oder die automatisierte Anpassung des Polygonmodells gemäß diesen Präferenzen angepasst werden. Insbesondere die Anwendung des maschinellen Lernens ermöglicht eine alternative Anwendung des Erfindungsgedankens, gemäss welcher das Verfahren ohne die virtuelle Anprobe, d. h. ohne die Ausgabe von Bild-daten einer Überlagerung des angepassten Polygonmodells mit einer Ansicht des Kopfes der Person, erfolgt. In einem entsprechenden System würde kein entsprechendes Bildausgabemodul benötigt, weil eine ausreichend hohe Sicherheit bestehen würde, dass die automatisch angepasste Brillenfassung perfekt sitzt.

[0045] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden zum vollautomatischen Anpassen des Polygonmodells Anpassungsschritte aus einem Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge vorgenommen.

[0046] Den Anpassungsschritten entsprechen definierte Funktionen, welche die Deformation des Brillenmodells für eine gewünschte Parameteränderung berechnen. Die Veränderungen des Brillenmodells, die durch die Anpassungswerkzeuge verursacht werden, sind stetig. Bevorzugt können die Parameter der Anpassungswerkzeuge beliebig genau und nicht nur in diskreten Schritten eingestellt werden.

[0047] Zur Berechnung der Deformation wird die Position der Elemente des Polygonnetzes gelesen, durch die Funktion deformiert und dann wieder gespeichert. Zur Berechnung der jeweiligen Deformation werden die pro Polygonnetzelemente (Punkt, Kante, Polygonfläche) gespeicherten Attribute mit einbezogen.

[0048] Die Modellparameter werden - außer wenn eine Änderung der Gesamtform spezifisch bewirkt werden soll - proportional zueinander angepasst, um die Gesamtform der Brille bestmöglich zu erhalten.

[0049] Der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge umfasst mit Vorteil mindestens ein lokales Anpassungswerkzeug, dessen Anwendung auf das Polygonmodell nur einen lokalen Bereich des Modells beeinflusst und alle Bereiche außerhalb dieses lokalen Bereichs unbeeinflusst lässt. Dadurch lässt sich sicherstellen, dass der Einfluss mehrerer Anpassungswerkzeuge auf das Polygonmodell im Wesentlichen unabhängig voneinander ist, was die Planung der Sequenz der notwendigen Anpassungen vereinfacht. Ein lokales Anpassungswerkzeug betrifft insbesondere nur ein spezifisches Element der Brillenfassung, z. B. die Brücke oder den Befestigungsbereich für einen Bügel.

[0050] Die Lokalität der Anpassungswerkzeuge kann erreicht werden, indem den Elementen des Polygonnetzes die Zugehörigkeit zu einer oder mehreren Gruppen zugeordnet wird. Beispielsweise können die Gruppen als binäres Bitfeld (0: nicht Teil der Gruppe; 1: Teil der Gruppe) jedem Element des Polygonnetzes zugeordnet werden. Bei der Anwendung der lokalen Anpassungswerkzeuge erfahren dann nur diejenigen Elemente dessen Wirkung, welche als Teil der entsprechenden Gruppe identifiziert sind. Die Gruppen dienen also als Masken, um im Anpassungsprozess die Deformationen auf bestimmte Regionen des Polygonnetzes zu beschränken.

[0051] Der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge umfasst insbesondere mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung mindestens einer Dimension einer Nasenbrücke der herzustellenden Brille. Ein solches Anpassungswerkzeug kann eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften beeinflussen:

- Brückenbreite: Dabei wird die Breite der Nasenbrücke erhöht oder verringert. Die Rahmenstärke ändert sich dabei nicht. Die gesamte Breite der Rahmenfront verringert sich um den Betrag der Änderung der Nasenbrücke, die Gesamtbreite der Brillenfront bleibt also unverändert.

- Tiefe der Nasenbrücke: Dabei wird die Tiefe der Nasenbrücke erhöht oder verringert. Die übrige Stärke des Rahmens wird nicht verändert.

- Breite der Nasenbrücke im unteren Teil: Diese lässt sich separat erhöhen oder verringern. Dadurch verändert sich der Winkel der Nasenauflage. Die gesamte Breite der Nasenbrücke bleibt unverändert und die Breite der Rahmenfront verändert sich dadurch nicht.

[0052] Der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge umfasst insbesondere mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung mindestens einer Gesamtdimension der Brillenfront (z. B. der Frontbreite und/oder Fronthöhe) unter Beibehaltung einer Gesamtform der Brillenfront. Die Form der Glasöffnung und damit die Linsenform passen sich entsprechend an. Die Breite der Nasenbrücke verändert sich nicht, und das Design der Brille bleibt erhalten. Zudem kann optional die Stärke des Rahmens in der Tiefe verändert werden.

[0053] Der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge umfasst insbesondere mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Beeinflussung einer Basiskurve. Die Basiskurve betrifft die Wölbung des Linsenglases und damit auch die Geometrie der Fassung. Die Basiskurve entspricht einer Projektion der Brillenfassung auf Kugeln mit definierten Radien für die unterschiedlichen Basiskurven. Das Zentrum der Kugel, auf die projiziert wird, ist in der optischen Mitte des Linsenglases positioniert. Mit dem Anpassungs-

werkzeug kann die Basiskurve erhöht oder verringert werden. Die Stärke der Brillenfassung bleibt erhalten. Ebenso bleibt die Breite der Brillenfassung erhalten, da die Projektion durch Scherung der Form in die Tiefe auf die Kugel realisiert ist.

[0054] Der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge umfasst insbesondere mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung einer Geometrie einer Glasnut zur Aufnahme eines Linsenglases. Die Glasnut fixiert das Linsenglas in der Brillenfassung. Deren Geometrie kann sowohl rund als auch spitz gewählt werden. Des weiteren lässt sich die Nuttiefe verändern.

[0055] Der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge umfasst insbesondere mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung eines Winkels zwischen einer Brillenfront und einer Backe eines Brillenmittelteils. Da der Bügel durch ein Scharnier mit der Backe verbunden wird, ergibt sich dadurch eine Änderung des Winkels des Bügels relativ zur Brillenfront.

[0056] So kann zum einen der Winkel des Bügelaufgangs verändert werden. Dabei wird lediglich die Backe der Brillenfassung verändert. Die Brillenfront bleibt unverändert.

[0057] Ferner kann die Inklination erhöht und verringert werden. Die Brillenfront wird dabei um einen Punkt an der Brillenbacke gedreht. Die Brillenbügel bleiben dadurch unverändert.

[0058] Der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge umfasst insbesondere mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung einer Dimension und/oder Position einer Nasenauflage (relativ zu den übrigen Elementen der Fassung).

[0059] Die Nasenauflage kann in ihrer Gesamtform, ihrer Höhe, ihrer Tiefe und im Winkel geändert werden. Alle anderen Masse der Brillenfassung werden dadurch nicht beeinflusst. Die Nasenauflage kann auch so verändert werden, dass sich am Rahmen keine Auflage mehr befindet. In diesem Fall werden im unteren Bereich der Nasenbrücke Löcher vorgesehen, die es ermöglichen, nach der Produktion Metallstege mit Silikonnasenpads anzubringen.

[0060] Der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge umfasst insbesondere mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Anpassung einer Dimension und/oder einer Formgebung eines Bügels.

[0061] Mit einem solchen Anpassungswerkzeug kann die Länge des Bügels erhöht oder verringert werden. Die Fassung bleibt davon unbeeinflusst.

[0062] Durch Änderung der Formgebung können insbesondere die Bügelbiegung um das Ohr und die Bügelbiegung um den Kopf angepasst werden. Der Bügel kann am Bügelende abgeknickt werden. Dazu können mit einem weiteren Anpassungswerkzeug die Position des Bügelknicks, der Bügelknickwinkel und der Radius des Bügelknicks beeinflusst werden. Die Fassung bleibt davon unbeeinflusst.

[0063] Im Alltag kommt es vor, dass zum Beispiel der Optiker Informationen zur Brillenproduktion benötigt, welche in Form von physischen Objekten anstatt digitalen Daten vorliegen müssen. Dies kann beispielsweise auf die Form der Formlinsenscheibe (auch Formglas) zutreffen, die ein Optiker manchmal nicht in digitaler Form an einen Schleifautomaten übermitteln kann, weil die Form vom Automaten von einem physischen Objekt abgetastet wird. Für solche Zwecke unterstützt das System die Möglichkeit, Herstellungsdaten für physische Schablonen, wie zum Beispiel eine Formlinsenscheibe, zu erzeugen, so dass die Schablone beim Produktionsprozess mitproduziert wird.

[0064] Mit Vorteil umfasst das Polygonmodell ein Modell für eine Schablone, insbesondere für eine Formlinsenscheibe, und der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge umfasst mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung mindestens einer Dimension der Schablone.

[0065] Mit dem Anpassungswerkzeug lässt sich insbesondere der Radius der Formlinsenscheibe anpassen. Einige Fassungsformen benötigen eine Erhöhung des Linsenradius, damit die Korrekturlinse fest in der Fassung sitzt.

[0066] Im Rahmen der Anpassung können alle oder einige der genannten Anpassungswerkzeuge verfügbar sein bzw. eingesetzt werden. Es sind zudem weitere Anpassungswerkzeuge möglich. Beispielsweise kann mit einem weiteren Anpassungswerkzeug die Rundung des Brillenrahmens im unteren Rahmenbereich von Nasenbrücke bis Brillenbacke erhöht werden. Diese ist für die Stabilität von bestimmten Brillenmodellen notwendig.

[0067] Bevorzugt werden die Anpassungsschritte mit den Anpassungswerkzeugen aus dem Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge nach vorgegebenen Regeln und mit vorgegebenen Prioritäten vorgenommen.

[0068] Die vorgegebenen Prioritäten ergeben sich aus einer fest vorgegebenen Reihenfolge und/oder werden in Abhängigkeit von Eingangsparametern durch ein vorgegebenes Entscheidungsschema festgelegt.

[0069] Die Reihenfolge der Anpassungswerkzeuge kann beispielsweise wie folgt vorgegeben werden: Breite der Brücke - Tiefe der Brücke - Rahmengröße - Breite der Brücke im unteren Teil - Modifikation des oberen, inneren Teils der Glasöffnung - Radius Formglas - Basiskurve - Glasnut - Bügelwinkel - Inklination - Rundung Brillenrahmen - Nasenauflage - Bügellänge - Bügelknick. So wird sichergestellt, dass die Auswirkungen eines jeweils nachfolgenden Anpassungsschritts in der entsprechenden Iteration keine (erneuten) Anpassungen mit einem vorher in dieser Iteration bereits genutzten Anpassungswerkzeug erfordern und zwar unabhängig von den erfolgten Anpassungen.

[0070] Bevorzugt umfasst das Verfahren den zusätzlichen Schritt der Definition von Öffnungen zur Anbringung von weiteren Elementen im Polygonmodell. In der Brillenfassung dienen diese Öffnungen insbesondere zur Befestigung eines Scharniers oder den Befestigungselementen eines Metall/Silikon-Nasenpads. Die weiteren Elemente werden mit Vorteil zusammen mit der Brillenfassung simuliert, so dass sich aus dem Anpassungsprozess und der Definition der Öffnungen eine korrekte Ausrichtung und Positionierung der weiteren Elemente bei der zusammengesetzten Brille ergibt.

[0071] In einer bevorzugten Ausführungsform des Anpassungsprozesses des erfindungsgemäßen Verfahrens wird von einem Repertoire an vorgegebenen Polygongrundmodellen ausgegangen. Ist ein Modell einmal im System angelegt, kann es beliebig in den vordefinierten Wertebereichen verändert und angepasst werden. Die Polygonnetztopologie ist so optimiert, dass sie ausreichend viele aber keine unnötigen Punkte, Kanten und Flächen umfasst, um die verfügbaren Brillenmodelle zu repräsentieren und alle benötigten Deformationen abzudecken. Alle Brillengrundmodelle sind symmetrisch. Das bedeutet, zur Vorbereitung eines neuen Modells muss nur eine Seite erstellt werden, die am Ende des Anpassungsprozesses gespiegelt und mit der ursprünglichen Brillenseite verbunden wird. Im Anpassungsprozess können sich dann aber durchaus Asymmetrien ergeben.

[0072] Für das anpassbare Brillenmodell wird zunächst ein Grundmodell mit einer minimalen Anzahl von Polygonnetzelementen zur Repräsentation der jeweiligen Brillenform vorbereitet. Bei diesem Schritt werden die für den nachfolgenden Brillenanpassungsprozess benötigte Polygonnetzgeometrie und alle auf den Elementen des Netzes benötigten Daten erzeugt. Um den Rechenaufwand bei der eigentlichen Anpassung zu minimieren und damit eine Anpassung in Echtzeit zu ermöglichen, findet während der Brillenanpassung keine Erzeugung zusätzlicher Polygonnetzelemente statt. Der Anpassungsprozess erfolgt durch Deformation, mit Hilfe der Anpassungswerkzeuge.

[0073] Nach der Abfolge der oben erwähnten Anpassungsschritte werden die Kanten der Brille verrundet. Die Verrundung findet abhängig vom Winkel der angrenzenden Flächen der zu verrundenden Kanten statt. Anschließend wird das Brillenmodell so positioniert, dass die untere, hintere Kante der Nasenbrücke auf dem Weltkoordinatenursprung liegt.

[0074] Gestützt auf das angepasste Polygonmodell lassen sich nun Bilddaten erzeugen, die die Brillenfassung gemäß dem angepassten Modell repräsentieren und die der Ansicht des Kopfes des zukünftigen Trägers überlagert werden.

[0075] Der beschriebene Anpassungsprozess erfolgt in einem Bruchteil einer Sekunde, wodurch das flüssige Arbeiten in Echtzeit mit dem System ermöglicht wird. Da alle Grundmodelle denselben Parametrisierungs- und Anpassungsprozess durchlaufen, kann bei gleichbleibenden Maßbrillenparametern das Grundmodell ausgetauscht werden, wodurch ein neues, angepasstes Brillenmodell mit denselben Maßbrillenparametern entsteht. Dies ermöglicht es, auf Basis der Kundendaten mehrere maßangepasste Brillen quasi-simultan zu simulieren und virtuell anzuprobieren.

[0076] Wenn - gegebenenfalls nach mehreren Iterationen - ein Modell für die Produktion akzeptiert ist, wird dieses mit zusätzlichen Elementen ergänzt, z. B. mit Hohlräumen in der Brillenfront und in den Bügeln zur Aufnahme der Scharniere und mit eingeformten Merkmalen wie Markenlogos oder Dekorationen sowie Seriennummern. Parallel zur Brille und zum Formglas können Daten zur Herstellung eines so genannten Clip-Ons erzeugt werden. Dabei handelt es sich um eine Brillenglasaufnahme zur Aufnahme von Sonnenschutzgläsern, deren flächige Geometrie derjenigen der Linsengläser entspricht.

[0077] Der Clip-On mit den Sonnenschutzgläsern kann später bei Bedarf außen auf die Brille aufgeclippt werden. Weiter können Daten zur Herstellung eines Tags erzeugt werden. Dieser weist den Bauteilen der Brille eine eindeutige Nummer zu. Der Tag und die Bauteile können später in einer gemeinsamen Verpackung verpackt oder mittels eines Verbindungsmittels miteinander verbunden werden.

[0078] Erst jetzt wird die Dichte des Polygonnetzes durch Einsatz eines „Catmull-Clark Subdivision“-Algorithmus wieder erhöht und folglich die Netztopologie geändert.

[0079] Die oben beschriebenen Anpassungsfunktionen sind so definiert, dass die Brillengeometrie angepasst werden kann, ohne das Design der Form merklich zu ändern. Es bleiben alle wichtigen Proportionen des Brillenmodells erhalten und Bereiche wie die Brillenbacke bleiben trotz Transformation unverändert.

Zur Erhöhung der Flexibilität und zum Einsatz mit weiteren Brillenmodellen (z. B. mit stark gekrümmter Basiskurve) können weitere bzw. andere Anpassungswerkzeuge zur Verfügung gestellt werden.

[0080] Des Weiteren ist der vorstehend beschriebene Prozess für die Produktion mittels Materialien mit homogenen Materialeigenschaften optimiert, z. B. den 3D-Druck mit einem Material.

[0081] Ein bevorzugtes Verfahren zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person umfasst folgende Schritte:

a) gestützt auf Modelldaten der herzustellenden Brille automatisches Bereitstellen erster Ausgangsdaten zur Ansteuerung einer Vorrichtung zur additiven Herstellung, wobei die ersten Ausgangsdaten mindestens ein Element einer Fassung der herzustellenden Brille repräsentieren;

b) gestützt auf die Modelldaten automatisches Bereitstellen zweiter Ausgangsdaten zur Ansteuerung einer Schleifvorrichtung, wobei die zweiten Ausgangsdaten Brillengläser der herzustellenden Brille repräsentieren.

[0082] Die Modelldaten können - wie vorstehend beschrieben - automatisch, gestützt auf dreidimensionale Daten und die Anpassung eines Polygonmodells, erzeugt werden, es sind aber auch andere Verfahren zum Generieren der Modelldaten anwendbar.

[0083] Das Bereitstellen von Ausgangsdaten sowohl für die Fassung als auch für die Brillengläser ermöglicht eine effiziente und prozesssichere Herstellung der gesamten Brille. Die verschiedenen Ausgangsdaten werden an entsprechende Fertiger übermittelt, wobei je nach Komplexität der Modelldaten bzw. der generierten Ausgangsdaten verschiedene Fertiger beauftragt werden können. Beispielsweise kann es notwendig sein, zur simultanen additiven Herstellung einer Brillenfassung aus mehreren Materialien oder aus einem besonderen Material einen spezifischen Fertiger zu nutzen, welcher die entsprechenden Prozesse durchführen kann. Ebenso kann es notwendig sein, beispielsweise für Gleitsichtgläser oder gar Freiformgläser andere Fertiger zu nutzen als für Einstärkengläser.

[0084] Ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung einer Brille für eine Person umfasst entsprechend folgende Schritte

a) Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille, mit dem vorstehend beschriebenen Verfahren;

b) Senden der ersten Ausgangsdaten an einen ersten Empfänger zur Herstellung des mindestens einen Elements der Fassung der herzustellenden Brille;

c) Senden der zweiten Ausgangsdaten an einen zweiten Empfänger zur Herstellung der Brillengläser der herzustellenden Brille;

d) Senden eines Auftrags an einen dritten Empfänger zum Zusammensetzen des mindestens einen Elements der Fassung mit den Brillengläsern.

[0085] Die ersten Ausgangsdaten definieren die Geometrie der Brillenfassung (oder Teilen davon) und gegebenenfalls von weiteren Elementen, die für die automatische Herstellung geeignet sind. Die zweiten Ausgangsdaten definieren in der Regel geometrische Parameter, die ausreichend sind, um die Brillengläser aus einem Halbfabrikat fertigzustellen.

[0086] Je nach Komplexität des Endprodukts und gewählter Arbeitsteilung können weitere Auftragnehmer für weitere Herstellungsschritte oder zusätzliche Montageschritte bzw. für die Verpackung oder den Versand automatisch beauftragt werden.

[0087] Mit Vorteil umfasst das erfindungsgemäße System somit weiter eine Schleifvorrichtung zur Herstellung der Brillengläser der herzustellenden Brille. Die zweiten Ausgangsdaten dienen in diesem Fall zur Ansteuerung einer entsprechenden Schleifmaschine. Es handelt sich dabei bevorzugt um standardisierte OMA-Daten zur Steuerung von Linsenschleifautomaten.

[0088] Alternativ handelt es sich bei den zweiten Ausgangsdaten um Daten zur additiven Fertigung der Brillengläser.

[0089] Mit Vorteil sind mindestens die ersten Ausgangsdaten verschlüsselt, und ein Zugriff auf die ersten Ausgangsdaten durch einen Empfänger ist beschränkt, insbesondere in Bezug auf eine Anzahl von Zugriffen. Dadurch kann verhindert werden, dass der Empfänger das Produkt mehrfach herstellt, ohne den Ersteller entsprechend zu vergüten. Ebenso kann sichergestellt werden, dass eine individuell für einen Träger parametrisierte Maßbrille ein Unikat ist.

[0090] Werden - wie weiter unten beschrieben - Ausgangsdaten zur Herstellung eines lokalen Probe-Drucks, z. B. bei einem Optiker, erzeugt, so stellt die Zugriffsbeschränkung sicher, dass die Daten nicht auch zur Herstellung der endgültigen Fassung genutzt werden können.

[0091] Die Zugriffsbeschränkung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, z. B. durch bekannte DRM-Ansätze oder indem die Daten ausschließlich mit einem Echtzeit-Datenstream zur Verfügung gestellt und eine lokale Speicherung verunmöglicht wird.

[0092] Die Ausgangsdaten können über eine distributed-ledger-Technologie, insbesondere eine Blockchain-Technologie, ausgetauscht und verwaltet werden, beispielsweise gestützt auf eine Hyperledger-Infrastruktur.

[0093] Vorzugsweise umfasst das Verfahren den weiteren Schritt des Bereitstellens dritter Ausgangsdaten zur Ansteuerung einer weiteren Herstellungsvorrichtung. Dies ermöglicht insbesondere die Herstellung von Bauteilen mit einem andersartigen Verfahren, z. B. CNC-Fräsen, mit einem anderen Material oder einem anderen additiven Fertigungsverfahren. Die Bauteile können auch Scharniere, Shields, Sonnengläser, Dekorationselemente (z. B. als Einlagen oder Applikationen), eine Verpackung oder eine Schutzhülle betreffen. Ebenso können die dritten Ausgangsdaten Druck- oder Gravurdaten für Druck- bzw. Gravurprozesse zur Bearbeitung des Produkts selbst oder der Verpackung bzw. Schutzhülle umfassen.

[0094] Entsprechend umfasst das Verfahren zur Herstellung bevorzugt den weiteren Schritt des Sendens der dritten Ausgangsdaten an einen vierten Empfänger zur Herstellung weiterer Elemente der Brille und/oder Zubehör zur Brille.

[0095] Bei einer bevorzugten Ausführungsform codieren die ersten Ausgangsdaten eine additive Herstellung unter Nutzung mehrerer unterschiedlicher Materialien. Die Materialien können sich hinsichtlich Materialparametern, Farben und/oder Zusätzen voneinander unterscheiden. Die unterschiedlichen Materialien können bevorzugt in demselben additiven Fertigungsverfahren zum Einsatz gelangen. Dies ermöglicht die Produktion von homogenen Objekten „aus einem Guss“, die über heterogene Materialeigenschaften verfügen. Dadurch ist es möglich, zum Beispiel Scharnierlösungen nicht nur auf geometrischer Basis sondern durch Materialverteilung im Objekt zu realisieren. Die Möglichkeiten des Mehrmaterialdrucks können bei der Parametrisierung der Brillenfassung während des Anpassungsprozesses berücksichtigt werden.

[0096] Bevorzugt wird gestützt auf die Modelldaten automatisch ein Zuordnungsschritt durchgeführt, um unterschiedlichen Bereichen der herzustellenden Brille unterschiedliche Materialien zuzuordnen. Dies ermöglicht eine vollautomatische und effiziente Erzeugung der Herstellungsdaten. Analoges gilt für unterschiedliche Herstellungsverfahren: So wird die Fassung mit Vorteil mit den Bügeln und Scharnieren (und gegebenenfalls weiteren Elementen) gemeinsam modelliert, und gestützt auf das letztlich ausgewählte Modell werden die Herstellungsdaten mit der Zuordnung zu unterschiedlichen Fertigungsverfahren und Materialien automatisch erzeugt.

[0097] In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren die folgenden weiteren Schritte:

- Einholen von Offerten von mehreren potenziellen ersten Empfängern, potenziellen zweiten Empfängern und/oder potenziellen dritten Empfängern
- Auswahl des ersten Empfängers, des zweiten Empfängers und des dritten Empfängers gestützt auf die eingeholten Offerten.

[0098] Die Offerten können Kosten-, Orts-, Qualitäts- und/oder Zeitangaben umfassen. Anhand dieser Angaben und einer fallweisen Priorisierung kann dann die Auswahl basieren. Die Auswahl kann vollautomatisch oder gestützt auf Eingaben des Kunden erfolgen. Insbesondere bei einer vollautomatischen Auswahl kann diese auf ein an sich bekanntes Auctioning-Verfahren gestützt werden (insbesondere Reverse Auction).

[0099] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems sind die Kamera, das Ausgabegerät und die erste Vorrichtung zur additiven Fertigung örtlich benachbart angeordnet. Der Kunde interagiert mit der Kamera und dem Ausgabegerät (und weiter mit einem Eingabegerät), befindet sich also bei den entsprechenden Komponenten des Systems. „Örtlich benachbart“ bedeutet, dass ein Abstand der Vorrichtung zur additiven Fertigung von diesen Komponenten eine typische Gehdistanz (beispielsweise max. 500 m) nicht überschreitet. Dies ermöglicht die Lieferung des Ergebnisses der additiven Fertigung zum Kunden innert Minuten (z. B. innert maximal 10'), was das Ausprobieren eines Probeexemplars oder die Mitnahme einer fertigen Fassung bzw. Brille während einer einzigen Sitzung ermöglicht.

[0100] Bevorzugt umfasst das System eine zweite Vorrichtung zur additiven Fertigung, welche von der ersten Vorrichtung zur additiven Fertigung räumlich getrennt angeordnet ist, wobei das Datenausgabemodul derart gesteuert ist, dass erste Herstellungsdaten für die Herstellung eines Probeexemplars an die erste Vorrichtung zur additiven Fertigung und zweite Herstellungsdaten für die Herstellung eines endgültigen Elements an die zweite Vorrichtung zur additiven Fertigung übermittelt werden.

[0101] Bei der ersten Vorrichtung zur additiven Fertigung handelt es sich um ein vergleichsweise kostengünstiges Gerät, welches insbesondere bei einem Dienstleister oder dem Kunden selbst angeordnet ist. Bei der zweiten Vorrichtung zur additiven Fertigung handelt es sich um eine aufwendigere Vorrichtung, welche beispielsweise andere Materialien verarbeiten kann und/oder eine höhere Fertigungsqualität ermöglicht. Die ersten Herstellungsdaten bzw. die zweiten Herstellungsdaten unterscheiden sich somit ge-

gebenenfalls in Bezug auf den Detailgehalt oder die spezifische Anpassung an den Druckprozess. Beim Fertigen des endgültigen Elements können zudem weitere Geräte für das Schleifen, Polieren, Einfärben oder Beschichten des additiv gefertigten Bauteils vorhanden sein.

[0102] Es lassen sich somit Probeexemplare in der unmittelbaren Umgebung des Kunden herstellen, ohne dass dort ein aufwendiges Gerät zur additiven Fertigung benötigt wird.

[0103] Grundsätzlich kann der Druck des Probeexemplars, insbesondere wenn dieser innert sehr kurzer Zeit erfolgen kann, die virtuelle Anprobe am Bildschirm ersetzen. Bei einer entsprechenden Variante des Verfahrens bzw. des Systems werden anstelle der überlagerten Bilddaten Herstellungsdaten für das Probeexemplar ausgegeben. Entsprechend muss das System kein Bildausgabemodul umfassen, dessen drittes Verarbeitungsmodul ist aber in der Lage, quasi in Echtzeit die Herstellungsdaten für das Probeexemplar aufzubereiten.

[0104] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Schleifvorrichtung örtlich benachbart zur Kamera, dem Bildausgabemodul und der ersten Vorrichtung zur additiven Fertigung angeordnet, insbesondere in den Räumlichkeiten eines Optikers. Somit kann der Optiker die Brillengläser herstellen und nach Erhalt der Fassung vom entsprechenden Fertiger die Brille fertig montieren. Es ergibt sich eine maximale Wertschöpfung beim beteiligten Optiker. Letzterer kann zudem die finale Qualitätskontrolle wahrnehmen und beim Aushändigen der fertigen Brille an den Kunden prüfen, ob die geometrische und optische Anpassung korrekt sind.

[0105] Andere Anordnungen sind möglich. So ist das Vorhandensein einer Vorrichtung zur additiven Fertigung in der Nähe des Kunden nicht zwingend. Mit Hilfe des virtuellen Anprobierens und aufgrund der fortgeschrittenen Modellierung, gestützt auf ein genaues Abbild des Kopfes des zukünftigen Trägers ist das Anprobieren eines Probeexemplars in der Regel nicht notwendig. Die Brillenfassung und die weiteren Elemente können dann - parallel zu den Brillengläsern - in jeweils geeigneten Herstellungsstätten dezentral hergestellt und an einen Dienstleister zur Montage versandt werden.

[0106] Aus der nachfolgenden Detailbeschreibung und der Gesamtheit der Patentansprüche ergeben sich weitere vorteilhafte Ausführungsformen und Merkmalskombinationen der Erfindung.

Figurenliste

[0107] Die zur Erläuterung des Ausführungsbeispiels verwendeten Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Systems zur Herstellung einer Maßbrille;

Fig. 2 ein Flussdiagramm zur schematischen Darstellung des Ablaufs eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 3A-F schematische Darstellungen der Orientierungspunkte und der Definition des verwendeten Weltkoordinatensystems;

Fig. 4 eine Darstellung der „BevelEdge“-Gruppe auf dem Polygonnetz;

Fig. 5 eine Darstellung numerischer Werte, die zur Steuerung der Inklination (Pantoscopic Angle) verwendet werden;

Fig. 6 eine schematische Darstellung zweier Grundtopologien für die Brillen-Grundmodelle;

Fig. 7A-D verschiedene Ansichten des Kopfes des Kunden mit virtuell überlagerter Brillenfassung;

Fig. 8 ein Flussdiagramm des Parameteranpassungsprozesses; und

Fig. 9-18 Darstellungen der Brillenfassung zur Erläuterung der Parameteranpassungsfunktionen.

[0108] Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0109] Die **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Systems zur Herstellung einer Maßbrille. Dargestellt sind zugunsten einer verbesserten Übersicht nur die Datenverbindungen zwischen den einzelnen Elementen, die physischen Transporte gehen nur aus dem beschreibenden Text hervor.

[0110] Das System umfasst einen Server **100** eines Dienstleisters, der gängige Rechnerhardware umfasst. Funktional umfasst er eine Datenbank **101**, ein Schnittstellenmodul **102** und zumindest die folgenden Funktionsmodule:

- a) ein Verarbeitungsmodul **110** zum Erzeugen von Eingangsdaten aus einem erhaltenen dreidimensionalen Abbild eines Kopfes einer Person;
- b) ein Modellierungsmodul **115** zum Bereitstellen eines Modells für eine Brillenfassung;
- c) ein Anpassungsmodul **120** zum Generieren von Anpassungsdaten und zum Bewirken von Anpassungen am erwähnten Modell;
- d) ein Bildausgabemodul **125** zum Ausgeben von Bilddaten einer Überlagerung des Modells

mit einem oder mehreren Bildern des Kopfes der Person;

e) ein Verarbeitungsmodul **130** zum Generieren von Herstellungsdaten aus dem Modell; und

f) ein Datenausgabemodul **135** zum Ausgeben der Herstellungsdaten.

[0111] Die Module kommunizieren mit der Datenbank **101** und dem Schnittstellenmodul **102**. Ihre Funktionsweise und Interaktion ist weiter unten, im Zusammenhang mit einem erfindungsgemäßen Verfahren, näher beschrieben.

[0112] Das System umfasst einen Rechner **200**, welcher beabstandet vom Server **100** angeordnet ist, beispielsweise in den Geschäftsräumlichkeiten eines Optikers. Der Rechner **200** verfügt über eine Tastatur **201** (und weitere Eingabegeräte) sowie einen Bildschirm **202**. Er ist zudem an eine 3D-fähige Kamera **210** und einen lokalen 3D-Drucker **220** zur Herstellung von Probedrucken angeschlossen. Der Rechner **200** und damit die mit ihm verbundenen Peripheriegeräte kommunizieren mit dem Server **100** über eine geeignete Schnittstelle des Rechners **200**, ein Datennetz (z. B. das Internet, über eine beispielsweise mit TLS gesicherte Verbindung) und das Schnittstellenmodul **102** des Servers **100**. Der Rechner **200** mit Tastatur **201** (bzw. anderem Eingabegerät) und Bildschirm **202** einerseits und die 3D-fähige Kamera **210** können in dasselbe Endgerät, insbesondere einen Tablet-Computer oder ein Smartphone, integriert sein.

[0113] Ebenfalls an den Server **100** über das Schnittstellenmodul **102** angebunden sind mehrere Hersteller **310.1**, **310.2**, **310.3** einer ersten Gruppe, welche über Einrichtungen zur additiven Fertigung verfügen, mehrere Hersteller **320.1**, **320.2**, **320.3** einer zweiten Gruppe, welche über Einrichtung zur Herstellung von Brillengläsern verfügen, mehrere Hersteller **330.1**, **330.2**, **330.3**, welche weitere Fertigungsarbeiten durchführen können, und mehrere Dienstleister **340.1**, **340.2**, **340.3** mit Einrichtungen zum Zusammenbau mehrerer Komponenten einer Brille.

[0114] Die Einrichtungen der verschiedenen Hersteller umfassen - wie beim ersten Hersteller **310.1** der ersten Gruppe und dem ersten Hersteller **320.1** der zweiten Gruppe dargestellt - jeweils über Rechner **311**, **321** mit geeigneten Schnittstellen zur Kommunikation mit dem Schnittstellenmodul **102** des Servers **100** (wiederum bevorzugt über eine gesicherte Internetverbindung) und über entsprechende Fertigungseinrichtungen, z. B. eine Maschine **312** zur additiven Fertigung oder ein Schleifautomat **322** zur Bearbeitung von Linsenrohlingen.

[0115] Die **Fig. 2** stellt den Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch als Flussdiagramm dar. Ein Kunde, welcher eine neue Brille wünscht, begibt sich in die Geschäftsräumlichkeiten des Optikers, dessen Unternehmen in das erfindungsgemäße System integriert ist bzw. mit dem erfindungsgemäßen System zusammenwirkt. Der Optiker ermittelt - wie üblich - die optischen Eigenschaften, welche die Brille aufweisen soll, namentlich in Bezug auf die sphärischen und zylindrischen Korrekturwerte, die Achslage des Zylinders, prismatische Werte und Basislagen sowie Scheitelabstand. Bei Mehrstärkengläsern oder Freiformgläsern müssen weitere Daten erhoben werden.

[0116] Zunächst werden allgemeine Parameter zur gewünschten Brille über den Rechner **200** und die Tastatur **201**, geführt über den Bildschirm **202**, erfasst und zum Server **100** des Dienstleisters weitergeleitet (Schritt **10**). Die allgemeinen Parameter umfassen nebst den Angaben zu den optischen Eigenschaften eine (erste) Auswahl aus verschiedenen Grundmodellen. Diese stehen beim Optiker physisch zur Verfügung, so dass der Kunde sie in die Hand nehmen und testweise aufsetzen kann. Bei vielen Kunden vereinfacht dies später die virtuelle Anprobe, weil der Bezug zwischen der auf einem Bildschirm abgebildeten aufgesetzten Brille und dem repräsentierten physischen Gegenstand viel einfacher gemacht werden kann. Die allgemeinen Parameter umfassen weiter u. a. die Angabe des Materials bzw. der Materialien, der gewünschten Farbe, einer Bügelschrift usw. Es ist ebenfalls möglich, bereits gewisse Präferenzen in Bezug auf die Geometrie der Fassung einzugeben, z. B. eine (relative) Glasgröße oder eine Basiskurve. Der Umfang und die zulässigen Bereiche der anpassbaren Parameter können je nach Grundmodell unterschiedlich sein.

[0117] Als nächstes wird eine dreidimensionale Abbildung des Kopfes des Kunden mit Hilfe der Kamera **210** erfasst (Schritt **12**). Die Abbildung umfasst mindestens das ganze Gesicht, die Stirn mit Haaransatz, die Schläfenregionen und die Ohren. Die dreidimensionalen Bilddaten werden wiederum an den Server **100** übermittelt. Die Erfassung kann mit im Handel erhältlichen Produkten erfolgen, z. B. mit modernen Tabletcomputern oder Smartphones, die über Kameras verfügen, die (in der Regel infrarotgestützt) Tiefeninformationen erfassen können. In der Regel ist es sinnvoll, mehrere Bilder aus unterschiedlichen Blickwinkeln aufzunehmen und diese dann zu einem 3D-Modell zusammenzusetzen. Entsprechende Applikationen und Bibliotheksfunktionen sind verfügbar. Sie können direkt auf dem verwendeten Endgerät zum Ablauf gebracht werden.

[0118] Auf dem Server werden dann im Verarbeitungsmodul **110** erste Eingangsdaten aus den dreidimensionalen Bilddaten erzeugt, indem vorgegebe-

ne Orientierungspunkte anhand einer Bilderkennung identifiziert und deren Position am Kopf des Kunden in der Datenbank **101** abgelegt werden (Schritt **14**). Ergebnis ist ein 3D-Polygonmodell mit zugehöriger Textur.

[0119] Wie in der **Fig. 3A** dargestellt, dienen als Orientierungspunkte insbesondere Elemente des Mundes, der Nase, der Augen, der Augenbrauen, der Ohren und der Gesichtskontur. Die Orientierungspunkte werden zunächst auf dem 2-dimensionalen Abbild identifiziert und dann auf das 3D-Polygonmodells projiziert. Daraus ergeben sich die 3-dimensionalen Ortsinformationen. Mit deren Hilfe kann der Kopf im Raum orientiert werden (Pupillen auf einer Achse, Nasenwurzel an einer festen Position im Raum, etc...). Das Brillenmodell wird in der Folge stets so positioniert, dass die untere Rückseite des Nasenstegs im Weltkoordinatensystem im Koordinatenursprung (**0/0/0**) positioniert ist (**Fig. 3B**). Die Brillenfront ist parallel zur X-Weltachse ausgerichtet (**Fig. 3C**, **Fig. 3E**, **Fig. 3F**). Die Bügel sind parallel zur Z-Weltachse ausgerichtet (**Fig. 3D-F**). Der 3D-Kopfscan wird entsprechend zunächst so rotiert, dass die Orientierungspunkte der Pupillen parallel zur X-Achse ausgerichtet sind (**Fig. 3C**). Danach wird der 3D-Scan so positioniert, dass der Orientierungspunkt der Nasenwurzel auf dem Koordinatenursprung sitzt (**Fig. 3B**). Dann wird die der 3D-Scan um den Orientierungspunkt der Nasenwurzel so rotiert, dass der Orientierungspunkt des Ohrs unterhalb der Brillenbügel liegt (**Fig. 3B**).

[0120] Ebenfalls wird - gestützt auf die vorher erfassten allgemeinen Parameter - im Modellierungsmodul **115** ein Polygonmodell für eine Brillenfassung mit den gewünschten Grundeigenschaften bereitgestellt (Schritt **16**). Dieses Polygonmodell umfasst ein Polygonnetz, also ein Netz aus diskreten Elementen bestehend aus Punkten, Kanten und Polygonflächen. Jedes einzelne Element verfügt über grundlegende Informationen wie Position, Orientierung und angrenzende Nachbarelemente sowie zusätzliche Datenfelder wie Gruppenzugehörigkeit und Attribute, welche die parametrische Form definieren.

[0121] Die Gruppenzugehörigkeit wird automatisch vorgegeben. Es handelt sich um binäre Bitfelder (0: nicht Teil der Gruppe; 1: Teil der Gruppe). In der **Fig. 4** ist als Beispiel die „BevelEdge“-Gruppe auf dem Polygonnetz hervorgehoben, die im späteren Prozess die Verrundung des Polygonnetzes spezifiziert. Die Gruppen dienen als Masken, um im nachfolgenden Anpassungsprozess die Deformationen auf bestimmte Regionen des Polygonnetzes zu beschränken.

[0122] Zusätzlich werden weitere Daten auf die Polygonnetzelemente geschrieben, die zur Steuerung der nachfolgenden Deformationen eingesetzt wer-

den. Die **Fig. 5** zeigt exemplarisch die numerischen Werte, die zur Steuerung der Inklination (Pantoscopic Angle) verwendet werden.

[0123] Für die im Rahmen des dargestellten Systems bereitgestellten Grundmodelle reichen zwei grundlegende Topologien aus, nämlich für Brillen mit einfachem Steg (**Fig. 6A**) und Brillen mit Doppelsteg (**Fig. 6B**). Die Polygonnetztopologien sind so optimiert, dass sie das benötigte Minimum an Punkten, Kanten und Flächen umfassen, um alle Grundmodelle zu repräsentieren und alle benötigten Deformationen im Anpassungsprozess abdecken zu können. Weitere Grundtopologien können ohne Weiteres vorgesehen sein, um weitere Modelle zu parametrisieren. Wechselt der Kunde im Auswahlprozess zwischen Modellen mit verschiedenen Grundtopologien, steht ein Umrechnungsmodul zur Verfügung, um die im neuen Polygonmodell nicht unmittelbar definierten Parameterwerte zu berechnen bzw. zu interpolieren.

[0124] Anhand der Orientierungspunkte wird nach fest definierten Regeln und Parameterprioritäten automatisiert eine Ausgangsparameterkonfiguration erzeugt. Beispielsweise wird die Breite des Brillennasenstegs anhand der Breite der gescannten Nase bestimmt, und die Länge des Bügels wird anhand der Distanz von Nasenwurzel und Anfang der Ohrmuschel berechnet.

[0125] Die Ausgangsparameterkonfiguration bezieht sich auf ein Ausgangsmodell mit einer minimalen Anzahl von Polygonnetzelementen zur Repräsentation der jeweiligen Brillenform. Sie definiert die Polygonnetzgeometrie für den nachfolgenden Anpassungsprozess und beinhaltet alle auf den Elementen des Netzes benötigten Daten.

[0126] Es folgt nun ein Kreisprozess, welcher letztlich zu einem parametrisierten Modell für die Brillenfassung führt, welches den Wünschen des Kunden entspricht.

[0127] Auf die vorhandenen Daten, namentlich die erwähnten Parameter und die dreidimensionale Abbildung samt Orientierungspunkten, wird ein Machine-Learning-Algorithmus angewandt (Schritt **18**). Dieser liefert Anpassungswerte für die nachfolgende Parameteranpassung (Schritt **20**) im Anpassungsmodul **120**, welche weiter unten im Detail beschrieben ist.

[0128] Der Machine-Learning-Algorithmus wurde mit vorhandenen 3D-Scans und zugeordneten, bereits angepassten Maßbrillen trainiert. Die Trainingsdaten werden mit jedem neu angepassten Modell ergänzt, die Daten des ML-Algorithmus periodisch aktualisiert. Mit dem Machine-Learning-Algorithmus werden insbesondere die Orientierungspunkte mit den Maßbrillenparametern korreliert, d. h. das Trai-

nierte kann auf Basis der Orientierungspunkte des Gesichts Parameter für die Maßbrillenkonfiguration voraussagen.

[0129] Durch diesen Prozess können auch Informationen und Statistiken über die Maßbrillenparameter und die entsprechenden Träger gewonnen werden, die Aufschluss über die Anpassungsbedürfnisse des Trägers hinsichtlich seines Alters, Geschlechts, ethnischer Herkunft, etc... geben. Diese Informationen können dann für zukünftiges Brillendesign für spezifische Zielgruppen eingesetzt werden.

[0130] Nach der Anpassung der Parameter, welche zu einem veränderten Modell der Brillenfassung führt, wird dieses - überlagert mit den Bilddaten, welche den Kopf des Kunden zeigen - angezeigt (Schritt **22**). Dazu werden diese überlagerten Bilddaten im Bildausgabemodul **125** des Servers **100** erzeugt und über das Datennetz an den Rechner **200** des Optikers übermittelt. Dort kann das Bild auf dem Bildschirm **202** dargestellt werden (Virtual Try-On), vergleiche **Fig. 7A-D**. Der Kunde erhält somit einen Eindruck vom Sitz und von der ästhetischen Wirkung der zukünftigen Brille. Da die Bilddaten in dreidimensionaler Form vorliegen (und mit Orientierungspunkten versehen sind), kann der Blickwinkel auf die Abbildung ohne Weiteres geändert werden, damit die ästhetische Wirkung umfassend gewürdigt werden kann. Nebst dem Brillengestell kann zusätzlich auch das Brillenglas mit den entsprechenden Reflektionen oder gar den Einflüssen der Brechkraft dargestellt werden.

[0131] Es können mehrere Parameterkonfigurationen bereitgestellt sein, damit verschiedene Modelle bzw. Anpassungen unmittelbar miteinander verglichen werden können. Der Anpassungsprozess kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren in einem Bruchteil einer Sekunde erfolgen, wodurch das Arbeiten in Echtzeit mit dem System möglich wird. Da alle Grundmodelle denselben Parametrisierungs- und Anpassungsprozess durchlaufen, kann bei gleichbleibenden Maßbrillenparametern das Grundmodell ausgetauscht werden, wodurch ein neues, angepasstes Brillenmodell mit denselben Maßbrillenparametern entsteht. Dies ermöglicht es, auf Basis der Kundendaten schnell mehrere maßangepasste Brillen zu simulieren und virtuell anzuprobieren.

[0132] Die Darstellung kann auf dem 3D-Modell erfolgen oder einem Live-Videostream des Kunden überlagert werden. Im zweiten Fall werden dieselben Orientierungspunkte oder ein Subset davon anhand der Videodaten in Echtzeit bestimmt, so dass die virtuelle Brillenfassung korrekt positioniert werden kann und den Bewegung des Kopfes bzw. einem unterschiedlich gewählten Blickwinkel unmittelbar folgt. Zur Erfassung des Live-Videostreams kann die Frontkamera eines Tablet-Computers bzw. Smartphones

verwendet werden. Die Darstellung der Brillenfassung kann entsprechend durch vorhandene „Augmented-Reality“-Funktionen dieses lokalen Endgeräts unterstützt werden.

[0133] Der Kunde bzw. eine betreuende Fachperson des Optikers kann nun mit Hilfe der Tastatur **201** (und/oder weiterer Eingabegeräte) eine Rückmeldung zum derzeitigen Modell abgeben (Schritt **24**). Falls noch weitere Anpassungen notwendig sind, können diese bis zu einem gewissen Grad spezifiziert werden (z. B. indem Schieberegler für die Glasgröße, die Breite des Brückenstegs, des Glasrahmens in verschiedenen Bereichen betätigt werden oder indem ein anderer Brillenmodelltyp aus einer Liste ausgewählt wird). Die neuen Eingangsdaten werden zusammen mit den bereits früher erfassten Daten (sofern diese nicht durch die neuen Daten überschrieben bzw. ersetzt werden) in einem nächsten Schritt des Anpassungsprozesses verarbeitet, d. h. zunächst wird wieder der Machine-Learning-Algorithmus angewandt (Schritt **18**), danach folgen die weiteren beschriebenen Schritte.

[0134] Falls nach Anzeige der überlagerten Abbildung keine weiteren Anpassungen notwendig sind und der Kunde bzw. sein betreuender Dienstleister das derzeitige Modell provisorisch akzeptieren (Entscheidung **26**), werden im Verarbeitungsmodul **130** Herstellungsdaten für ein Testexemplar bereitgestellt und zum Rechner **200** des Optikers übermittelt.

[0135] Dies schließt die Generierung eines so genannten Tags ein, eines Elements, das bei der Produktion mitgefertigt wird und der Brille ihre eindeutige Identifikation zuweist. Zudem wird für jede Brille das Formglas erstellt. Des Weiteren kann auf Wunsch eine sogenannter Clip-On erzeugt werden, eine Fläche die frontal auf die Brillenfront passt und über die gleichen Linsenglasöffnungen verfügt. Der Clip-On wird mit abdunkelnden Sonnengläsern versehen und kann später auf die Brille mittels Haken aufgeclippt werden. Formscheibe, Clip-On sowie Tag werden der Brille in der Fabrikation mittels Öse angehängt. Zudem wird die eindeutige Identifikation in Form von dreidimensionaler Geometrie in die Bügel projiziert. Ebenso werden die Hohlräume für die Scharniere in die Bügel und die Brillenfront projiziert, wobei in der Regel zusätzliche Polygonnetzelemente erzeugt werden. Ebenso wird nun die Dichte des Polygonnetzes mittels Calmull-Clark Subdivision Algorithmus erhöht, wodurch die Oberflächen der Brille geglättet werden. Erst in dieser Phase wird also die Netztopologie verändert.

[0136] Dort wird das Testexemplar mit dem lokalen 3D-Drucker **220** in wenigen Minuten hergestellt (Schritt **28**). Es handelt sich um ein Exemplar der Brillenfassung mit der exakten Geometrie, allerdings oh-

ne Oberflächen-Finishing und gegebenenfalls aus einem anderen Material.

[0137] Nach der Anprobe des Testexemplars kann der Kunde bzw. die betreuende Fachperson wiederum eine Rückmeldung abgeben, ob das Modell passt oder ob noch weitere Anpassungen notwendig sind (Schritt **30**). Im zweiten Fall (Entscheidung **32**) werden diese neuen Informationen wiederum in den Kreisprozess zurückgespeist, es folgt ein nächster Schritt der Anwendung des Machine-Learning-Algorithmus (Schritt **18**) - wiederum angewandt auf das Polygonmodell ohne Glättung, d. h. mit dem Polygonmodell geringerer Dichte. Im ersten Fall erfolgt nun im Verarbeitungsmodul **130** ein Zuordnungsschritt (Schritt **34**), wobei alle Elemente der modellierten Brillenfassung einem Material und Herstellungsprozess zugeordnet werden. Entsprechend werden verschiedene Sets von Herstellungsdaten erzeugt (Schritt **36**), wiederum inklusive Generierung des Tags und weiterer Elemente sowie einer Glättung mittels Calmull-Clark Subdivision. Daraus und aus den bereits vorher vom Optiker eingespeisten optischen Daten für die Brillengläser ergeben sich die notwendigen Arbeiten für die Herstellung der kompletten Brille.

[0138] Entsprechend erfolgt nun ein Auctioning-Prozess (Schritt **38**), wobei der Server **100** über entsprechende Software-Schnittstellen (API) Rechner der Hersteller **310.1**, **310.2**, **310.3** der ersten Gruppe zur additiven Fertigung der Brillenfassung, der Hersteller **320.1**, **320.2**, **320.3** der zweiten Gruppe zum Schleifen der Brillengläser, der Hersteller **330.1**, **330.2**, **330.3** der dritten Gruppe zum Herstellen weiterer Elemente (insbesondere Scharniere, separate Metallstege mit Silikonnasenpads zur Befestigung an der Nasenbrücke usw.) und der Dienstleister **340.1**, **340.2**, **340.3** zum Zusammenbau der Komponenten kontaktiert und eine Dienstleistungsauktion (Reverse Auction) durchführt, um mehrere Offerten mit unterschiedlicher Gewichtung (namentlich in Bezug auf die Fertigungszeit und den Fertigungspreis) zu erzeugen.

[0139] Der Kunde kann nun - wiederum über den Rechner **200** des Optikers - die bevorzugte Offerte auswählen (Schritt **40**). Anschließend werden die Herstellungsdaten für die Gläser an den entsprechenden Hersteller **320.1** ausgegeben (Schritt **42**) und die Herstellungsdaten für die Brillenfassung (Brillenfront, Bügel) sowie für die weiteren Bestandteile (Scharniere etc.) und der Auftrag für den Zusammenbau mit den notwendigen Angaben an die entsprechenden Hersteller **310.1**, **330.1** bzw. Dienstleister **340.1** übermittelt (Schritt **44**).

[0140] Das erfindungsgemäße System kann für die additive oder subtraktive Fertigung das 3D-Polygonmodell in industrietytischen Formaten zur Speiche-

nung von Polygonnetzen wie zum Beispiel STL, OBJ, PLY speichern. Darüber hinaus kann das System aber auch aus dem Polygonmodell Splineskurven und -flächen generieren und exportieren, die für Produktionssystem geeignet sind, die derartige Repräsentationsmodelle für Objekte benötigen. Darüber hinaus ist es auch möglich, neben der Repräsentation des 3D-Modells, direkt Instruktionsdatensätze zur Fertigung des 3D-Modells auszuspielen, im Fall der Steuerung von 3D-Druckern oder Fräsen maschinenspezifisch erzeugter G-Code. Für die Herstellung der Linsenscheiben kann das System standardisierte OMA-Daten zur Steuerung von Linsenschleifautomaten ausgeben. Die verschiedenen Exportmöglichkeiten ermöglichen es, Brillen in unterschiedlichen Materialien, die unterschiedliche Produktionsverfahren und daher unterschiedliche Datenaustauschformate benötigen, herzustellen.

[0141] Die Herstellungsdaten werden in der Regel verschlüsselt und mit einer Zugriffsbeschränkung versehen. So kann zum einen sichergestellt werden, dass keine unbefugten Dritte diese Daten nutzen können, zum anderen kann ein Vergütungsmodell etabliert werden, bei welchem die einzelnen Herstellungsvorgänge der gleichen Brillenfassung einzeln in Rechnung gestellt werden.

[0142] Im Alltag kommt es vor, dass zum Beispiel der Optiker Informationen zur Brillenproduktion benötigt, die in Form von physischen Objekten anstatt digitalen Daten vorliegen muss. Ein solches Beispiel ist die Form der Linsenscheibe, die ein Optiker manchmal nicht in digitaler Form an einen Schleifautomaten übermitteln kann, weil die Form vom Automaten von einem physischen Objekt abgetastet werden muss. Für solche Zwecke unterstützt das System die Möglichkeit, physische Schablonen wie zum Beispiel eine Formlinsenscheibe auszuspielen, die beim Produktionsprozess mitproduziert wird. Des Weiteren können vom System automatisiert bemaßte Technische Zeichnungen ausgegeben werden, die den Anpassungsprozess dokumentieren und den Produktionsprozess unterstützen.

[0143] Die Hersteller **310.1**, **320.1**, **330.1** stellen die beauftragten Komponenten her, gegebenenfalls mit der eigentlichen Herstellung nachgeordneten Prozessen wie Färben, Schleifen oder Beschichten, und senden diese an den Dienstleister **340.1**. Dort werden sie zusammengebaut und schließlich an den Optiker versandt. Dort kann dann die Anprobe der fertigen Brille stattfinden. Da sie auf Basis der 3D-Vermessung nach Maß hergestellt wurde, besteht in der Regel kein weiterer Anpassungsbedarf. Allenfalls werden gängige Anpassungsschritte (z. B. in Bezug auf die Form der Ohrbügel) noch vom Optiker vorgenommen. Außerdem werden die Korrektoreigenschaften der Linsengläser in Bezug auf die Augen des Kunden überprüft.

[0144] Der Datenaustausch kann vollständig über eine vom Dienstleister auf dem Server **100** betriebene Plattform erfolgen, auf welche alle beteiligten Parteien (Mitarbeiter des Dienstleisters, Kunde, Optiker, Hersteller, Montagedienstleister, Logistikunternehmen usw.) zugreifen können. Es sind jeweils nur diejenigen Daten zum Lese- bzw. Schreibzugriff freigegeben, welche die jeweilige Partei benötigt. Der Zugriff kann beispielsweise über APIs, Applikationen (Apps) oder Internet-Browser erfolgen. Die Daten können über eine Blockchain-Infrastruktur verfügbar gemacht werden.

[0145] Die Plattform ermöglicht grundsätzlich auch spätere Zugriffe, so dass bei einem Verlust oder einer Beschädigung einer Brille die benötigten Komponenten automatisiert nachbestellt werden können.

[0146] Jedem Auftrag (und den resultierenden Teilaufträgen) werden eindeutige Identifikationsangaben zugeordnet. Die physisch gefertigten Komponenten werden mit diesen Angaben gekennzeichnet, z. B. durch eine entsprechende Gravur, einen Aufdruck, einen maschinenlesbaren Tag (RFID-Tag) oder eine Etikette.

[0147] Die erwähnte Parameteranpassung (Schritt **20**) wird im Folgenden beschrieben. Der Anpassungsprozess erfolgt durch eine Abfolge von definierten Funktionen, die die Deformation des Brillenmodells für eine bestimmte Parameteränderung berechnen. Die Polygonnetztopologien sind so definiert, dass für alle Grundmodelle dieselben Anpassungsschritte durchlaufen werden.

[0148] Zur Berechnung der Deformation wird die Position der Elemente des Polygonnetzes gelesen, durch eine Funktion deformiert und dann wieder gespeichert. Zur Berechnung der jeweiligen Deformation werden die pro Polygonnetzelement (Punkt, Kante, Polygonfläche) gespeicherten Attribute mit einbezogen. Damit der Prozess zur eigentlichen Anpassung einer Maßbrille echtzeitfähig ist, findet während der Brillenanpassung keine Erzeugung zusätzlicher Polygonnetzelemente statt. Der Anpassungsprozess erfolgt ausschließlich durch Deformation. Erst zum Generieren der Herstellungsdaten wird die Dichte des Polygonnetzes - wie weiter unten beschrieben - erhöht.

[0149] Alle nachfolgend diskutierten Parameter - bis auf die Inklination und gewisse Maße des Bügels - sind relative Werte in Millimeter und Winkel (Grad), die sich auf die Modellmaße der Standardbrillenmodelle beziehen. Selbstverständlich muss nicht in jedem der Schritte zwingend eine Änderung der Parameter des Polygonmodells erfolgen. Der entsprechende Anpassungswert kann Null sein.

[0150] Der Ablauf der Parameteranpassung ist im Flussdiagramm gemäß **Fig. 8** schematisch dargestellt. Zunächst wird im Schritt **20.1** die Brückenbreite angepasst (**Fig. 9**). Dabei wird die Nasenbrücke **51** in der Breite erhöht oder verringert. Die Stärke des Rahmens **50** ändert sich dabei nicht. Die gesamte Breite der Rahmenfront vergrößert oder verringert sich um den Betrag der Änderung der Nasenbrücke **51**.

[0151] Im nächsten Schritt **20.2** wird die Tiefe der Nasenbrücke **51** erhöht oder verringert (**Fig. 10**). Dabei wird die übrige Stärke des Rahmens nicht verändert.

[0152] Als nächstes wird die Glasbreite erhöht oder verringert (Schritt **20.3**; **Fig. 11**). Die gesamte Brillenfront passt sich dementsprechend an. Die Glashöhe wird dabei proportional zur Glasbreite angepasst. Die Breite der Nasenbrücke **51** verändert sich nicht, das Design der Brille bleibt erhalten. Zudem kann optional die Stärke des Rahmens **50** in der Tiefe verändert werden.

[0153] Im nachfolgenden Schritt **20.4** wird die Breite der Nasenbrücke **51** im unteren Teil separat erhöht oder verringert (**Fig. 12**). Dadurch verändert sich der Winkel der Nasenauflage **52**. Die gesamte Breite der Nasenbrücke **51** bleibt unverändert und die Breite der Rahmenfront verändert sich dadurch nicht.

[0154] In einem nachfolgenden Schritt **20.5** kann der obere, innere Teil der Glasöffnung des Rahmens **50** um 1 mm nach unten gezogen werden. Dies ist bei einigen Formen für einen besseren Sitz des Glases im Rahmen nötig.

[0155] Der Radius des oben erwähnten Formglases (bzw. Formlinsenscheibe, der Schablone, welche zum Abformen der Glasform für das Zuschneiden der Korrekturlinse dient) kann in einem nächsten Schritt **20.6** erhöht werden. Einige Formen benötigen eine Erhöhung des Formglasradius damit die Korrekturlinse, die auf Basis der Formglasschablone erstellt wird, fester im Brillenrahmen sitzt.

[0156] Im nächsten Schritt **20.7** kann die Basiskurve erhöht oder verringert werden. Die Basiskurve entspricht einer Projektion der Brillenfassung auf eine Kugel mit definierten Radien für die unterschiedlichen Basiskurven. Das Zentrum der Kugel, auf die projiziert wird, ist in der optischen Mitte des Linsenglases positioniert. Aus dieser Position wird die das Zentrum der Basiskurvenkugel um 6° hin zur Z-Achse und 9.5° hin zur Y-Achse gekippt. Dadurch erhält die Brille eine Standardinklination von 9.5° . Die Stärke der Brillenfassung bleibt erhalten. Ebenso bleibt die Breite der Brillenfassung erhalten, da die Projektion durch Scherung der Form in die Tiefe auf die Kugel realisiert ist.

[0157] Die Glasnut, die die Korrekturlinse in der Brillenfassung fixiert, kann ebenfalls angepasst werden (Schritt **20.8**). Die Nut kann sowohl eine runde als auch eine spitze Geometrie aufweisen. Des Weiteren kann die Nuttiefe bestimmt werden.

[0158] Im nächsten Schritt **20.9** wird der Winkel des Bügelaufgangs erhöht (**Fig. 13**). Dabei wird lediglich die Backe **53** der Brillenfassung verändert. Die Brillenfront bleibt unverändert.

[0159] Nun wird die Inklination erhöht oder verringert (Schritt **20.10**). Die Front der Brillenfassung wird dabei um einen Punkt an der Backe **53** der Brillenfassung gedreht (**Fig. 14**). Die Brillenbügel bleiben dadurch unverändert.

[0160] Mit dem nachfolgenden Schritt **20.11** kann die Rundung des Brillenrahmens im unteren Rahmenbereich von Nasenbrücke bis Brillenbacke erhöht werden. Diese ist für die Stabilität von bestimmten Brillenmodellen notwendig.

[0161] Der nachfolgende Schritt **20.12** ermöglicht eine Änderung der Nasenauflage **52** in ihrer Höhe, Tiefe und im Winkel (**Fig. 15-17**). Alle anderen Maße der Brillenfassung werden dadurch nicht beeinflusst. Die Nasenauflage **52** kann auch so verändert werden, dass sich am Rahmen keine Auflage mehr befindet. In diesem Fall werden im unteren Bereich der Nasenbrücke **51** Löcher vorgesehen, die es ermöglichen, nach der Produktion Metallstege mit Silikon-nasenpads anzubringen, wie es bei der klassischen Brillenproduktion üblich ist und wie es von manchen Kunden gewünscht wird.

[0162] Im nächsten Schritt **20.13** kann die Länge des Bügels **54** erhöht oder verringert werden (**Fig. 18**). Die Brillenfassung bleibt davon unbeeinflusst.

[0163] Der Bügel **54** kann am Bügelende abgeknickt werden. Dazu können im Schritt **20.14** die Position des Bügelknicks, der Bügelknickwinkel und der Radius des Bügelknicks beeinflusst werden. Die Brillenfassung bleibt davon unbeeinflusst.

[0164] Im Anschluss an die vorgenannten Schritte **20.1...20.14** werden die Kanten der Brille verrundet (Schritt **20.15**). Die Verrundung findet abhängig vom Winkel der angrenzenden Flächen der zu verrunden den Kanten statt.

[0165] Anschließend wird im Schritt **20.16** das Brillenmodell so positioniert, dass die untere, hintere Kante der Nasenbrücke auf dem Weltkoordinatensprung liegt (vgl. oben und **Fig. 3B**). Aufgrund der vorangegangenen Parameteranpassungen kann eine Anpassung dieser Positionierung notwendig sein.

[0166] Die oben genannten Parameter und Deformationsfunktionen zur Maßbrillen Anpassung sind so gestaltet, dass die Fassung angepasst werden kann, ohne dass das Design der Form merklich geändert wird (eine runde Brille bleibt rund und wird nicht oval etc...). Alle wichtigen Proportionen des Brillenmodells bleiben erhalten und Bereiche wie die Brillenbacke bleiben trotz Transformation unverändert.

[0167] Des Weiteren ist der oben genannte Prozess auf die Produktion mittels Materialien mit homogenen Materialeigenschaften optimiert. Das bedeutet zum Beispiel 3D-Druck mit einem Material.

[0168] Die Erfindung ist nicht auf das dargestellte Ausführungsbeispiel beschränkt. So muss der kundenseitige Prozess nicht zwingend bei einem Optiker oder einer anderen Fachperson stattfinden, sondern kann mit den vorhandenen Endgeräten ohne Weiteres beim Kunden zu Hause oder unterwegs stattfinden. Ein Berater (z. B. ein Optiker oder ein Mitarbeiter des Dienstleisters) kann per Videochat zugeschaltet werden.

[0169] Entsprechend können auch die Rechner und Fertigungsvorrichtungen auf unterschiedlichste Weise lokalisiert sein. So ist ein 3D-Drucker beim Optiker (oder zu Hause beim Kunden) nicht zwingend. Demgegenüber ist es im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens auch möglich, einen kundennahen 3D-Drucker zur Herstellung des Endprodukts einzusetzen. Dieser kann Beispiel, neben einem Schleifautomaten in den Räumlichkeiten des Optikers lokalisiert sein, so dass die Bestandteile direkt beim Optiker gefertigt und von diesem zur fertigen Brille zusammengesetzt werden können. Dabei können weitere Elemente eingesetzt werden, die nicht individuell gefertigt werden müssen, sondern beim Optiker vorgehalten werden (z. B. Scharnierteile).

[0170] Die Verteilung der Verarbeitungsaufgaben auf die verschiedenen Rechner kann sich von derjenigen im Ausführungsbeispiel unterscheiden. So kann beispielsweise das Endgerät, mittels welchem der 3D-Scan vorgenommen wird, auch bereits erste Verarbeitungsschritte, gegebenenfalls inklusive Zuordnung der Orientierungspunkte, durchführen. Dasselbe gilt für das Endgerät, auf welchem die überlagerte Ansicht des Brillenmodells mit dem Kopf des Kunden dargestellt wird (wobei es sich wiederum um dasselbe Endgerät handeln kann, auf welchem beispielsweise eine dedizierte Applikation zur Interaktion mit dem Server abläuft). Bei einer anderen Ausführungsvariante können sämtliche Rechenschritte auf dem Server durchgeführt werden, so dass die lokalen Endgeräte nur zur Datenerfassung und -anzeige dienen (z. B. über ein Browserinterface).

[0171] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung lässt sich auch unabhängig von einem 3D-

Scan einsetzen. Grundsätzlich können die Brillen-Grundmodelle anhand von Messdaten, die beispielsweise von einem Optiker erfasst und in das System eingegeben werden, angepasst werden. Während bei dieser Variante das virtuelle Anprobieren entfällt, kann der Machine-Learning-Algorithmus ohne Weiteres auch in dieser Variante angewandt werden, wenn eine Entsprechung von den Eingangsdaten des ML-Algorithmus (z. B. der Position der Orientierungspunkte) und den Messdaten des Optikers hergestellt werden kann.

[0172] Auch der Anpassungsprozess kann anders gestaltet werden. So kann es sinnvoll sein, für weitere Brillen-Grundmodelle zusätzliche Deformationsmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen, namentlich auch solche, welche die eigentliche Form verändern.

[0173] Wie bereits erwähnt, ist das System zudem grundsätzlich auch für 3D-Fertigungsprozesse geeignet, bei welchen gleichzeitig zwei oder mehr unterschiedliche Materialien verarbeitet werden. Die Zuordnung erfolgt während des entsprechenden Prozessschritts, indem neben der Zuordnung zu einem Produktionsverfahren auch eine Zuordnung zu einem Teilprozess gemacht wird. Dies ermöglicht die Produktion von einstückigen Objekten, die über heterogene, also kontinuierlich sich verändernde, Materialeigenschaften verfügen. Dadurch ist es grundsätzlich möglich zum Beispiel Scharnierlösungen nicht nur auf geometrischer Basis sondern durch Materialverteilung im Objekt zu realisieren.

[0174] Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Erfindung ein Verfahren zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person schafft, welches eine höhere Flexibilität und Kundeninteraktion ermöglicht.

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 9810927 B1 [0003]
- FR 3044430 B1 [0004]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person, umfassend folgende Schritte:

- a) Erfassen mindestens eines dreidimensionalen Abbilds eines Kopfes der Person;
- b) Erzeugen von ersten Eingangsdaten aus dem dreidimensionalen Abbild;
- c) Bereitstellen eines Polygonmodells für mindestens ein Element der herzustellenden Brille;
- d) vollautomatisches Anpassen des Polygonmodells anhand der ersten Eingangsdaten;
- e) Ausgeben von Bilddaten einer Überlagerung des angepassten Polygonmodells mit einer Ansicht des Kopfes der Person; und
- f) Ausgeben der Herstellungsdaten generiert aus dem angepassten Polygonmodell.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Erzeugen der ersten Eingangsdaten mehrere Orientierungspunkte am Kopf der Person identifiziert und deren Position gespeichert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet durch** den weiteren Schritt der manuellen Eingabe von zweiten Eingangsdaten, wobei die zweiten Eingangsdaten beim vollautomatischen Anpassen des Polygonmodells herangezogen werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweiten Eingangsdaten nach dem Ausgeben der Bilddaten eingebbar sind, wonach die Schritte d) und e) in Abhängigkeit der zweiten Eingangsdaten erneut zur Ausführung gelangen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das vollautomatische Anpassen des Polygonmodells auf Verarbeitungsdaten basiert, welche aus den ersten Daten mittels eines auf maschinellem Lernen basierenden Prozesses gewonnen werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der maschinelle Lernprozess auf einer Vielzahl von ersten Eingangsdaten aus dreidimensionalen Abbildern einer Vielzahl von Personen und damit verknüpften angepassten Polygonmodellen basiert.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der maschinelle Lernprozess weiter auf Eigenschaftsdaten der Person basiert, insbesondere einem Alter, einem Geschlecht, einer ethnischen Herkunft und/oder Präferenzangaben der Person.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum vollautomatischen Anpassen des Polygonmodells Anpassungs-

schritte aus einem Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge vorgenommen werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge mindestens ein lokales Anpassungswerkzeug umfasst, dessen Anwendung auf das Polygonmodell nur einen lokalen Bereich des Modells beeinflusst und alle Bereiche außerhalb dieses lokalen Bereichs unbeeinflusst lässt.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9 **dadurch gekennzeichnet**, dass der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung mindestens einer Dimension einer Nasenbrücke der herzustellenden Brille umfasst.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung mindestens einer Gesamtdimension der Brillenfront unter Beibehaltung einer Gesamtform der Brillenfront.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Beeinflussung einer Basislinie umfasst.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung einer Geometrie einer Glasnut zur Aufnahme eines Linsenglases umfasst.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung eines Winkels zwischen einer Brillenfront und einer Backe eines Brillenmittelteils umfasst.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung einer Dimension und/oder Position einer Nasenaufklappung umfasst.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Anpassung einer Dimension und/oder einer Formgebung eines Bügels umfasst.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Polygonmodell ein Modell für eine Schablone, insbesondere für ei-

ne Formlinsenscheibe, wobei der Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge mindestens ein Anpassungswerkzeug zur Änderung mindestens einer Dimension der Schablone umfasst.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anpassungsschritte mit den Anpassungswerkzeugen aus dem Satz vordefinierter Anpassungswerkzeuge nach vorgegebenen Regeln und mit vorgegebenen Prioritäten vorgenommen werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **gekennzeichnet durch** den zusätzlichen Schritt der Definition von Öffnungen zur Anbringung von weiteren Elementen im Polygonmodell.

20. Verfahren zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person, insbesondere nach einem der Ansprüche 1-18, umfassend folgende Schritte:

- a) gestützt auf Modelldaten der herzustellenden Brille automatisches Bereitstellen erster Ausgangsdaten zur Ansteuerung einer Vorrichtung zur additiven Herstellung, wobei die ersten Ausgangsdaten mindestens ein Element einer Fassung der herzustellenden Brille repräsentieren;
- b) gestützt auf die Modelldaten automatisches Bereitstellen zweiter Ausgangsdaten zur Ansteuerung einer Schleifvorrichtung, wobei die zweiten Ausgangsdaten Brillengläser der herzustellenden Brille repräsentieren.

21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens die ersten Ausgangsdaten verschlüsselt sind und dass ein Zugriff auf die ersten Ausgangsdaten durch einen Empfänger beschränkt ist, insbesondere in Bezug auf eine Anzahl von Zugriffen.

22. Verfahren nach Anspruch 20 oder Anspruch 21, **gekennzeichnet durch** den weiteren Schritt des Bereitstellens dritter Ausgangsdaten zur Ansteuerung einer weiteren Herstellungsvorrichtung.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten Ausgangsdaten eine additive Herstellung unter Nutzung mehrerer unterschiedlicher Materialien codieren.

24. Verfahren nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass gestützt auf die Modelldaten automatisch ein Zuordnungsschritt durchgeführt wird, um unterschiedlichen Bereichen der herzustellenden Brille unterschiedliche Materialien zuzuordnen.

25. Verfahren zur Herstellung einer Brille für eine Person, umfassend folgende Schritte:

- a) Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille, mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 24;
- b) Senden der ersten Ausgangsdaten an einen ersten Empfänger zur Herstellung des mindestens einen Elements der Fassung der herzustellenden Brille;
- c) Senden der zweiten Ausgangsdaten an einen zweiten Empfänger zur Herstellung der Brillengläser der herzustellenden Brille;
- d) Senden eines Auftrags an einen dritten Empfänger zum Zusammensetzen des mindestens einen Elements der Fassung mit den Brillengläsern.

26. Verfahren nach Anspruch 25, umfassend den weiteren Schritt des Sendens von dritten Ausgangsdaten an einen vierten Empfänger zur Herstellung weiterer Elemente der Brille und/oder Zubehör zur Brille.

27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, umfassend die folgenden weiteren Schritte:

- Einholen von Offerten von mehreren potenziellen ersten Empfängern, potenziellen zweiten Empfängern und/oder potenziellen dritten Empfängern
- Auswahl des ersten Empfängers, des zweiten Empfängers und des dritten Empfängers gestützt auf die eingeholten Offerten.

28. Computerprogramm, das so angepasst ist, dass es ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 27 ausführt.

29. Speichermedium, umfassend ein Computerprogramm nach Anspruch 28.

30. System zum Generieren von Herstellungsdaten zur Herstellung einer Brille für eine Person, umfassend

- a) eine Kamera zur Aufnahme eines oder mehrerer Bilder eines Kopfes der Person;
- b) ein erstes Verarbeitungsmodul zum Erzeugen eines dreidimensionalen Abbilds des Kopfes aus dem einen oder den mehreren Bildern;
- c) ein zweites Verarbeitungsmodul zum Erzeugen von ersten Eingangsdaten aus dem dreidimensionalen Abbild;
- d) ein Modellierungsmodul zum Bereitstellen eines Modells für mindestens ein Element der herzustellenden Brille;
- e) ein Anpassungsmodul zum automatischen Generieren von Anpassungsdaten für das Modellierungsmodul anhand der ersten Eingangsdaten;
- f) ein Bildausgabemodul zum Ausgeben von Bilddaten einer Überlagerung des Modells mit dem einen oder den mehreren Bildern des Kopfes der Person;
- g) ein Ausgabegerät zum Empfangen und Darstellen der ausgegebenen Bilddaten;
- h) ein drittes Verarbeitungsmodul zum Generieren von Herstellungsdaten aus dem Modell;

i) ein Datenausgabemodul zum Ausgeben der Herstellungsdaten.

31. System zur Herstellung einer Brille für eine Person umfassend das System zum Generieren von Herstellungsdaten nach Anspruch 30 und eine erste Vorrichtung zur additiven Fertigung des mindestens einen Elements der herzustellenden Brille anhand der ausgegebenen Herstellungsdaten.

32. System nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kamera, das Ausgabegerät und die erste Vorrichtung zur additiven Fertigung örtlich benachbart angeordnet sind.

33. System nach Anspruch 32, **gekennzeichnet durch** eine zweite Vorrichtung zur additiven Fertigung, welche von der ersten Vorrichtung zur additiven Fertigung räumlich getrennt angeordnet ist, wobei das Datenausgabemodul derart gesteuert ist, dass erste Herstellungsdaten für die Herstellung eines Probeexemplars an die erste Vorrichtung zur additiven Fertigung und zweite Herstellungsdaten für die Herstellung eines endgültigen Elements an die zweite Vorrichtung zur additiven Fertigung übermittelt werden.

34. System nach einem der Ansprüche 31 bis 33, **gekennzeichnet durch** eine Schleifvorrichtung zur Herstellung der Brillengläser der herzustellenden Brille.

35. System nach den Ansprüchen 32 und 34, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schleifvorrichtung örtlich benachbart zur Kamera, dem Bildausgabemodul und der ersten Vorrichtung zur additiven Fertigung angeordnet ist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

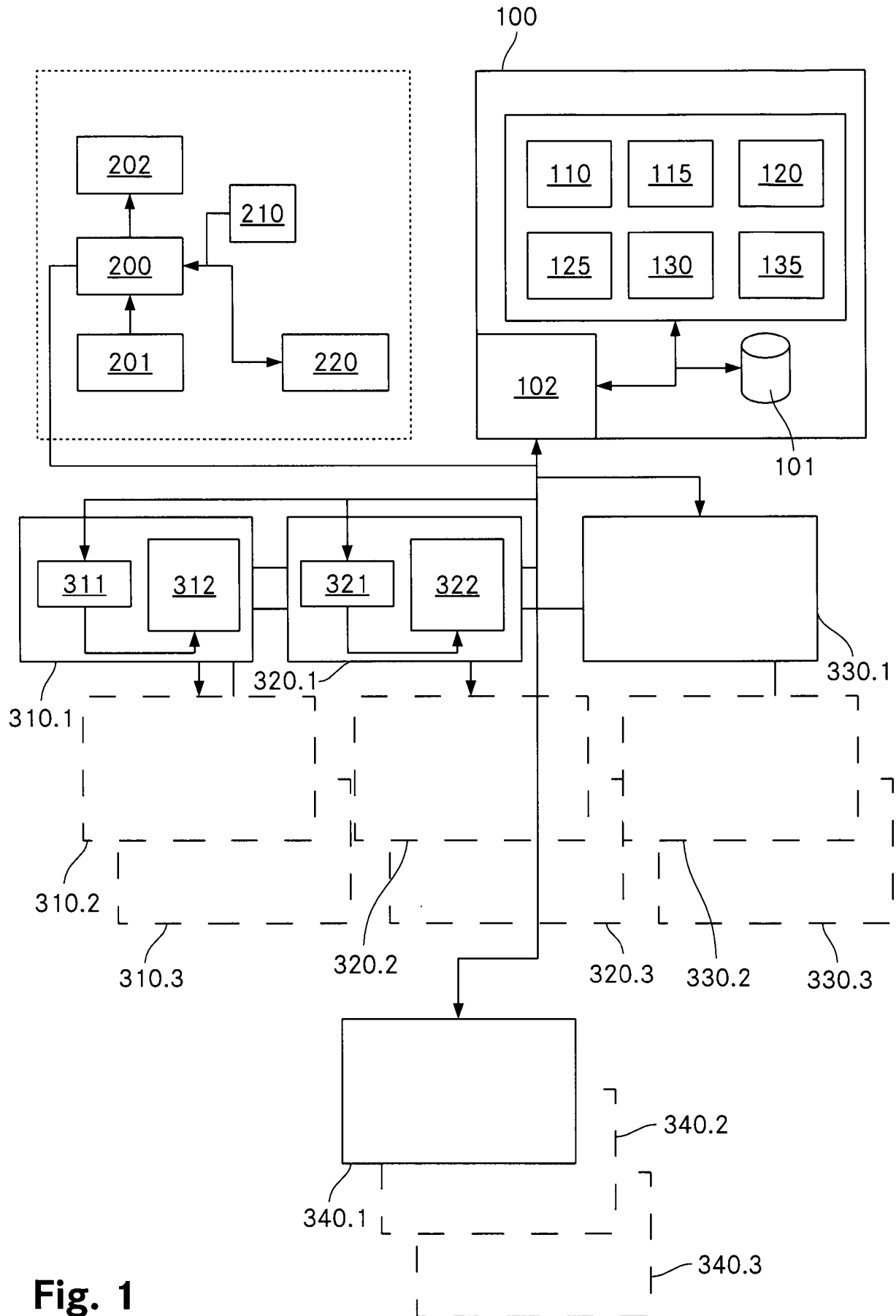
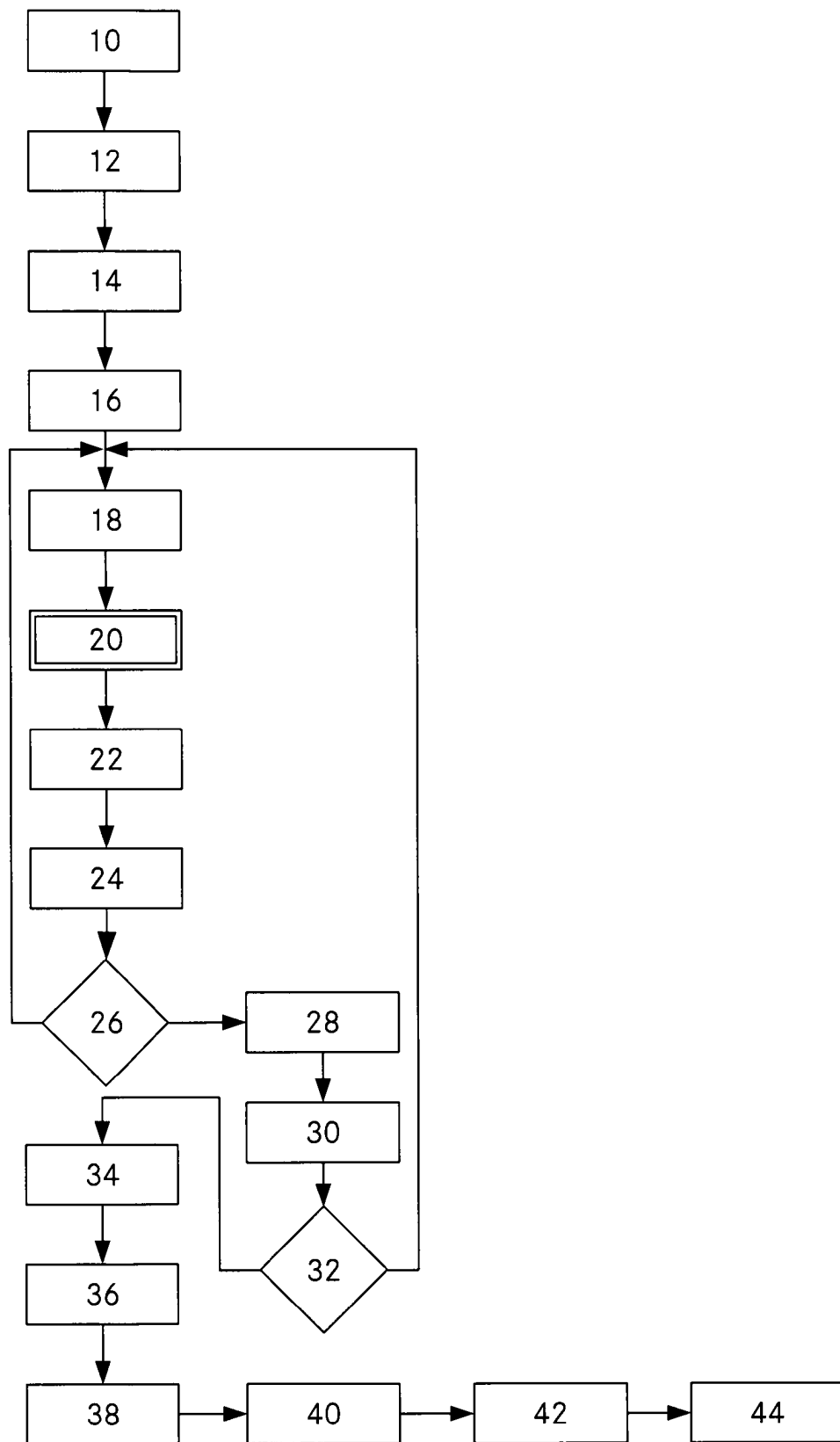


Fig. 1

**Fig. 2**

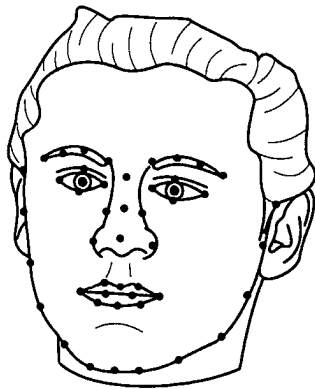


Fig. 3A

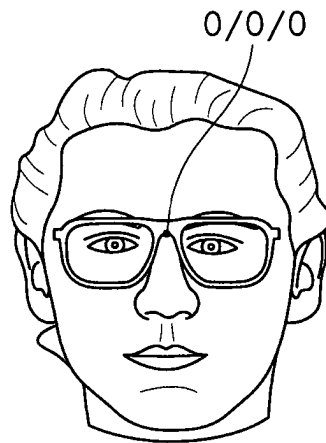


Fig. 3B

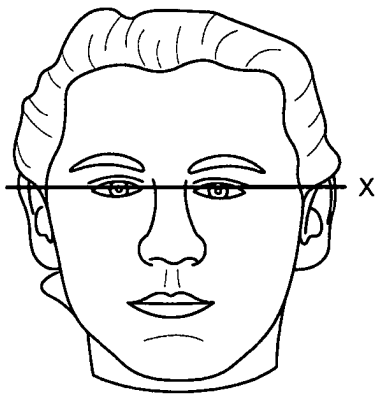


Fig. 3C

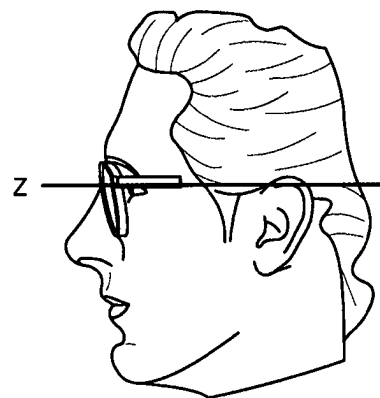


Fig. 3D

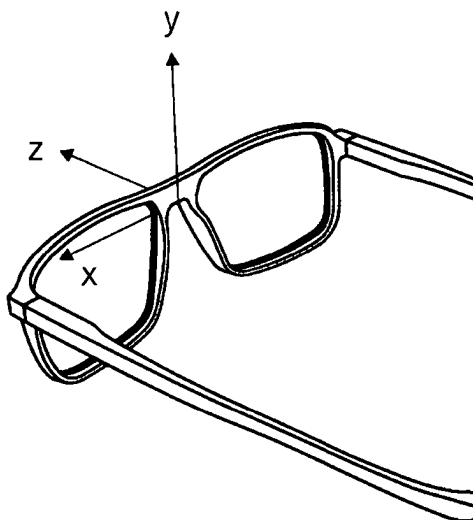


Fig. 3E

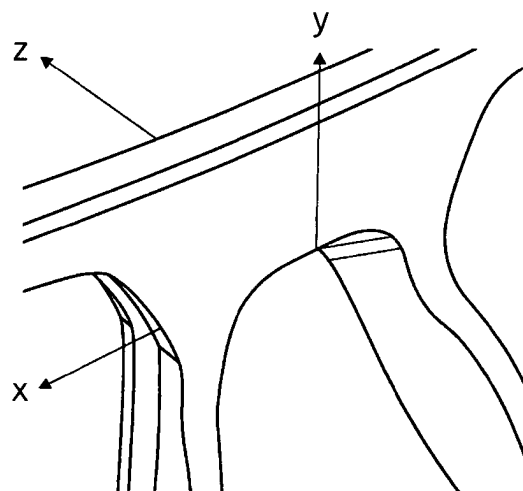


Fig. 3F

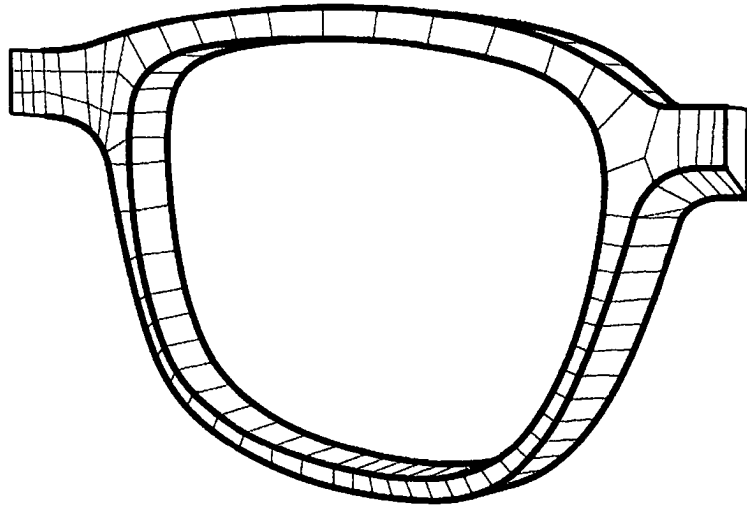


Fig. 4

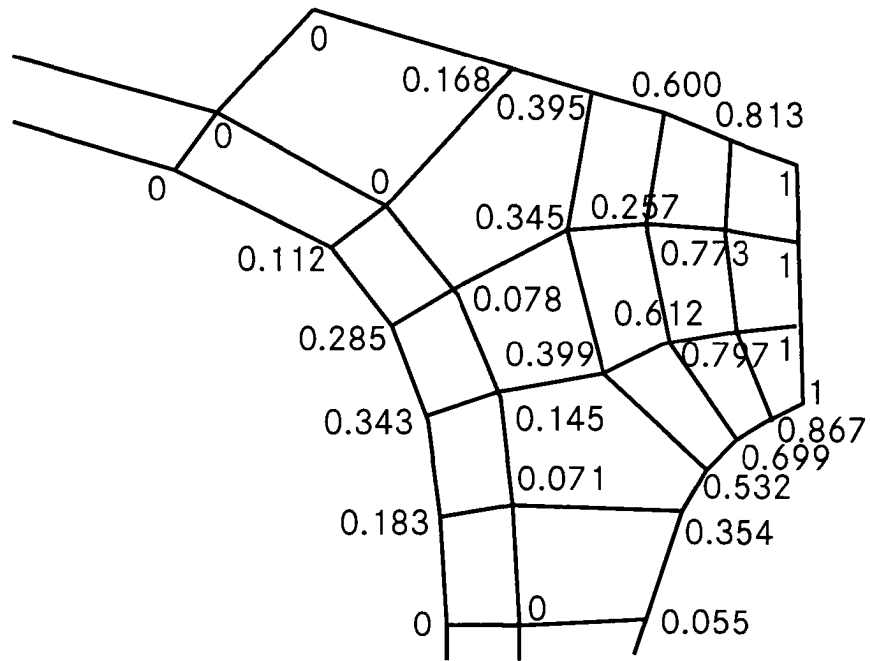


Fig. 5

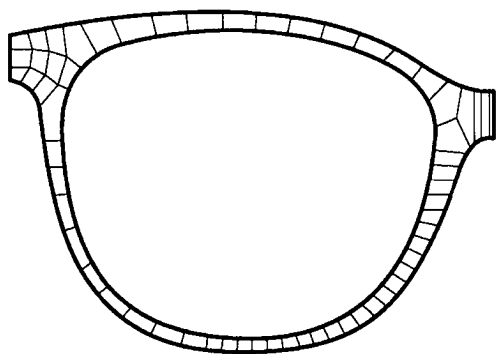


Fig. 6A

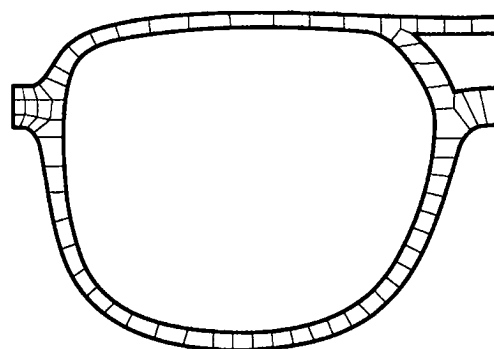


Fig. 6B

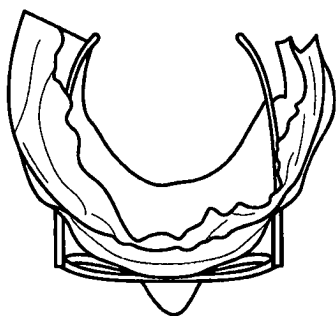


Fig. 7A

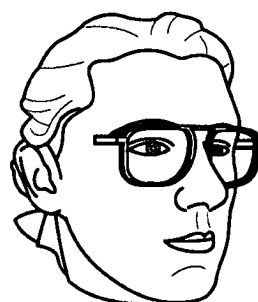


Fig. 7B

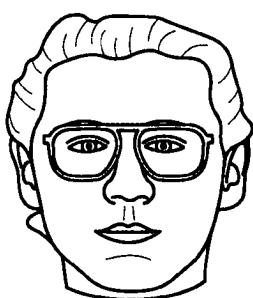


Fig. 7C



Fig. 7D

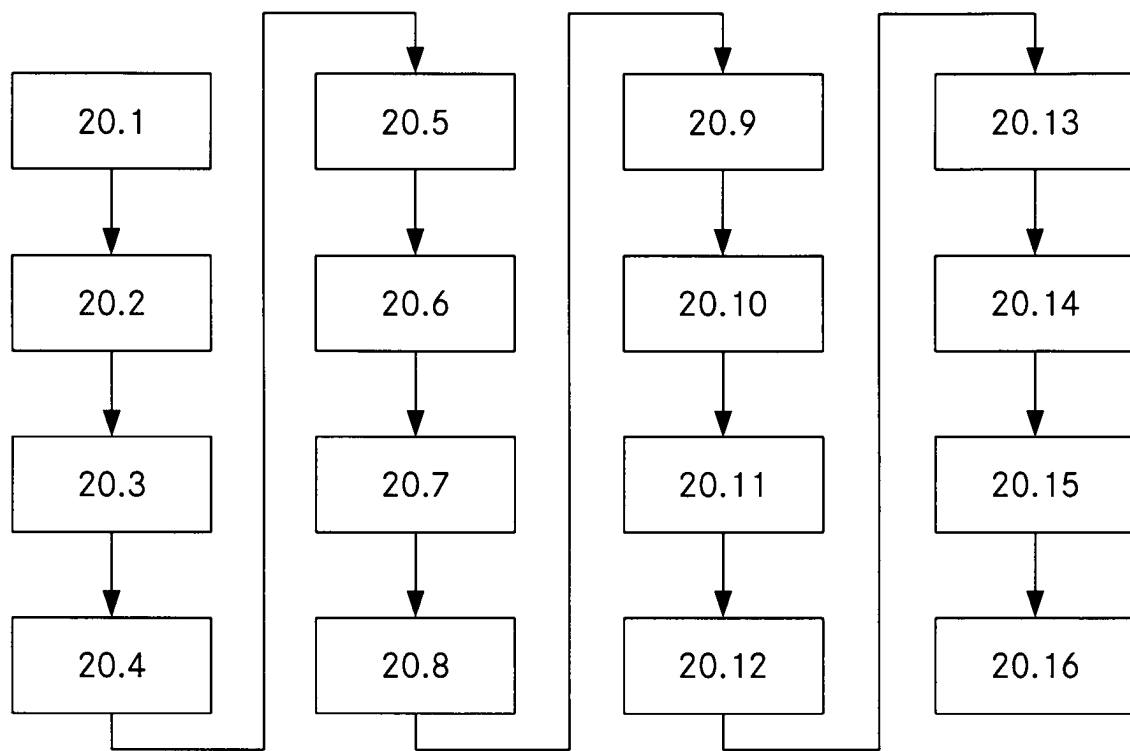


Fig. 8

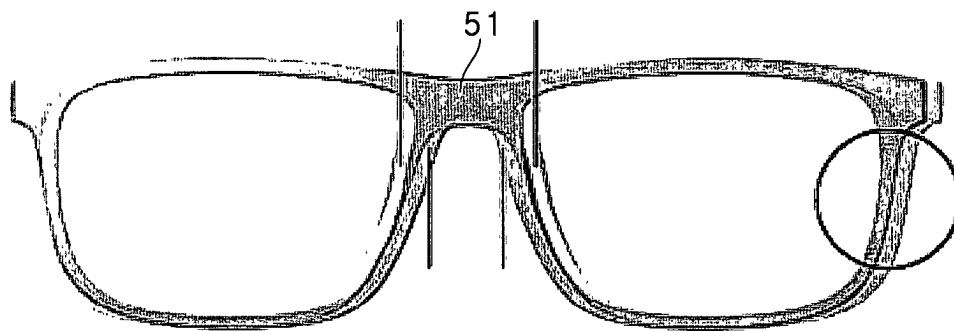


Fig. 9

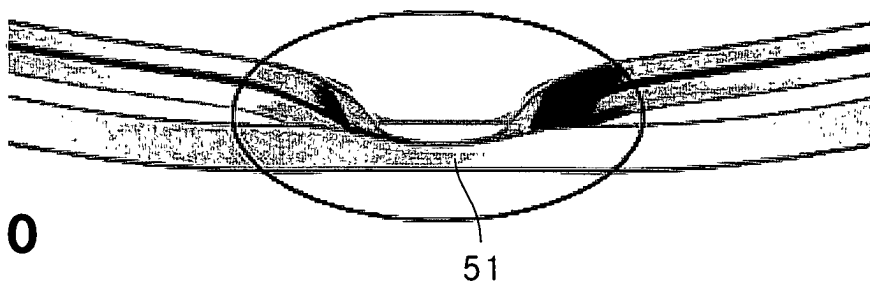


Fig. 10

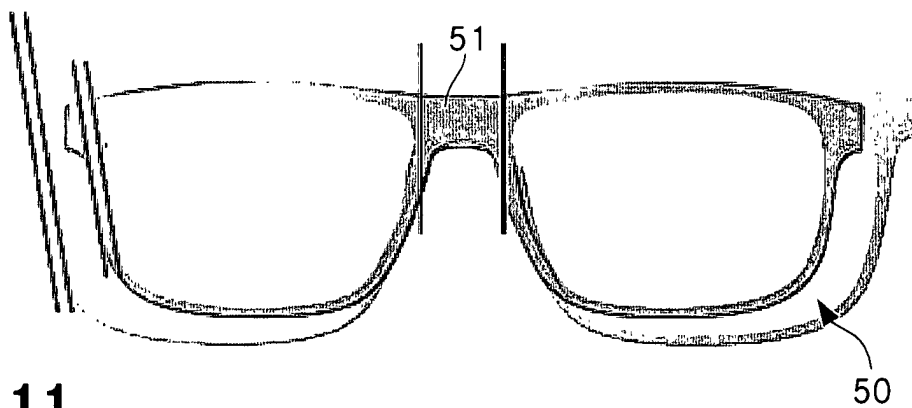


Fig. 11

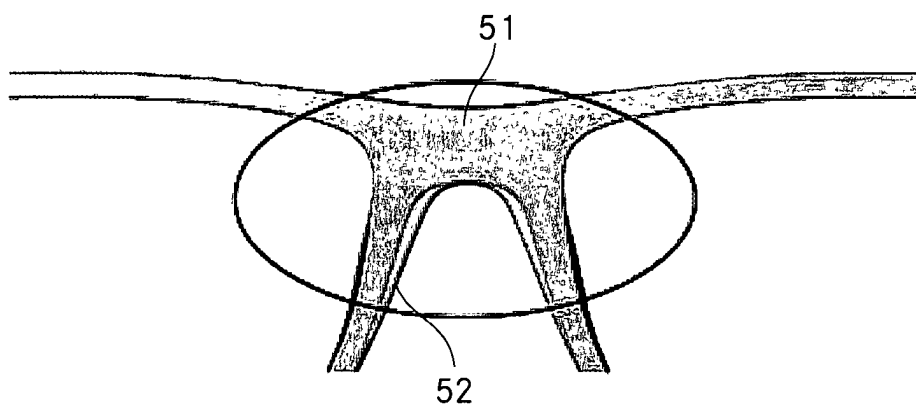


Fig. 12

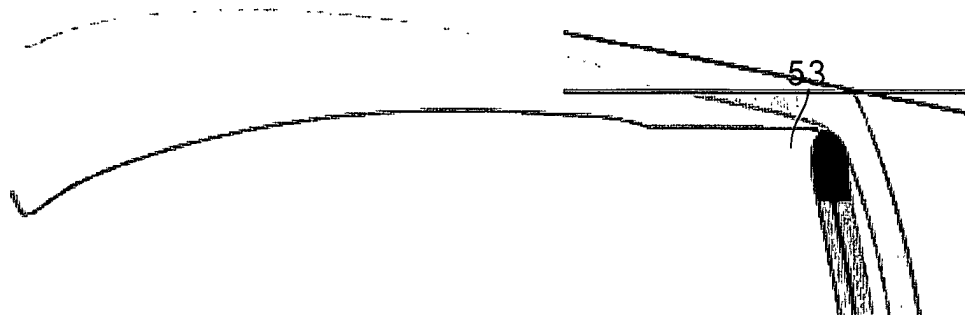


Fig. 13

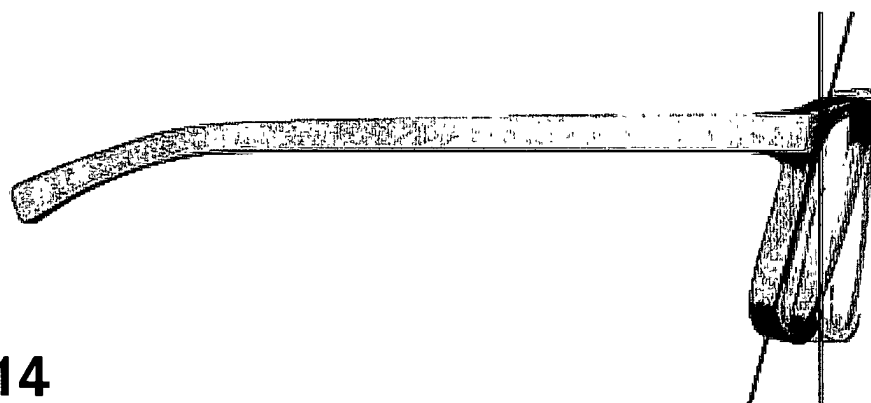


Fig. 14

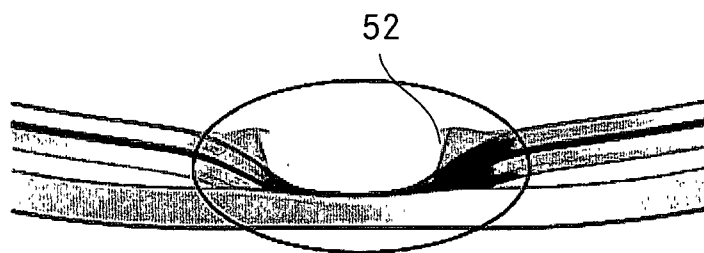


Fig. 15

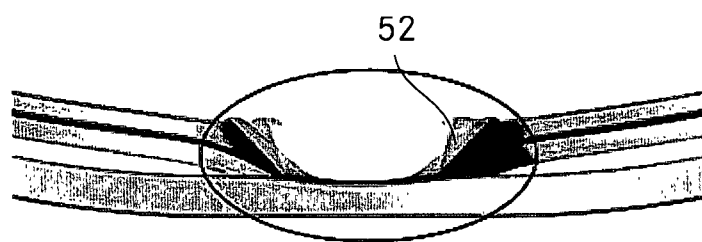


Fig. 16

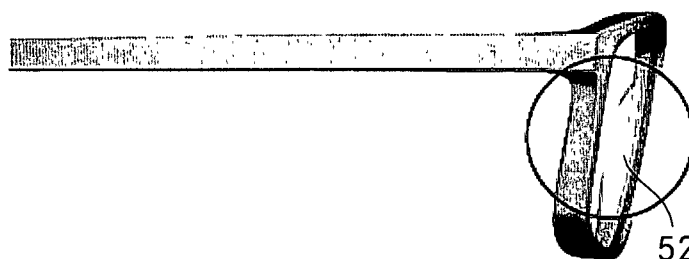


Fig. 17

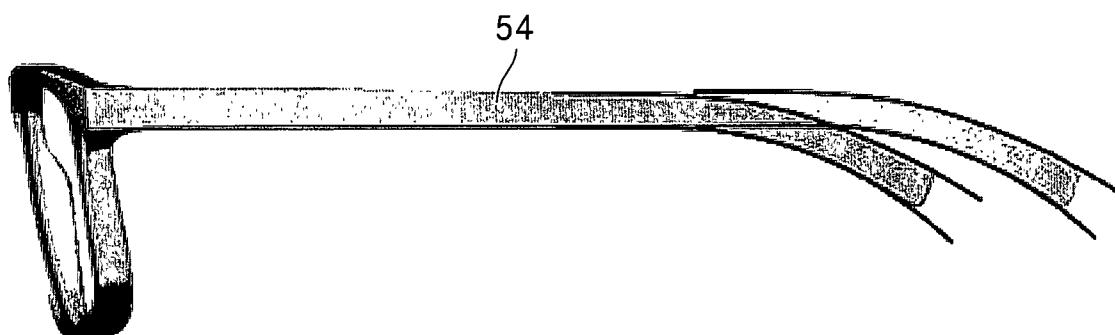


Fig. 18