

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. März 2019 (14.03.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/048499 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G03H 1/08 (2006.01) G03H 1/24 (2006.01)
G03H 1/02 (2006.01) G03H 1/28 (2006.01)
G03H 1/20 (2006.01) G03H 1/26 (2006.01)
G03H 1/10 (2006.01) G03H 1/30 (2006.01)
G03H 1/22 (2006.01) G03H 1/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/073904

(22) Internationales Anmeldedatum:
05. September 2018 (05.09.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 120 536.5
06. September 2017 (06.09.2017) DE

(71) Anmelder: OVD KINEGRAM AG [CH/CH]; Zählerweg
12, 6301 Zug (CH).

(72) Erfinder: MADER, Sebastian; Weinberghöhe 31, 6340
Baar (CH). WALTER, Harald; Einsiedlerstr. 192, 8810
Horgen (CH). FRASCHINA, Corrado; Hirtenhofstraße
16, 6005 Luzern (CH).

(74) Anwalt: ZINSINGER, Norbert; Louis-Pöhlau-Lohrentz,
Postfach 30 55, 90014 Nürnberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A HOLOGRAM, AND SECURITY ELEMENT AND A SECURITY DOCUMENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES HOLOGRAMMS, SOWIE EIN SICHERHEITSELEMENT UND
EIN SICHERHEITSDOKUMENT

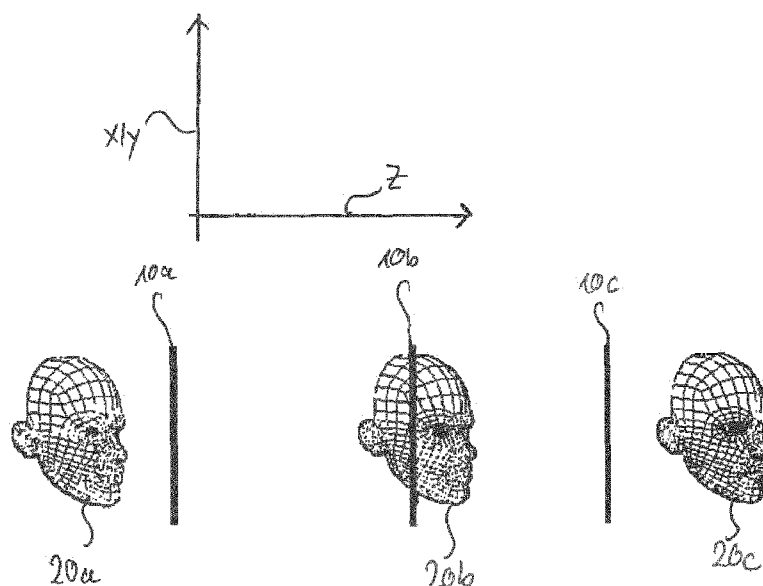


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a hologram (1), in particular a hologram (1) for security elements (1a) and/or security documents (1b). One or more virtual hologram planes (10) are arranged in front of and/or behind one or more virtual models (20) and/or one or more virtual hologram planes (10) are arranged such that they intersect one or more virtual models (20). One or more virtual light sources (30) are arranged on one or more portions of the surface (21) of one or more of the virtual models (20). One or more virtual electromagnetic fields (40) are calculated starting from at least one of the virtual light sources (30) in one or more zones (11) of the one or more virtual hologram planes (10). A virtual total electromagnetic field (41) is calculated in each of the one or more zones (11) on the basis of the sum of two or more, in particular of all of the virtual electromagnetic fields (40) in each zone

NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(11). One or more phase images (50) are calculated from the virtual total electromagnetic fields (41) in the one or more zones (11). An elevation profile (60) of the hologram (1) is calculated from the one or more phase images (50) and the elevation profile (60) of the hologram (1) is incorporated into a substrate (2) in order to provide the hologram (1).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Hologramms (1), insbesondere eines Hologramms (1) für Sicherheitselemente (1a) und/oder Sicherheitsdokumente (1b). Eine oder mehrere virtuelle Hologrammebenen (10) werden vor und/oder hinter ein oder mehreren virtuellen Modellen (20) angeordnet und/oder eine oder mehrere virtuelle Hologrammebenen (10) werden derart angeordnet, dass sie ein oder mehrere virtuelle Modelle (20) schneiden. Auf einem oder mehreren Teilbereichen der Oberfläche (21) einer oder mehrerer der virtuellen Modelle (20) werden ein oder mehrere virtuelle Lichtquellen (30) angeordnet. Ein oder mehrere virtuelle elektromagnetische Felder (40) werden ausgehend von zumindest einer der virtuellen Lichtquellen (30) in ein oder mehreren Zonen (11) der ein oder mehreren virtuellen Hologrammebenen (10) berechnet. In den ein oder mehreren Zonen (11) werden jeweils ein virtuelles elektromagnetisches Gesamtfeld (41) basierend auf der Summe zweier oder mehrerer, insbesondere aller, der virtuellen elektromagnetischen Felder (40) in der jeweiligen Zone (11) berechnet. Ein oder mehrere Phasenbilder (50) werden aus den virtuellen elektromagnetischen Gesamtfeldern (41) in den ein oder mehreren Zonen (11) berechnet. Aus den ein oder mehreren Phasenbildern (50) wird ein Höhenprofil (60) des Hologramms (1) berechnet und das Höhenprofil (60) des Hologramms (1) wird zur Bereitstellung des Hologramms (1) in ein Substrat (2) eingebracht.

5

**Verfahren zur Herstellung eines Hologramms, sowie ein Sicherheitselement
und ein Sicherheitsdokument**

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Hologramms, sowie ein Sicherheitselement und ein Sicherheitsdokument.

15

Zur Erhöhung der Fälschungssicherheit von Sicherheitsdokumenten wie etwa Pässen, Banknoten, Scheckkarten, Visa, Kreditkarten oder Zertifikaten werden optisch variable Sicherheitselemente verwendet. Neben der Erhöhung der Fälschungssicherheit dieser Sicherheitselemente, sind die von den Sicherheitselementen bereitgestellten optisch variablen Effekte von Laien leicht und eindeutig erkennbar, sodass der Laie ohne großen Aufwand die Echtheit eines mit einem derartigen Sicherheitselement ausgestatteten Sicherheitsdokuments bestimmen kann und Manipulationen oder Fälschungen an dem Sicherheitsdokument erkennen kann.

20

25

Als Sicherheitselemente kommen insbesondere diffraktive Strukturen zum Einsatz, beispielsweise Beugungsgitter oder Hologramme.

30

Hologramme werden hierbei üblicherweise mittels holographischer Verfahren hergestellt. Hierzu wird beispielsweise ein dreidimensionales Modell mit einem kohärenten Lichtstrahl beleuchtet und das von dem dreidimensionalen Modell reflektierte Licht mit einem kohärenten Referenzlichtstrahl überlagert und das sich hierdurch bildende Interferenzmuster aufgezeichnet.

Weiter sind Methoden zur Herstellung von Hologrammen bekannt, die sich auf mathematische Berechnungen abstützen. So wird beispielsweise von der EP 0 766 103 B1 ein Verfahren zur Herstellung eines Hologramms beschrieben, bei dem wie folgt vorgegangen wird: Ein oder mehrere Bildvorlagen werden in Teilbereiche, insbesondere streifenförmige Teilbereiche zerlegt. In Abhängigkeit von dem jeweiligen Grauwert dieses Teilbereichs wird ein zugeordnetes Beugungsgitter ermittelt und dann diese ermittelten Beugungsgitter ineinander gerastert, um eine entsprechende holographische Darstellung zu generieren.

Der Nachteil bei derartigen Verfahren besteht jedoch darin, dass durch die Unterteilung in Teilbereiche an deren Übergänge unerwünschte Beugungseffekte auftreten. Weiter ergeben sich auch Einschränkungen bezüglich der mittels derartiger Methoden generierbaren optischen Effekte.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Hologramms bereitzustellen, mit welchem die Manipulationssicherheit und/oder die Fälschungssicherheit des Hologramms verbessert werden kann, sowie ein verbessertes Sicherheitselement und ein verbessertes Sicherheitsdokument bereitzustellen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung eines Hologramms, insbesondere eines Hologramms für Sicherheitselemente und/oder Sicherheitsdokumente. Bei diesem Verfahren wird wie folgt vorgegangen:

- Eine oder mehrere virtuelle Hologrammebenen werden vor und/oder hinter ein oder mehreren virtuellen Modellen angeordnet und/oder eine oder mehrere virtuelle Hologrammebenen werden derart angeordnet, dass sie ein oder mehrere virtuelle Modelle schneiden,

- Auf einem oder mehreren Teilbereichen der Oberfläche einer oder mehrerer der virtuellen Modelle werden eine oder mehrere virtuelle Lichtquellen angeordnet,
- Ein oder mehrere virtuelle elektromagnetische Felder werden ausgehend von
5 zumindest einer der virtuellen Lichtquellen in ein oder mehreren Zonen der einen oder mehreren virtuellen Hologrammebenen berechnet,
- In den ein oder mehreren Zonen wird jeweils ein virtuelles elektromagnetisches Gesamtfeld basierend auf der Summe zweier oder mehrerer, insbesondere aller, der virtuellen elektromagnetischen Felder in der
10 jeweiligen Zone berechnet,
- Ein oder mehrere Phasenbilder werden aus den virtuellen elektromagnetischen Gesamtfeldern in den ein oder mehreren Zonen berechnet,
- Aus den ein oder mehreren Phasenbildern wird ein Höhenprofil des
15 Hologramms berechnet und das Höhenprofil des Hologramms wird zur Bereitstellung des Hologramms in ein Substrat eingebracht.

Weiter wird die Aufgabe gelöst durch ein Sicherheitselement. Das Sicherheitselement weist ein Substrat auf, in welchem das Höhenprofil eines
20 Hologramms eingebracht ist. Das Hologramm ist aus ein oder mehreren Phasenbildern berechnet. Die ein oder mehreren Phasenbilder sind aus einem oder mehreren virtuellen elektromagnetischen Gesamtfeldern in einer oder mehreren Zonen ein oder mehrerer virtueller Hologrammebenen berechnet. Jedes der virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder ist jeweils basierend auf der Summe
25 zweier oder mehrerer virtueller elektromagnetischer Felder, jeweils ausgehend von zumindest einer virtuellen Lichtquelle, vorzugsweise ausgehend von zumindest zwei virtuellen Lichtquellen, in der jeweiligen Zone berechnet. Die zwei oder mehreren virtuellen Lichtquellen sind auf einem oder mehreren Teilbereichen der Oberfläche eines oder mehrerer virtueller Modelle angeordnet. Die ein oder mehreren virtuellen
30 Hologrammebenen sind vor und/oder hinter einem oder mehreren der virtuellen

Modelle angeordnet und/oder eine oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen schneiden eines oder mehrere der virtuellen Modelle.

5 Weiter wird die Aufgabe durch ein Sicherheitsdokument gelöst, welches zumindest ein derartiges Sicherheitselement aufweist.

Ein solches Verfahren zur Herstellung eines Hologramms zeichnet sich dadurch aus, dass kostengünstig Hologramme erzeugt werden können, welche sich durch eine hohe Komplexität und/oder optische Effekte auszeichnen, welche mit den bekannten
10 Verfahren nicht realisiert werden können. Hierdurch wird weiter der Vorteil erzielt, dass die mittels dieses Verfahrens hergestellten Hologramme mit den bekannten Verfahren nicht oder nur mit großem Aufwand nachgeahmt bzw. reproduziert werden können.

15 Die erfindungsgemäßen Sicherheitselemente und Sicherheitsdokumente zeichnen sich somit durch eine deutlich verbesserte Manipulationssicherheit und/oder Fälschungssicherheit aus.

Unter „virtuell“ wird insbesondere „computersimuliert“ verstanden. Beispielsweise ist
20 die virtuelle Hologrammebene, ein Hologrammebene welche von einem Computer simuliert wird. Derartige computersimulierte Hologramme werden auch als computergenerierte Hologramme (CGH) bezeichnet (CGH = computer generated hologram).

25 Unter „virtueller Hologrammebene“ wird eine Ebene in einem virtuellen Raum, insbesondere einem dreidimensionalen Raum, welcher durch die Koordinatenachsen x, y, z bestimmt wird, verstanden. Die Koordinatenachsen x, y, z sind bevorzugt orthogonal zueinander angeordnet, wodurch jede der durch die Koordinatenachsen x, y, z bestimmten Richtungen senkrecht, d. h. in einem rechten
30 Winkel, zueinander angeordnet ist. Insbesondere weisen die Koordinatenachsen x, y, z einen gemeinsamen Koordinatenursprung an dem virtuellen Punkt ($x = 0$, $y = 0$, $z =$

0) auf. Die virtuellen Hologrammebenen (x_h, y_h) werden durch die Fläche ($x = x_h, y = y_h, z$) in dem virtuellen Raum, insbesondere als eindimensionale oder zweidimensionale Teilkörper, des virtuellen Raumes (x, y, z), insbesondere des dreidimensionalen virtuellen Raumes, bestimmt. Z kann dabei Null oder auch von
5 Null verschiedene Werte annehmen.

Der durch die Koordinatenachsen x, y, z und/oder $x = x_h, y = y_h$ bestimmte virtuelle Raum bzw. die virtuellen Hologrammebenen bestehen insbesondere aus einer Vielzahl von diskreten virtuellen Punkten (x_i, y_i, z_i) bzw. (x_h, y_h), wobei der Index i
10 bzw. der Index h vorzugsweise aus einer Teilmenge der natürlichen Zahlen gewählt wird.

Unter „diskreten virtuellen Punkten“ werden virtuelle Punkte in dem virtuellen Raum verstanden, welche mit gleichen oder unterschiedlichen Abständen zueinander
15 beabstandet sind. Insbesondere sind benachbarte der diskreten virtuellen Punkte mit gleichen oder unterschiedlichen Abständen zueinander beabstandet.

Beispielsweise kann der Index i für jede der drei Koordinatenachsen x, y, z von 1 bis 1000 laufen, wodurch der virtuelle Raum durch $1000 \times 1000 \times 1000$ virtuelle Punkte
20 (x_i, y_i, z_i) bezüglich der Koordinatenachsen x, y, z dargestellt wird, und der Index h kann für jede der zwei Koordinatenachsen $x = x_h, y = y_h$ von 1 bis 5000 laufen, wodurch die Hologrammebene durch 5000×5000 virtuelle Punkte (x_h, y_h) dargestellt wird. Eine oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen erstrecken sich in den durch die Koordinaten $x = x_h, y = y_h$ definierten Richtungen vorzugsweise nicht
25 vollständig über den virtuellen Raum in den entsprechenden Richtungen.

Unter einem „virtuellen Modell“ werden eine oder mehrere eindimensionale gekrümmte oder gerade Linien und/oder eine oder mehrere zweidimensionale gekrümmte oder nicht gekrümmte Flächen und/oder eine oder mehrere
30 zweidimensionale gekrümmte oder nicht gekrümmte Oberflächen oder Teilbereiche von Oberflächen eines oder mehrerer dreidimensionaler Objekte oder Körper

verstanden. Die einen oder mehreren virtuellen Modelle werden vorzugsweise in dem virtuellen Raum angeordnet. Die virtuellen Punkte auf den virtuellen Modellen können bei der computergestützten Simulation als virtuelle Lichtquellen fungieren.

- 5 Unter „virtueller Lichtquelle“ wird der Ursprung eines der virtuellen elektromagnetischen Felder in dem virtuellen Raum verstanden, wobei die ein oder mehreren elektromagnetischen Felder durch elektromagnetische Wellengleichungen simuliert werden.
- 10 Unter „Phasenbild“ wird ein Bild, insbesondere ein zweidimensionales Bild, verstanden, welches die Phasen der ein oder mehreren elektromagnetischen Gesamtfelder in einer oder mehrerer der Zonen und/oder in einer oder mehrerer der virtuellen Hologrammebenen umfasst. Vorzugsweise wird die Phase in einem virtuellen Punkt (x_h, y_h) in einer der Hologrammebenen einem entsprechen Punkt
- 15 eines der entsprechenden Phasenbilder zugeordnet. Insbesondere weisen die Phasenbilder die gleiche Auflösung auf wie die entsprechenden Zonen und/oder virtuellen Hologrammebenen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen bezeichnet.

20

Vorzugsweise werden eines oder mehrere der virtuellen Modelle jeweils als ein virtuelles 2D-Modell (2D = zweidimensional) oder als ein virtuelles 3D-Modell (3D = dreidimensional) ausgebildet.

- 25 Unter einem virtuellen 2D-Modell werden hier bevorzugt eine oder mehrere zusammenhängende oder teilweise zusammenhängende oder nicht zusammenhängende zweidimensionale Flächen verstanden. Eine oder mehrere der zweidimensionalen Flächen sind insbesondere offen, wie beispielsweise eine Kreisfläche, ausgeformt. Beispielsweise entspricht ein 2D-Modell einem Teilbereich
- 30 der Oberfläche eines dreidimensionalen Körpers, z.B. eines menschlichen Kopfes. Unter einem virtuellen 3D-Modell wird insbesondere die geschlossene Oberfläche

eines dreidimensionalen Körpers verstanden, wie beispielsweise die Oberfläche einer Kugel.

Es ist möglich, ein oder mehrere der 2D und/oder 3D-Modelle vor und/oder hinter
5 einer oder mehrerer der Hologrammebenen anzuordnen und/oder derart
anzuordnen, dass sich ein oder mehrere der 2D und/oder 3D-Modelle mit einer oder
mehreren der Hologrammebenen schneiden.

Vorzugsweise weist das virtuelle elektromagnetische Feld, welches von zwei oder
10 mehreren der virtuellen Lichtquellen ausgeht, insbesondere von allen der virtuellen
Lichtquellen ausgeht, die gleiche Intensität und/oder die gleiche Intensitätsverteilung
über den gesamten Raumwinkel auf.

Unter „Intensität“ wird der Anteil der gesamten Strahlungsleistung verstanden,
15 welche von einer oder mehreren der virtuellen Lichtquellen in einen vorbestimmten
Raumwinkel emittiert wird, wobei die Strahlungsleistung insbesondere als die
Energienmenge betrachtet wird, welche innerhalb eines vorbestimmten Zeitintervalls
von einem elektromagnetischen Feld, insbesondere einem oder mehreren der
virtuellen elektromagnetischen Felder, transportiert wird. Die Strahlungsleistung wird
20 in der Einheit Watt angegeben.

Unter „Intensitätsverteilung“ wird die jeweilige Strahlungsleistung in ein oder mehrere
unterschiedliche Raumwinkel verstanden. Die jeweiligen Strahlungsleistungen einer
oder mehrerer der unterschiedlichen Raumwinkel sind insbesondere unterschiedlich
25 zueinander.

Unter „Raumwinkelbereich“ bzw. „Raumwinkel“ wird der Flächeninhalt einer
Teilfläche einer Kugeloberfläche verstanden, welcher durch das Quadrat des Radius
R der Kugel dividiert wird. Der Raumwinkelbereich wird insbesondere in der
30 dimensionslosen Einheit Steradian angegeben. Der gesamte Raumwinkel entspricht
der Oberfläche der Einheitskugel, d. h. einer Kugel mit Radius eins, also 4π .

Vorzugsweise weist das virtuelle elektromagnetische Feld, welches von zwei oder mehreren der virtuellen Lichtquellen ausgeht, insbesondere von allen der virtuellen Lichtquellen ausgeht, unterschiedliche Intensitäten und/oder unterschiedliche
5 Intensitätsverteilungen über ein oder mehrere Raumwinkelbereiche, insbesondere über den gesamten Raumwinkel, auf.

Vorzugsweise weist das virtuelle elektromagnetische Feld, welches von ein oder mehreren der virtuellen Lichtquellen ausgeht, insbesondere von allen der virtuellen
10 Lichtquellen ausgeht, eine isotrope oder eine anisotrope Intensitätsverteilung über ein oder mehrere Raumwinkel, insbesondere über den gesamten Raumwinkel, auf. Unter „isotroper Intensitätsverteilung“ wird eine Intensitätsverteilung verstanden, deren Strahlungsleistung über alle Raumwinkel gleich ist.

15 Unter „anisotroper Intensitätsverteilung“ wird eine Intensitätsverteilung verstanden, deren Strahlungsleistung sich in zumindest einem ersten Raumwinkel von zumindest einem zweiten Raumwinkel unterscheidet.

Insbesondere weisen eine oder mehrere oder alle der virtuellen Lichtquellen
20 insbesondere eine oder mehrere oder alle der virtuellen Punktlichtquellen, die gleiche Intensität und/oder die gleiche Intensitätsverteilung auf.

Vorzugsweise bilden ein oder mehrere der virtuellen Lichtquellen, insbesondere alle der virtuellen Lichtquellen, eine virtuelle Punktlichtquelle aus, wobei die virtuellen
25 Punktlichtquellen vorzugsweise eine virtuelle Kugelwelle abstrahlen.

Ein Punkt, welcher mit einer ebenen Welle beleuchtet wird, strahlt eine Kugelwelle ab. Das Interferenzmuster, welches hierbei in der Hologrammebene entsteht, nennt man Fresnelsche Zonenplatte. Das Hologramm eines einzelnen Punktes ist also eine
30 Fresnelsche Zonenplatte. Besteht ein Objekt aus mehreren Punkten, so erzeugt jeder Punkt bei der Hologrammaufnahme bzw. der Hologrammberechnung seine

eigene Fresnelsche Zonenplatte. Diese Fresnelschen Zonenplatten überlagern sich und bilden zusammen das Hologramm des Objektes.

5 Unter „Kugelwelle“ wird eine Welle verstanden, welche sich von einer Lichtquelle, insbesondere einer virtuellen Lichtquelle, in den gesamten Raumwinkel in konzentrischen Wellenfronten ausbreitet. Die virtuelle Lichtquelle wird bevorzugt als punktförmige Quelle der Kugelwelle betrachtet.

10 Vorzugsweise wird der Strahlkegel der virtuellen Lichtquelle, insbesondere der virtuellen Punktlichtquelle, mittels einer oder mehrerer virtueller Blenden auf einen Raumwinkelbereich von $\pm 45^\circ$, bevorzugt auf einen Raumwinkelbereich von $\pm 35^\circ$ besonders bevorzugt auf einen Raumwinkelbereich von $\pm 25^\circ$ und insbesondere bevorzugt auf $\pm 15^\circ$, beschränkt.

15 Vorzugsweise weisen eine oder mehrere der virtuellen Blenden eine kreisförmige, elliptische, quadratische, rechteckige oder ringförmige Öffnung auf. Es ist möglich, dass die virtuellen Blenden andere Formen, wie beispielsweise sternförmig, aufweisen.

20 Die ein oder mehreren Raumwinkelbereiche sind insbesondere symmetrisch oder asymmetrisch um die Flächennormale, insbesondere um die mittlere Flächennormale, der virtuellen Hologrammebene angeordnet. Ein oder mehrere der Raumwinkelbereiche spannen insbesondere einen Winkelbereich von 0° bis 45° , bevorzugt einen Winkelbereich von 0° bis 30° , insbesondere bevorzugt einen Winkelbereich von 0° bis 15° , zu den jeweiligen Flächennormalen der zugeordneten virtuellen Hologrammebenen, insbesondere zu der mittleren Flächennormale, auf.
25 Insbesondere kann ein Raumwinkelbereich einen Winkelbereich von 5° bis 30° , besonders bevorzugt von 5° bis 15° umspannen.

30 Im Fall der Überlagerung von vielen Motiven des gleichen und/oder verschiedenen Objekten bei einem oder verschiedenen Betrachtungsrichtungen ist von Vorteil wenn

der Raumwinkelbereich in äquidistante oder nicht äquidistante Winkelbereiche aufgeteilt ist. Beispielsweise wird ein Raumwinkelbereich von 0° bis 30° bei Verwendung von 30 Motiven in 1° breite Winkelbereiche pro Motiv aufgeteilt. Die Winkelbereiche können auch ganz oder teilweise überlappen. Dies ist von Vorteil für die Darstellung von kontinuierlichen oder quasi-kontinuierlichen Bewegungs- und/oder Transformationseffekten, ähnlich einem Film aus zusammengesetzten, leicht voneinander abweichenden Standbildern.

Die einen oder mehreren virtuellen Blenden schränken insbesondere eines oder mehrere der virtuellen elektromagnetischen Felder, insbesondere die Raumwinkel eines oder mehrerer der virtuellen elektromagnetischen Felder, einer oder mehrerer virtueller Lichtquellen derart ein, dass das aus den virtuellen elektromagnetischen Feldern aufsummierte virtuelle elektromagnetische Gesamtfeld lediglich in den entsprechenden ein oder mehreren Zonen der ein oder mehreren virtuellen Hologrammebenen berechnet wird. Dies führt zu einer vorteilhaften Reduktion der benötigten Berechnungsdauer auf einem Computer.

Vorzugsweise wird das virtuelle elektromagnetische Feld U_i , welches von einer i-ten virtuellen Punktlichtquelle an dem Punkt (x_i, y_i, z_i) ausgeht, an einem Punkt (x_h, y_h, z_h) der zumindest einen Zone, insbesondere der zumindest einen Zone in der Hologrammebene, mittels der Gleichung

$$U_i(x_h, y_h) = \frac{\exp(ikr)}{r}, \quad r = \sqrt{(x_h - x_i)^2 + (y_h - y_i)^2 + z_i^2},$$

berechnet. Die Distanz z_h des elektromagnetischen Feldes U_i zur Hologrammebene bzw. Zone, welche durch die Koordinaten (x_h, y_h) definiert ist, beträgt beispielsweise Null im Spezialfall einer ungekrümmten Hologrammebene, welche auf dem Koordinatenursprung platziert wird. Der Buchstabe „i“ in dem Argument der Exponentialfunktion bezeichnet die imaginäre Einheit. Der Abstand r beschreibt den euklidischen Abstand zwischen einem Punkt (x_i, y_i, z_i) in dem virtuellen Raum zu einem Punkt $(x_h, y_h, z_h = 0)$ in der virtuellen Hologrammebene.

Optional kann die z-Komponente z_i noch durch einen zufälligen Betrag variiert werden, bevorzugt im Bereich ± 10 mal die für die Berechnung verwendete Wellenlänge λ , weiter bevorzugt ± 5 mal λ und insbesondere bevorzugt $\pm 0,5$ mal λ . Dies hat den Vorteil, dass das berechnete Phasenbild keine oder stark verringerte periodische Strukturanteile aufweist, welche zu ungewünschten Beugungseffekten und/oder Farbeffekten führen.

Es ist möglich, dass eine der Zonen aus ein oder mehreren Schnittmengen von einem oder mehreren Raumwinkeln und einer oder mehrerer Hologrammebenen bestimmt werden. Beispielsweise kann ein Raumwinkelbereich, welcher ein bestimmtes Volumen aufspannt, mehrere hintereinander angeordnete und/oder nebeneinander angeordneten Hologrammebenen schneiden, sodass sich die diesem Raumwinkel zugeordnete Zone aus entsprechenden Schnittmengen des Raumwinkels und der Hologrammebenen zusammensetzt.

Vorzugsweise sind die virtuellen Lichtquellen, welche auf ein oder mehreren der Teilbereiche der Oberfläche eines der virtuellen Modelle angeordnet sind, in zumindest eine Richtung periodisch auf ein oder mehrere der Teilbereiche der Oberfläche des virtuellen Modells angeordnet und/oder in zumindest einer Richtung zufällig oder pseudo-zufällig auf ein oder mehreren der Teilbereiche der Oberfläche des virtuellen Modells angeordnet.

In einer Ausgestaltungsform werden die virtuellen Lichtquellen zunächst in einer flachen Ebene angeordnet und anschließend virtuell auf die Oberfläche des darzustellenden Objektes projiziert.

Vorzugsweise werden bei einem virtuellen 2D-Modell die virtuellen Lichtquellen innerhalb einer das virtuelle 2D-Modell umgebenden geschlossenen Form, insbesondere außerhalb des virtuellen 2D-Modells angeordnet. Die umliegende beziehungsweise umgebene Form bildet bevorzugt eine geometrische Form, zum Beispiel ein Kreis oder ein Rechteck, insbesondere eine Freiformfläche. Ein

hierdurch erzeugtes Hologramm zeigt vorzugsweise ein Negativbild der Fläche des virtuellen 2D-Modells.

Es ist möglich, dass die Verteilung der in zumindest einer Richtung zufällig oder pseudo-zufällig verteilten virtuellen Lichtquellen einer Gaußverteilung, insbesondere einer asymmetrischen Verteilung, folgt. Insbesondere sind die virtuellen Lichtquellen auf einem oder mehreren der Teilbereiche der Oberfläche des virtuellen Modells punktwolkenförmig oder wellenförmig angeordnet.

- 10 Vorzugsweise liegen die Abstände benachbarter virtueller Lichtquellen bevorzugt zwischen 5 μm und 500 μm , weiter bevorzugt zwischen 10 μm und 200 μm .

- Es ist möglich, dass die virtuellen Lichtquellen als ein eindimensionales Raster, insbesondere ein Linienraster, oder ein zweidimensionales Raster, insbesondere ein Punktraster, angeordnet werden.
- 15

- Vorzugsweise erfolgt die Anordnung der virtuellen Lichtquellen, insbesondere der virtuellen Punktlichtquellen, als ein Kreuzraster, wobei der Abstand benachbarter virtueller Lichtquellen zueinander zwischen 5 μm und 500 μm , insbesondere zwischen 10 μm und 200 μm , beträgt.
- 20

- Vorzugsweise weisen ein oder mehrere der virtuellen Lichtquellen die Form von Mikrosymbolen auf. Die Mikrosymbole werden dabei insbesondere ausgewählt aus: Buchstabe, Porträt, Bild, alphanumerisches Zeichen, Schriftzeichen, geometrische Freiform, Quadrat, Dreieck, Kreis, Stern, Mond, Denominationszeichen, länderspezifisches Symbol (z.B. Schweizer Kreuz, Bundesadler, Ahornblatt), gekrümmte Linie oder Umriss (z.B. eine Kontur von Landesgrenzen).
- 25

- Weiter ist es möglich, dass ein oder mehrere der virtuellen Lichtquellen die Form von Mikrosymbolen, wie beispielsweise ein oder mehrere Buchstaben, Porträts, Bilder, alphanumerische Zeichen, Schriftzeichen, geometrische Freiformen, Quadrate,
- 30

Dreiecke, Kreise, Stern, Mond, Denominationszeichen, länderspezifisches Symbol (z.B. Schweizer Kreuz, Bundesadler, Ahornblatt), gekrümmte Linien oder Umrisse (z.B. eine Kontur von Landesgrenzen), aufweisen, in dem die virtuellen Lichtquellen in vorbestimmten Abständen entlang der Konturen der Mikrosymbole angeordnet werden.

Vorzugsweise liegen die lateralen Abmessungen der Mikrosymbole auf ein oder mehreren der Teilbereiche der Oberfläche eines oder mehrerer der virtuellen Modelle zwischen 5 μm und 500 μm , insbesondere zwischen 10 μm und 200 μm .

Untersuchungen haben gezeigt, dass bei der menschlichen Beobachtung eines Hologramms, bei dessen Berechnung virtuelle Lichtquellen in der Form von Mikrosymbolen eingesetzt werden, lediglich eine oder mehrere der zugrunde liegenden virtuellen Modelle erfasst werden und nicht die Mikrosymbole, aus denen das Modell aufgebaut ist. Insbesondere sind die Mikrosymbole lediglich durch eine vergrößernde Optik, bevorzugt eine Lupe oder eine Kamera, erfassbar, wobei erfassbar ist, dass die Motive aus Mikrosymbolen zusammengesetzt sind.

Besonders bevorzugt ist die Nutzung einer Hologrammebene, insbesondere die Nutzung von zwei oder mehreren virtuellen Hologrammebenen vorgesehen, wobei jede der virtuellen Hologrammebenen ein oder mehrere der Zonen aufweist.

Vorzugsweise unterscheiden sich die zwei oder mehreren virtuellen Hologrammebenen in Bezug auf ihre Ausrichtung, Positionierung, Abmessung und/oder Krümmung. Weiter unterscheiden sich die zwei oder mehreren virtuellen Hologrammebenen insbesondere in den jeweiligen Zonen in Bezug auf ihre Ausrichtung, Positionierung, Abmessung und/oder Krümmung.

Unter „Ausrichtung“ wird insbesondere der Winkel oder die Winkel der jeweiligen durch die Hologrammebenen aufgespannten Flächennormalen bezüglich einer oder mehrerer der durch die Koordinaten (x, y, z) definierten Achsen verstanden.

Unter „Positionierung“ wird insbesondere die Lage einer oder mehrerer der Hologrammebenen und/oder eines oder mehrerer Punkte (x_h, y_h, z_h) , insbesondere eines oder mehrerer Punkte $(x_h, y_h, z_h = 0)$, ein oder mehrerer der virtuellen
5 Hologrammebenen in dem durch die Koordinaten (x, y, z) aufgespannten virtuellen Raumes verstanden.

Unter „Abmessung“ wird insbesondere die Ausdehnung oder die Ausdehnungen der ein oder mehreren Hologrammebenen entlang der durch die Koordinaten (x, y, z)
10 definierten Richtungen in dem virtuellen Raum verstanden.

Unter „Krümmung“ wird insbesondere eine lokale Abweichung einer Kurve von einer Geraden verstanden. Unter der Krümmung einer Kurve wird insbesondere eine Richtungsänderung pro durchlaufender Länge und/oder Strecke eines genügend
15 kurzen Kurvenstücks bzw. Kurvenverlaufs verstanden. Die Krümmung einer Geraden ist überall gleich null. Ein Kreis mit einem Radius R hat überall die gleiche Krümmung, nämlich $1/R$. Bei den meisten Kurven ändert sich die Krümmung von Kurvenpunkt zu Kurvenpunkt. Insbesondere ändert sich die Krümmung von Kurvenpunkt zu Kurvenpunkt kontinuierlich, sodass die Kurven insbesondere keine
20 Knicke und/oder Unstetigkeitsstellen aufweisen. Die Krümmung einer Kurve in einem Punkt P gibt somit an wie stark die Kurven der unmittelbaren Umgebung des Punktes P von einer Geraden abweicht. Der Betrag der Krümmung wird als Krümmungsradius bezeichnet und dieser entspricht dem Kehrwert des Betrages eines lokalen Radiusvektors. Der Krümmungsradius ist der Radius des Kreises, der gerade nur
25 den Tangentialpunkt P berührt und/oder in einer lokalen Umgebung des Tangentialpunktes P die beste Näherung darstellt. Eine Kurve ist beispielsweise die zweidimensionale Oberfläche einer Kugel oder eine Kreisfläche.

Vorzugsweise ist ein virtuelles Modell vorgesehen, weiter bevorzugt sind zwei oder
30 mehrere virtuelle Modelle vorgesehen.

Vorzugsweise ist jedes der ein oder mehreren virtuellen Modelle einer der virtuellen Hologrammebenen zugeordnet. Insbesondere werden in den ein oder mehreren Zonen der jeweiligen virtuellen Hologrammebene die von den ein oder mehreren virtuellen Lichtquellen des zugeordneten virtuellen Modells ausgehenden ein oder mehreren virtuellen elektromagnetischen Felder berechnet.

Vorzugsweise ist das virtuelle Modell oder jedes der ein oder mehreren virtuellen Modelle ein oder mehreren der virtuellen Hologrammebenen zugeordnet und in den ein oder mehreren Zonen der jeweiligen virtuellen Hologrammebene werden die von den ein oder mehreren virtuellen Lichtquellen des zugeordneten virtuellen Modells bzw. der zugeordneten virtuellen Modelle ausgehenden ein oder mehreren virtuellen elektromagnetischen Felder berechnet.

Vorzugsweise werden zur Berechnung der ein oder mehreren Phasenbilder die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder von zwei oder mehreren der Zonen, insbesondere von zwei oder mehreren der Zonen, welche Zonen unterschiedlicher der virtuellen Hologrammebenen sind, überlagert. Insbesondere werden zur Berechnung der ein oder mehreren Phasenbilder die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder von zwei oder mehreren der Zonen, insbesondere von zwei oder mehreren der Zonen, welche Zonen unterschiedlicher der virtuellen Hologrammebenen sind, basierend auf einer vorgegebenen Referenzrichtung, überlagert.

Vorzugsweise sind die ein oder mehreren virtuellen Modelle jeweils ein oder mehreren Motiven zugeordnet, welche von den bereitgestellten Hologrammen generiert werden. So entspricht insbesondere die geometrische Formgebung der von dem bereitgestellten Hologramm generierten ein oder mehreren Motiven der geometrischen Formgebung ein oder mehrerer der virtuellen Modelle ggf. noch zusätzlich beeinflusst von einer Transformationsfunktion, welche insbesondere eine verkleinerte, vergrößerte oder geometrisch verzerrte Abbildung umfasst.

Unter einem Hologramm wird vorzugsweise eine Struktur verstanden, welche bei Beleuchtung mit sichtbarem und/oder nicht-sichtbarem Licht ein oder mehrere Motive im Bereich des sichtbaren und/oder unsichtbaren Lichts generiert. Das Hologramm kann hierbei für einen menschlichen Betrachter erkennbar sein und/oder für einen
5 optischen Sensor erfassbar sein.

Beispielsweise können die Motive bei Betrachtung die Form von einem/einer oder mehreren Buchstaben, Porträts, Landschafts- oder Bauwerksdarstellungen, Bildern, Barcode, QR-Code, alphanumerischen Zeichen, Schriftzeichen, geometrische
10 Freiformen, Quadraten, Dreiecken, Kreisen, gekrümmten Linien und/oder Umrissen oder die Form von Kombinationen von ein oder mehreren der vorstehenden Formen und/oder deren Negativen annehmen.

Weiter ist es möglich, dass sich die ein oder mehreren Motive jeweils aus einem oder mehreren Mustern zusammensetzen und/oder überlagern, wobei die Muster
15 vorzugsweise eine Geometrie und/oder Form aufweisen, welche insbesondere jeweils ausgewählt oder kombiniert werden aus: Linie, Gerade, Motiv, Bild, Dreieck, Barcode, QR-Code, Welle, Viereck, Vieleck, gekrümmte Linie, Kreis, Oval, Trapez, Parallelogramm, Raute, Kreuz, Sichel, Aststruktur, Stern, Ellipse, Zufallsmuster,
20 Pseudo-Zufallsmuster, Mandelbrotmenge, insbesondere Fraktal oder Apfelmännchen, wobei sich die Muster insbesondere überlagern und/oder ergänzen.

Durch die Wahl der ein oder mehreren virtuellen Modelle wird vorzugsweise die Formgebung der ein oder mehreren von dem bereitgestellten Hologramm
25 bereitgestellten Motive beeinflusst bzw. festgelegt. Durch die Wahl der entsprechenden Lageanordnung der ein oder mehreren virtuellen Hologrammebenen zu den ein oder mehreren virtuellen Motiven wird weiter vorzugsweise das optisch variable Erscheinungsbild der ein oder mehreren von dem bereitgestellten Hologramm bereitgestellten Motiv sowie deren Lageanordnung zueinander
30 beeinflusst bzw. festgelegt. Das optisch variable Erscheinungsbild kann zum Beispiel, wenn als Motiv ein Fisch gewählt wird, die Schwimmbewegung des Fisches

simulieren. Weiter wird das optisch variable Erscheinungsbild bevorzugt durch die entsprechende Wahl der Parameter und Anordnung der virtuellen Lichtquellen beeinflusst, durch die weiter bevorzugt auch entsprechend die Farbgebung sowie Helligkeit der Motive und deren Verlauf beeinflusst bzw. festgelegt wird.

5

Dies wird im Folgenden anhand von mehreren bevorzugten Ausführungsformen erläutert:

Vorzugsweise überlappen sich die zur Berechnung der ein oder mehreren
10 Phasenbilder überlagerten zwei oder mehreren Zonen in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig. Hierdurch wird vorzugsweise bewirkt, dass zwei oder mehrere von unterschiedlichen Zonen in dem bereitgestellten Hologramm bereitgestellte Motive in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung in sich überschneidenden Oberflächenbereichen des
15 bereitgestellten Hologramms generiert werden.

Vorzugsweise überlappen sich die zur Berechnung der ein oder mehreren
Phasenbilder überlagerten zwei oder mehreren Zonen in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung nicht, so dass vorzugsweise zwei oder mehrere von
20 unterschiedlichen Zonen in dem bereitgestellten Hologramm bereitgestellte Motive in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung in getrennten Oberflächenbereichen des bereitgestellten Hologramms generiert werden.

Als Referenzrichtung kann eine beliebige Richtung bezüglich der Koordinatenachsen
25 x, y, z gewählt werden.

Vorzugsweise weisen ein oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen in ein oder mehreren der Zonen zumindest entlang einer Referenzrichtung eine von null verschiedene Krümmung auf. Die virtuellen Hologrammebenen sind insbesondere
30 konvex oder konkav gekrümmt. Bevorzugt weisen die virtuellen Hologrammebenen eine lokale Krümmung auf, wobei der der lokalen Krümmung zugeordnete

Krümmungsradius insbesondere zwischen 5 mm und 50 mm, bevorzugt zwischen 10 mm und 30 mm, liegt. Die lokale Krümmung kann insbesondere kreissegmentförmig oder parabelsegmentförmig sein.

- 5 Vorzugsweise entspricht die Geometrie einer oder mehrerer der virtuellen Hologrammebenen in einer oder mehrerer der Zonen jeweils einer Mantelfläche eines Zylindersegments oder einer Freiformfläche.

- 10 Unter „Freiformfläche“ wird insbesondere eine offene oder geschlossene zweidimensionale Fläche in einem dreidimensionalen Raum verstanden, welche eben oder in zumindest einer Richtung gekrümmt ist. Beispielsweise sind die Oberfläche einer Kugel oder die Oberfläche eines Torus geschlossene Freiformflächen. Eine Sattelfläche oder eine gekrümmte Kreisfläche sind beispielsweise offene Freiformflächen.

- 15 Vorzugsweise weisen ein oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen in einer oder mehrerer der Zonen einen vorbestimmten Krümmungsverlauf auf. Insbesondere wird das virtuelle elektromagnetische Gesamtfeld in den ein oder mehreren Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern ein oder mehrerer
- 20 erster der ein oder mehreren virtuellen Modelle berechnet. Hierdurch ist das bereitgestellte Hologramm bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen für einen Beobachter und/oder für einen Sensor teilweise oder vollständig erfassbar. Bevorzugt werden den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen zugeordnete ein oder mehrere
- 25 erste Motive bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen für den Beobachter teilweise oder vollständig erfassbar. Bevorzugt sind diese ein oder mehreren ersten Motive für den Beobachter nicht oder zumindest nur schwer erfassbar, wenn das Substrat nicht verbogen bzw. gekrümmt, sondern flach ist.

Als Sensor kommt beispielsweise ein Photodetektor, eine Kamera, insbesondere ein CCD- oder CMOS-Chip, welche elektromagnetische Strahlung aus dem sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums oder aus einem oder mehreren Teilbereichen des elektromagnetischen Spektrums erfasst. Beispielsweise kann der Sensor die Kamera eines Smartphones oder eines anderen Mobilgerätes oder auch stationären Gerätes mit einer Kamera sein. Optional kann die Beleuchtung des Hologramms durch die LED-Lampe des Smartphones bzw. des anderen Gerätes erfolgen. Dies hat die Vorteile, dass erstens stark gerichtete Beleuchtung bei der Aufnahme des Bildes durch die Kamera vorliegt und zweitens, dass die Richtung der Beleuchtung im Bezug zum Sensor vergleichsweise genau definiert ist.

Es ist auch möglich, dass das bereitgestellte Hologramm im IR-Bereich und/oder Bereich des für das unbewaffnete menschliche Auge sichtbaren Lichts und/oder UV-Bereich durch einen oder mehrere Sensoren erfasst wird (IR = Infrarot = Strahlung aus einem oder mehreren Teilen des Infrarotbereichs des elektromagnetischen Spektrums, UV = Ultraviolett = Strahlung aus einem oder mehreren Teilen des ultravioletten Bereichs des elektromagnetischen Spektrums) und optional für einen Beobachter erfassbar gemacht wird.

Vorzugsweise zeigen die ein oder mehreren ersten Motive bei Verbiegung beziehungsweise Krümmung des Substrats gemäß dem Krümmungsverlauf der ein oder mehreren Zonen für einen Beobachter zumindest einen Ausschnitt eines größeren Motives oder eines Gesamtmotivs, wobei das Gesamtmotiv insbesondere ein oder mehrere Motive, bevorzugt ein oder mehrere erste Motive, umfasst. Beispielsweise zeigt ein derart ausgelegtes Sicherheitselement in Form eines Streifens bei Verbiegung beziehungsweise Krümmung einen streifenförmigen Ausschnitt einer Brücke. Wird ein derart ausgelegtes Sicherheitselement auf ein Sicherheitsdokument, beispielsweise auf eine Banknote appliziert, welche insbesondere bis auf den streifenförmigen Ausschnitt das vollständige Bild der Brücke zeigt, so erscheint das Design der Banknote im flachen Zustand bevorzugt unvollständig, da das Motiv im streifenförmigen Sicherheitselement insbesondere

nicht oder nur schwer erfassbar ist. Beim Verbiegen beziehungsweise Krümmen der Banknote wird nun vorzugsweise der fehlende Teil der Brücke ebenfalls sichtbar und ergänzt beziehungsweise vervollständigt hierbei das Design der Banknote.

- 5 Vorzugsweise sind die ein oder mehreren ersten Motive bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen für einen Beobachter und/oder für einen Sensor vollständig oberhalb und/oder unterhalb und/oder innerhalb der durch das Substrat aufgespannten Ebene erfassbar. Bevorzugt liegt der Abstand zwischen einem oder mehreren der ersten
- 10 Motive und der durch das Substrat aufgespannten Ebene vorzugsweise zwischen -30 mm und +30 mm liegt, bevorzugt zwischen -15 mm und +15 mm, insbesondere bevorzugt zwischen -10 mm und +10 mm, weiter bevorzugt zwischen -5 mm und +5 mm und noch weiter bevorzugt zwischen -3 mm und +3 mm.
- 15 Vorzugsweise weisen zwei oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen in einer oder mehrerer ersten der Zonen einen unterschiedlichen Krümmungsverlauf und/oder eine unterschiedliche Ausrichtung gegenüber dem Krümmungsverlauf in ein oder mehreren zweiten der Zonen auf. Bevorzugt werden die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren ersten und zweiten
- 20 Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern ein oder mehrerer erster oder zweiter der ein oder mehreren virtuellen Modelle berechnet. Insbesondere ist hierdurch das bereitgestellte Hologramm bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren ersten oder zweiten Zonen oder bei Ausrichtung gemäß der Ausrichtung der ersten
- 25 oder zweiten Zonen für einen Beobachter und/oder für einen Sensor teilweise oder vollständig erfassbar. Der Krümmungsverlauf der ein oder mehreren ersten und zweiten Zonen ist insbesondere nicht gleich.

- Vorzugsweise werden die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein
- 30 oder mehreren ersten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren ersten virtuellen Modelle

berechnet. Bevorzugt werden die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren zweiten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle berechnet. Insbesondere werden hierdurch den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen zugeordnete ein oder mehrere erste Motive bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren ersten Zonen für einen Beobachter und/oder einen Sensor teilweise oder vollständig erfassbar. Bevorzugt werden den ein oder mehreren zweiten virtuellen Modellen zugeordnete ein oder mehrere zweite Motive bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren zweiten Zonen für einen Beobachter und/oder einen Sensor teilweise oder vollständig erfassbar.

Vorzugsweise zeigen die ein oder mehreren ersten Motive bei Verbiegung beziehungsweise Krümmung des Substrats gemäß dem Krümmungsverlauf der ein oder mehreren Zonen für einen Beobachter zumindest einen Ausschnitt eines größeren Motives oder eines Gesamtmotivs, wobei das Gesamtmotiv insbesondere ein oder mehrere Motive, bevorzugt ein oder mehrere erste und/oder zweite Motive, umfasst.

Weiter ist es möglich, dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren ersten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren ersten virtuellen Modelle derart berechnet werden und/oder dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren zweiten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle derart berechnet werden, dass ein erster Teil der den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen zugeordneten ein oder mehreren ersten Motive und/oder dass ein zweiter Teil der den ein oder mehreren zweiten virtuellen Modellen zugeordneten ein oder mehreren zweiten Motive, bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats, insbesondere gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen, ersten Zonen und/oder zweiten Zonen, für einen Beobachter und/oder für einen Sensor

erfassbar ist, und/oder im flachen beziehungsweise nicht verbogenen bzw. nicht gekrümmten Zustand des Substrats, insbesondere gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen, ersten Zonen und/oder zweiten Zonen, für einen Beobachter und/oder für einen Sensor nicht, insbesondere teilweise, erfassbar ist, wobei vorzugsweise die ein oder mehreren ersten Motive ein erstes Gesamtmotiv umfassend den ersten Teil der ein oder mehreren ersten Motive generieren und/oder vorzugsweise die ein oder mehreren zweiten Motive ein zweites Gesamtmotiv umfassend den zweiten Teil der ein oder mehreren zweiten Motive generieren.

- Es ist auch möglich, dass das erste Gesamtmotiv und/oder das zweite Gesamtmotiv das Gesamtmotiv ausbilden.

Vorzugsweise werden die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren ersten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren ersten virtuellen Modelle berechnet. Insbesondere werden die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren zweiten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle berechnet. Insbesondere werden hierdurch den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen zugeordnete ein oder mehrere erste Motive bei Ausrichtung des Substrats gemäß der Ausrichtung der ein oder mehreren ersten Zonen für einen Beobachter und/oder einen Sensor teilweise oder vollständig erfassbar. Insbesondere werden die den ein oder mehreren zweiten virtuellen Modellen zugeordneten ein oder mehreren zweiten Motive bei Ausrichtung des Substrats gemäß der Ausrichtung der ein oder mehreren zweiten Zonen für einen Beobachter und/oder einen Sensor teilweise oder vollständig erfassbar.

Vorzugsweise sind zwei oder mehrere der Zonen jeweils einer der virtuellen Hologrammebenen zugeordnet. Bevorzugt werden die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren

Zonen berechnet. Insbesondere werden hierdurch eines oder mehrere der virtuellen Modelle bei Verkipfung und/oder Drehung des Substrats teilweise oder vollständig von einem Beobachter und/oder von einem Sensor als eine Abfolge von den einem oder mehreren virtuellen Modellen zugeordneten ein oder mehreren Motiven

5 erfassbar. Die Abfolge von den einem oder mehreren virtuellen Modellen zugeordneten ein oder mehreren Motiven weist insbesondere einen parallaktischen Bewegungseffekt oder einen orthoparallaktischen Bewegungseffekt oder eine Kombination aus einem parallaktischen Bewegungseffekt und einem orthoparallaktischen Bewegungseffekt auf.

10

Unter „parallaktischen Bewegungseffekt“ wird insbesondere ein optischer Bewegungseffekt verstanden, bei welchem ein Beobachter und/oder ein Sensor die scheinbare Änderung der Position eines oder mehrerer der Motive erfasst, wobei das Substrat in die gleiche Richtung verkippt und/oder verdreht wird, entlang derer der

15 optische Bewegungseffekt erfassbar ist.

20

Unter „orthoparallaktischen Bewegungseffekt“ wird insbesondere ein optischer Bewegungseffekt verstanden, bei welchem ein Beobachter und/oder ein Sensor die scheinbare Änderung der Position einer mehrerer der Motive erfasst, wobei das

20 Substrat in eine Richtung verkippt und/oder verdreht wird, welche senkrecht auf der Richtung steht, entlang derer der optische Bewegungseffekt erfassbar ist.

25

Realisierbar ist auch ein antiparallaktischer Bewegungseffekt bei dem das Substrat nach rechts gekippt, sich das Objekt aber nach links zu bewegen scheint.

30

Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Beobachter und/oder ein Sensor umso stärkere optische Bewegungseffekte ein oder mehrerer der Motive beim Kippen und/oder Drehen des Substrats erfassen kann, je weiter die den Motiven zugeordneten virtuellen Modelle von der entsprechenden virtuellen Hologrammebene

30 oder den entsprechenden virtuellen Hologrammebenen beabstandet sind.

Vorzugsweise schweben die Motive beim Kippen und/oder Drehen des Substrats in

einem Abstand zwischen 0,01 mm und 30 mm, insbesondere zwischen 0,1 mm und 10mm, und insbesondere zwischen 0,5 mm und 5 mm zu der jeweiligen zugeordneten virtuellen Hologrammebene.

- 5 Insbesondere hängt der optische Effekt des bereitgestellten Hologramms unter anderem von der Rauigkeit des Substrats, auf welches es vorzugsweise appliziert wird, ab. Je rauer das Substrat umso verwaschener erscheint insbesondere das bereitgestellte Hologramm, beziehungsweise bevorzugt die Motive des Hologramms. Bevorzugt wird beziehungsweise ist das bereitgestellte Hologramm derart berechnet,
10 dass die Einflüsse der Rauigkeit des Substrats auf den optischen Effekt vorzugsweise vorkompensiert sind. Dieses Vorkompensieren lässt sich unter anderem insbesondere durch eine Reduktion des Abstandes der Motive von der virtuellen Hologrammebene erzielen.
- 15 In einer alternativen Ausgestaltungsform ist es möglich, ein Hologramm ohne Bewegungseffekt zu erstellen. Hierbei wird für jeden Betrachtungswinkel die gleiche Perspektive des Objektes für verschiedene Betrachtungsrichtungen verwendet. Dies erzeugt für den Betrachter die Illusion eines statischen Motives.
- 20 Vorzugsweise sind eines oder mehrere der virtuellen Modelle bei Verkipfung und/oder Drehung des Substrats teilweise oder vollständig von einem Beobachter und/oder von einem Sensor als eine Abfolge von den einem oder mehreren virtuellen Modellen zugeordneten ein oder mehreren Motiven erfassbar. Bevorzugt weisen ein oder mehrere der Motive unterschiedliche oder gleiche
25 Bewegungsgeschwindigkeiten und/oder unterschiedliche oder gleiche Bewegungsrichtungen auf. Insbesondere liegt der Abstand zwischen einem oder mehreren der virtuellen Motiven, insbesondere bevorzugt der geometrischen Schwerpunkte eines oder mehrerer der virtuellen Motiven, und der durch das Substrat aufgespannten Ebene vorzugsweise zwischen -30 mm und +30 mm liegt,
30 bevorzugt zwischen -15 mm und +15 mm, insbesondere bevorzugt zwischen -10 mm

und +10 mm, weiter bevorzugt zwischen -5 mm und +5 mm und noch weiter bevorzugt zwischen -3 mm und +3 mm.

Vorzugsweise sind ein oder mehrere der virtuellen Modelle zugeordneten ein oder mehreren Motive teilweise oder vollständig von einem Beobachter und/oder von

Insbesondere setzen sich die Motive bei Beobachtung aus den unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen zu einem Raster aus Punkten und/oder aus Streifen, insbesondere einem linearen Barcode oder einem 2D Barcode, bevorzugt einem QR-Code (QR = Quick Response), zusammen. Bevorzugt sind einer oder mehrere der Punkte oder einer oder mehrere der Streifen jeweils in unterschiedlichen Abständen zu der durch das Substrat aufgespannten Ebene angeordnet, insbesondere oberhalb und/oder unterhalb und/oder innerhalb der durch das Substrat aufgespannten Ebene angeordnet.

Unter „Barcode“ wird insbesondere eine Abfolge von maschinenlesbaren, unterschiedliche laterale Abmessungen aufweisenden Bereichen wie z.B. Streifen, Pixeln und dazwischen angeordneten Lücken verstanden. Hierbei können eine oder mehrere Informationen, insbesondere binär, in die Abfolge von Bereichen und Lücken kodiert sein. Beispielsweise werden Barcodes mit optischen Lesegeräten, insbesondere Kameras enthaltend CCD-Chips, bevorzugt mit Smartphone-Kameras, Barcodelesegeräten oder Scannern, eingelesen und/oder elektronisch weiterverarbeitet.

Unter „QR-Code“ wird insbesondere eine in zwei Richtungen verlaufende Abfolge von maschinenlesbaren, unterschiedliche laterale Abmessungen aufweisenden ersten Bereichen, welche eine erste Farbe bereitstellen, und zweiten Bereichen, welche eine zweite oder keine Farbe bereitstellen, verstanden. Hierbei können eine oder mehrere Informationen, insbesondere binär, in die zweidimensionale Abfolge von ersten und zweiten Bereichen kodiert sein. Die ersten Bereiche sind bevorzugt weiß und die zweiten Bereiche sind bevorzugt kontrastierend dazu, insbesondere

dunkler als die ersten Bereiche. Insbesondere sind die ersten und zweiten Bereiche jeweils quadratisch und/oder rechteckig.

Beispielsweise werden Barcodes und/oder QR-Codes mit optischen Lesegeräten, insbesondere Kameras enthaltend CCD-Chips, bevorzugt mit Smartphone-Kameras, Barcodelesegeräten oder Scannern, eingelesen und/oder elektronisch weiterverarbeitet.

Es ist möglich, dass ein oder mehrere Teile des Rasters aus Punkten und/oder Streifen, insbesondere eines Barcodes, bevorzugt eines QR-Codes, von einem Beobachter und/oder von einem Sensor aus zwei oder mehreren unterschiedlichen Winkeln erfasst werden können, wobei das Raster aus Punkten und/oder Streifen in der elektronischen Weiterverarbeitung aus den verschiedenen winkelabhängigen Aufnahmen des Rasters aus Punkten und/oder Streifen zusammengesetzt wird, um die Echtheit eines das Raster von Punkten und/oder Streifen aufweisendes Sicherheitselements oder Sicherheitsdokuments zu prüfen und zu verifizieren.

Weiter ist es möglich, zwei oder mehrere virtuelle Modelle bei der Berechnung bezüglich einer oder mehrerer der virtuellen Hologrammebenen in unterschiedlichen Abständen zueinander und/oder zu der oder den virtuellen Hologrammebenen anzuordnen. Hierdurch wird vorzugsweise ein Hologramm bereitgestellt, dessen Motive sich beim Kippen und/oder Drehen des Substrats, welches das bereitgestellte Hologramm aufweist, gemäß der bei der Berechnung des Hologramms unterschiedlichen Abstände der virtuellen Modelle zueinander und/oder bezüglich der virtuellen Hologrammebenen unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten bereitstellen. Insbesondere erfasst ein Beobachter und/oder ein Sensor aus unterschiedlichen Betrachtungsrichtungen des bereitgestellten Hologramms und/oder bei unterschiedlichen Kippwinkeln und/oder Drehwinkeln des bereitgestellten Hologramms unterschiedliche Motive oder Anordnungen von Motiven. Ein solches bereitgestelltes Hologramm stellt durch dessen hohe Komplexität einen optisch

variablen Bewegungseffekt bereit, welcher für einen Fälscher nur äußerst schwer nachzuahmen ist.

Untersuchungen haben gezeigt, dass eine einfache Identifizierung oder auch
5 Verifizierung eines vorstehenden bereitgestellten Hologramms mit einem
Smartphone oder eines anderen Mobilgerätes oder auch stationären Gerätes mit
einer Kamera möglich ist. Beispielsweise kann das Hologramm aus Sicht der Kamera
des Smartphones unter Beachtung der Kamerageometrie und Kameraoptik als auch
des Kamerablitzes als virtuelle Lichtquelle in Abhängigkeit der Position, des
10 Abstandes und der Ausrichtung zu dem Hologramm berechnet werden und mit einer
realen Erfassung des bereitgestellten Hologramms verglichen werden. Falls eine
genügend große Übereinstimmung zwischen dem berechneten Bild des Hologramms
und dem realen Bild des Hologramms durch ein Programm, insbesondere einer
Software, auf dem Smartphone gefunden wird, kann die Echtheit des
15 Sicherheitsdokuments, welches das bereitgestellte Hologramm umfasst, verifiziert
werden.

In einer alternativen Ausführungsform kann das Hologramm so ausgelegt sein, dass
das Motiv bei ungerichteter Beleuchtung für den menschlichen Betrachter und/oder
20 den Sensor nicht oder kaum erkennbar ist. Bevorzugt ist hierfür das bei der
Berechnung des Hologramms verwendete Objekt ein zwei-dimensionales - sprich
flaches - Objekt wie ein Motiv, beispielsweise ein Icon, ein oder zwei oder mehrere
Buchstaben, ein Logo oder auch ein Barcode, welches insbesondere bevorzugt
einen virtuellen Abstand von der virtuellen Hologrammebene von mehr als 10 mm,
25 insbesondere mehr als 20 mm und weiter bevorzugt mehr als 40 mm und noch
weiter bevorzugt mehr als 100 mm aufweist. Die Software des Smartphones kann
nun zwei Bilder eines derartigen Hologramms aufnehmen. Eines ohne Beleuchtung
mit dem Kamerablitzen als Lichtquelle und eines mit Beleuchtung mit dem Kamerablitzen.
Die Beleuchtung mit dem Kamerablitzen ist eine stark gerichtete Beleuchtung, bei der
30 das Motiv erkennbar ist. Bei Beleuchtung ohne den Kamerablitzen überwiegt diffuse –
sprich ungerichtete – Beleuchtung, weshalb das Motiv nicht oder nur kaum

erkennbar ist. Die Software überprüft einerseits mit geeigneter Mustererkennung, ob im Bereich des Hologramms das Motiv in dem Bild, welches mit Beleuchtung mit dem Kamerablitz aufgenommen wurde, vorhanden ist. Andererseits überprüft es, ob dieses Motiv in dem Bild ohne Beleuchtung nicht genügend gut vorliegt, um

5 Imitationen, z.B. mit einer aufgedruckten Version des Motives, auszuschließen. Auf die beschriebene Weise ist ebenfalls eine einfache Identifizierung oder auch Verifizierung eines vorstehenden bereitgestellten Hologramms mit einem Smartphone oder mit einem anderen Mobilgerät oder auch mit einem stationären Gerät mit einer Kamera möglich.

10

Insbesondere beträgt der Abstand des Smartphones zu dem Sicherheitsdokument, welches das bereitgestellte Hologramm umfasst, zwischen 5 cm und 50 cm, bevorzugt zwischen 20 cm und 30 cm, insbesondere bevorzugt zwischen 23 cm und 27 cm.

15

Vorzugsweise sind ein oder mehrere Motive, welche jeweils einem der virtuellen Modelle zugeordnet sind, von einem Sensor und/oder einem Beobachter des bereitgestellten Hologramms erfassbar.

20

Vorzugsweise sind ein oder mehrere Motive einer ersten Menge von Motiven bei einer flachen oder nichtgekrümmten Anordnung des Substrats für einen Beobachter und/oder einen Sensor erfassbar. Insbesondere sind ein oder mehrere Motive einer zweiten Menge von Motiven bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats gemäß des Krümmungsverlaufs bzw. einer der virtuellen Hologrammebenen in der bzw. in

25 einer der Zonen teilweise oder vollständig für einen Beobachter und/oder Sensor erfassbar. Bevorzugt sind die Motive der ersten Menge von Motiven und die Motive der zweiten Menge von Motiven teilweise oder vollständig unterschiedlich. Bevorzugt ergibt die Kombination der ersten und zweiten Motive einen für einen Betrachter erfassbaren Sinn. Beispielsweise kann bei einer flachen Anordnung des Substrats

30 ein Denominationszeichen (z.B. „€“ oder „\$“) als erstes Motiv und bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats eine Wertziffer (z.B. „50“) einer Banknote als zweites

Motiv erkennbar sein. Das erste Motiv und das zweite Motiv stehen dabei insbesondere in einem Sinnzusammenhang wie in diesem Beispiel die Denomination und die dazu passende Wertziffer.

- 5 Vorzugsweise stellen ein oder mehrere Motive einer dritten Menge von Motiven bei Verkippung und/oder Drehung des Substrats teilweise oder vollständig einen von einem Beobachter und/oder von einem Sensor erfassbaren parallaktischen Bewegungseffekt bereit. Bevorzugt stellen ein oder mehrere Motive einer vierten Menge von Motiven bei Verkippung und/oder Drehung des Substrats einen von
- 10 einem Beobachter und/oder von einem Sensor erfassbaren orthoparallaktischen Bewegungseffekt bereit. Insbesondere sind die Motive der dritten Menge von Motiven und die Motive der vierten Menge von Motiven teilweise oder vollständig unterschiedlich.
- 15 Vorzugsweise weisen ein oder mehrere Motive einer fünften Menge von Motiven die gleichen räumlichen Abstände oder unterschiedliche räumliche Abstände zu ein oder mehreren Motiven einer sechsten Menge von Motiven auf. Insbesondere sind die Motive der fünften Menge von Motiven und die Motive der sechsten Menge von Motiven teilweise oder vollständig unterschiedlich.
- 20 Vorzugsweise überlappen sich ein oder mehrere Motive einer siebten Menge von Motiven und/oder ein oder mehrere Motive einer achten Menge von Motiven untereinander bzw. gegenseitig vollständig oder teilweise. Bevorzugt sind ein oder mehrere Motive der siebten Menge von Motiven und/oder ein oder mehrere Motive
- 25 der achten Menge von Motiven vollständig oder teilweise räumlich voneinander getrennt. Insbesondere sind die Motive der siebten Menge von Motiven und die Motive der achten Menge von Motiven teilweise oder vollständig unterschiedlich.
- Vorzugsweise erscheinen die einem oder mehreren der virtuellen Modelle
- 30 zugeordneten ein oder mehreren Motive bei senkrechter Betrachtung zu der durch das Substrat aufgespannten Ebene, insbesondere bei senkrechter Betrachtung

durch einen Beobachter und/oder einen Sensor, weiß. Beispielsweise sind die einem oder mehreren der virtuellen Modelle zugeordneten ein oder mehreren Motive bei einem Betrachtungswinkel von 30° bis 34° bezüglich des Einfallswinkels des Lichts bei einer Wellenlänge von 440 nm bis 460 nm in der Farbe Blau, bevorzugt durch
5 einen Beobachter und/oder einen Sensor, erfassbar und/oder bei einem Betrachtungswinkel von 38° bis 42° bezüglich des Einfallswinkels des Lichts bei einer Wellenlänge von 530 nm bis 550 nm in der Farbe Grün, bevorzugt durch einen Beobachter und/oder einen Sensor, erfassbar und/oder bei einem Betrachtungswinkel von 49° bis 53° bezüglich des Einfallswinkels des Lichts bei einer
10 Wellenlänge von 640 nm bis 660 nm in der Farbe Rot, bevorzugt durch einen Beobachter und/oder einen Sensor, erfassbar.

Vorzugsweise verändert sich die Farbe der ein oder mehreren virtuellen Modelle zugeordneten ein oder mehreren Motive bei Verkippung und/oder Drehung des
15 Substrats.

Vorzugsweise setzen sich die einem oder mehreren der virtuellen Modelle zugeordneten ein oder mehreren Motive aus zumindest einem roten Motiv eines ersten virtuellen Modells, aus zumindest einem grünen Motiv eines zweiten virtuellen
20 Modells und/oder aus zumindest einem blauen Motiv eines dritten virtuellen Modells zu einem Echtfarbenbild zusammen.

Unter „Echtfarbenbild“ ist insbesondere ein bereitgestelltes Hologramm zu verstehen, welches bei Beleuchtung in Auflichtbetrachtung und/oder Durchlichtbetrachtung
25 zumindest bereichsweise eine zugeordnete Echtfarbe zeigt.

Unter „Echtfarbe“ ist insbesondere hierbei eine Farbe zu verstehen, welche insbesondere durch Farbmischung aus einer oder mehreren Spektralfarben ausgebildet sein kann. Ein Echtfarbenbild zeigt bei Beleuchtung zumindest
30 bereichsweise eine Echtfarbe.

Vorzugsweise werden die Intensitäten des zumindest einen roten, des zumindest einen grünen und/oder des zumindest einen blauen Motivs der entsprechend zugeordneten ersten, zweiten bzw. dritten virtuellen Modelle jeweils gemäß des Verlaufs des Spektrums des einfallenden Lichtes und/oder des Verlaufs der
5 Antwortfunktion des menschlichen Auges gewichtet.

Unter „Antwortfunktion des menschlichen Auges“ wird insbesondere die Funktion verstanden, welche beschreibt, wie in das Auge die Farbe eingehender Strahlung in einem bestimmten Frequenzbereich bzw. in einem bestimmten Wellenlängenbereich
10 in eine erfasste oder wahrgenommene Farbe transformiert.

Vorzugsweise wird in ein oder mehreren Zonen, insbesondere in allen Zonen, jeweils ein virtuelles elektromagnetisches Gesamtfeld basierend auf der Summe zweier oder mehrerer, insbesondere aller, der virtuellen elektromagnetischen Felder in der
15 jeweiligen Zone multipliziert mit einem oder mehreren komplex konjugierten virtuellen Referenzfeldern einer oder mehrerer virtueller Referenzlichtquellen in den ein oder mehreren Zonen berechnet.

Vorzugsweise simulieren ein oder mehrere der virtuellen Referenzfelder eine
20 anisotrope oder nicht-isotrope Beleuchtung des 2D-Modells und/oder des 3D-Modells. Bevorzugt simulieren ein oder mehrere der virtuellen Referenzfelder die Beleuchtung mit den ein oder mehreren virtuellen Referenzfeldern zugeordneten ein oder mehreren Referenzlichtquellen.

25 Vorzugsweise weist die Propagationsrichtung ein oder mehrerer der virtuellen Referenzfelder einen Winkel zwischen 10° und 50° , insbesondere zwischen 15° und 45° , weiter bevorzugt 30° bis 40° zu der Flächennormalen oder zu der mittleren Flächennormale einer oder mehrerer der virtuellen Hologrammebenen auf.
Insbesondere weist der Strahlkegel ein oder mehrerer der virtuellen
30 Referenzlichtquellen einen Öffnungswinkel zwischen 0 und 45° auf, weiter bevorzugt 0° und 15° . Bevorzugt weisen ein oder mehrere der virtuellen Referenzlichtquellen

eine Beabstandung zu ein oder mehreren der virtuellen Hologrammebenen zwischen 0,01 m und 10 m, weiter bevorzugt 0,1 m und 2m und insbesondere bevorzugt 0,2 m und 1m auf. In einer bevorzugten Ausgestaltungsform ist die virtuelle Referenzlichtquelle unendlich weit weg von der Hologrammebene beabstandet. In diesem Fall strahlt die Referenzlichtquelle ebene Wellen auf die Hologrammebene.

Unter „Propagationsrichtung“ wird insbesondere die Ausbreitungsrichtung einer elektromagnetischen Welle, insbesondere die Ausbreitungsrichtung jedes der ein oder mehreren virtuellen elektromagnetischen Felder, insbesondere die Ausbreitungsrichtung jedes der ein oder mehreren virtuellen Referenzfelder, verstanden.

Unter „Strahlkegel“ wird insbesondere ein Raumwinkel verstanden, in den sich eine elektromagnetische Welle, insbesondere eine oder mehrere der virtuellen elektromagnetischen Felder, bevorzugt eines oder mehrere der virtuellen Referenzfelder, ausbreiten.

Das Referenzfeld wird vorzugsweise dazu genutzt, um den Raumwinkel, in dem das bereitgestellte Hologramm durch einen Beobachter und/oder einen Sensor erfasst wird, zur normalen und/oder zur Kompensation nicht-idealer Beleuchtung, wie beispielsweise der Beleuchtung mit einer Taschenlampe oder dem Display oder dem LED-Licht (LED = Light emitting diode) eines Smartphones oder Mobiltelefons oder eines anderen Mobilgerätes oder auch stationären Gerätes mit einer Kamera und einer Beleuchtungseinrichtung, bevorzugt aus einem Abstand von 15 cm bis 35 cm, zu kompensieren. Ohne die Nutzung eines Referenzfeldes ist das bereitgestellte Hologramm für einen Beobachter und/oder einen Sensor lediglich aus einer Beobachtungsrichtung erfassbar, welche parallel zu der durch die virtuelle Hologrammebene aufgespannten Flächennormale angeordnet ist. Das bereitgestellte Hologramm weist in diesen Fällen einen stark achromatischen Farbeindruck auf.

Vorzugsweise sind ein oder mehrere Raumwinkelbereiche, insbesondere der gesamte Raumwinkelbereich, in welchem eines oder mehrere der Motive von einem Beobachter und/oder von einem Sensor vollständig oder teilweise erfassbar sind, symmetrisch um die Flächennormale, insbesondere um die mittlere Flächennormale, der Hologrammebene angeordnet. Bevorzugt spannen einer oder mehrere der Raumwinkelbereiche einen Winkelbereich von 0° bis 30° , bevorzugt von 0° bis 20° , insbesondere bevorzugt von 0° bis 15° , zu den Flächennormalen, insbesondere zur der mittleren Flächennormale, auf.

- 10 Unter „mittlerer Flächennormale“ wird der Mittelwert der Flächennormale an jeden Punkt einer gekrümmten Kurve oder eines oder mehrerer Teilbereiche einer gekrümmten Kurve verstanden.

- Weiter ist es möglich, dass das bereitgestellte Hologramm ein oder mehrere der Motive aufweist, wobei die Motive nur bei Beleuchtung mit einer nahezu kollimierten Lichtquelle, insbesondere mit einer kollimierten Lichtquelle, von einem Beobachter und/oder einem Sensor erfassbar sind. Bei Beleuchtung mit diffus abstrahlenden Lichtquellen oder mit einer Vielzahl von ausgedehnten Lichtquellen (beispielsweise Leuchtstoffröhren) hingegen erscheint das bereitgestellte Hologramm insbesondere als eine verwaschene Fläche. Eine nahezu gerichtet abstrahlende Lichtquelle ist beispielsweise eine LED-Deckenleuchte oder eine LED-Lampe eines Smartphones oder eines anderen Mobilgerätes oder auch stationären Gerätes mit einer Kamera und/oder einer Beleuchtungseinrichtung. Bei der Berechnung des bereitgestellten Hologramms ist es vorteilhaft, dass die Abstände der den Motiven entsprechenden virtuellen Modelle von einer oder mehrerer der virtuellen Hologrammebenen größer als 10 mm, insbesondere größer als 20 mm, bevorzugt größer als 40 mm und besonders bevorzugt größer als 100 mm, ist. Der optische Effekt des bereitgestellten Hologramms hängt unter anderem insbesondere von der Rauigkeit des Substrats, auf welches es vorzugsweise appliziert wird, ab. Je rauer das Substrat umso verwaschener erscheint insbesondere das bereitgestellte Hologramm, beziehungsweise bevorzugt die Motive des Hologramms. Bevorzugt ist nun das

bereitgestellte Hologramm insbesondere derart berechnet, dass die Einflüsse der Rauigkeit des Substrats auf den optischen Effekt vorzugsweise vorkompensiert sind. Dieses Vorkompensieren lässt sich unter anderem insbesondere durch eine Reduktion des Abstandes der Motive von der virtuellen Hologrammebene erzielen.

5

Unter einer „kollimierten Lichtquelle“ wird vorzugsweise zumindest eine Lichtquelle und/oder zumindest eine Strahlungsquelle verstanden, welche Licht beziehungsweise elektromagnetische Strahlung, bevorzugt aus ein oder mehreren Teilen des infraroten, sichtbaren und/oder ultravioletten Spektrums der elektromagnetischen Strahlung, abstrahlt und/oder aussendet, wobei sich die Propagationsrichtungen und/oder die Ausbreitungsrichtungen und/oder die Bewegungsrichtungen ein oder mehrerer Teile der elektromagnetischen Strahlung und/oder zwei oder mehrerer oder aller elektromagnetischer Wellen der elektromagnetischen Strahlung und/oder zwei oder mehrerer oder aller Photonen der elektromagnetischen Strahlung um einen Winkel von und/oder um einen mittleren Winkel von und/oder von einer vorbestimmten Richtung um weniger als 10° , insbesondere von beziehungsweise um weniger als 5° , bevorzugt von beziehungsweise um weniger als 1° , voneinander und/oder von der vorbestimmten Richtung unterscheiden, weiter bevorzugt nicht voneinander unterscheiden und/oder parallel zueinander ausgerichtet sind.

Ein derartiges, für die Beleuchtung mit nahezu kollimierten Lichtquellen optimiertes bereitgestelltes Hologramm wird vorzugsweise in ein Design, insbesondere in ein Kinegram® oder ein Trustseal®, gerastert. Hierdurch wird erreicht, dass lediglich das Design bei allen Beleuchtungen mit nicht nahezu kollimierten Lichtquellen durch einen Beobachter und/oder einen Sensor erfassbar ist und das bereitgestellte Hologramm für einen Beobachter und/oder einen Sensor matt und/oder verwaschen erscheint. Bei der Beleuchtung des in das Design gerasterten bereitgestellten Hologramms mit einer nahezu kollimierten Lichtquelle sind die ein oder mehreren Motive des bereitgestellten Hologramms bevorzugt in verschiedenen Abständen zu

30

dem Substrat, welches das Design und das bereitgestellte Hologramm umfasst, durch einen Beobachter und/oder einen Sensor erfassbar.

Ein derartiges, für die Beleuchtung mit nahezu kollimierten Lichtquellen optimiertes
5 bereitgestelltes Hologramm, liegt vorzugsweise als zumindest ein Designelement vor. Beispielsweise kann es mit 100% Flächenanteil in einem Auge eines Designelementes in Form eines Löwen vorgesehen sein. Bei Beleuchtung mit einer kollimierten Lichtquelle erscheint das vorgesehene Motiv bevorzugt nur im Auge des Löwen. Insbesondere liegt das Hologramm, beispielsweise mit 50% Flächenanteil, im
10 gesamten Design gerastert vor. Bei Beleuchtung mit einer kollimierten Lichtquelle erscheint das vorgesehene Motiv bevorzugt im gesamten Design. Die ein oder mehreren Motive und/oder das vorgesehene Motiv erscheint hierbei vorzugsweise repetitiv, insbesondere auch repetitiv. Beispielsweise umfasst ein Design ein oder mehrere Designelemente. Es ist auch möglich, dass ein Design insbesondere ein
15 Designelement umfasst.

Insbesondere ist es möglich, dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren ersten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren ersten virtuellen Modelle derart
20 berechnet werden und/oder dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren zweiten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle derart berechnet werden, dass den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen zugeordnete ein oder mehrere erste Motive und/oder dass den ein oder mehreren
25 zweiten virtuellen Modellen zugeordnete ein oder mehrere zweite Motive, insbesondere gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen, ersten Zonen und/oder zweiten Zonen, für einen Beobachter und/oder für einen Sensor, insbesondere bei Beleuchtung mit nicht kollimierten Licht, bevorzugt bei diffuser Beleuchtung, nicht erfassbar sind, und/oder für einen Beobachter und/oder für einen
30 Sensor, insbesondere bei Beleuchtung mit kollimierten Licht, bevorzugt bei

Beleuchtung mit einer LED-Lampe, insbesondere bevorzugt bei Beleuchtung mit einer LED-Lampe eines Smartphones, erfassbar sind.

Es ist möglich, dass sich eines oder mehrere oder alle der Motive je nach Betrachtungswinkel und Kippwinkel des für die Beleuchtung mit nahezu kollimierten Lichtquellen optimierten bereitgestellten Hologramms bewegen und/oder dass sich eines oder mehrere oder alle der Motive je nach Betrachtungswinkel und Kippwinkel des für die Beleuchtung mit nahezu kollimierten Lichtquellen optimierten bereitgestellten Hologramms verschwinden. Insbesondere ist keine Bewegung der Motive erfassbar, wenn der Durchmesser des von dem Beobachter und/oder dem Sensor erfassten Raumwinkels kleiner als 20° , bevorzugt kleiner als 10° , ist. Bevorzugt erscheinen und verschwinden die Motive in Abhängigkeit des Kippwinkels. Es ist möglich, dass überhaupt keine Bewegung der Motive für einen Beobachter und/oder einen Sensor in Abhängigkeit des Kippwinkels des Substrats, welches zumindest das bereitgestellte Hologramm umfasst, erfassbar ist.

Vorzugsweise werden bei der Berechnung des Höhenprofils des Hologramms ein oder mehrere der Phasenbilder in ein oder mehrere zugeordnete Höhenprofile transformiert, insbesondere linear transformiert. Bevorzugt wird das Höhenprofil des bereitgestellten Hologramms mittels Überlagerung und/oder Rasterung der den ein oder mehreren Phasenbildern zugeordneten Höhenprofilen berechnet.

Vorzugsweise werden ein oder mehrere der zugeordneten Höhenprofile zur Bereitstellung des Hologramms in ein Substrat eingebracht. Insbesondere liegen die zugeordneten Höhenprofile in dem Substrat bevorzugt überlagert und/oder gerastert vor.

Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder wird das Höhenprofil des bereitgestellten Hologramms als Graustufenbild kodiert. Insbesondere werden den Grauwerten Höhenwerte, insbesondere normierte Höhenwerte, zugeordnet. Die

Grauwerte und/oder Höhenwerte weisen vorzugsweise einen minimalen Höhenwert von 0 und einen maximalen Höhenwert von 2π auf.

Es ist weiter möglich, die Grauwerte und/oder die Höhenwerte auf beliebige minimale
5 und maximale Höhenwerte zu normieren, wobei der jeweilige maximale Höhenwert größer ist als der jeweilige minimale Höhenwert.

Vorzugsweise entspricht die Differenz zwischen dem minimalen Höhenwert des in
das Substrat eingebrachten Höhenprofils und dem maximalen Höhenwert des in das
10 Substrat eingebrachten Höhenprofils einer optischen Wegdifferenz von der Hälfte
oder einem Vielfachen der Hälfte einer Referenzwellenlänge, insbesondere im Fall
der Ausbildung des bereitgestellten Hologramms als Reflexionshologramm.

Insbesondere entspricht die Differenz zwischen dem minimalen Höhenwert des in
15 das Substrat eingebrachten Höhenprofils und dem maximalen Höhenwert des in das
Substrat eingebrachten Höhenprofils einer optischen Wegdifferenz von einer
Referenzwellenlänge oder einem Vielfachen einer Referenzwellenlänge, bevorzugt
im Fall der Ausbildung des bereitgestellten Hologramms als
Transmissionshologramm.

20

Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder wird das Höhenprofil
des bereitgestellten Hologramms in das Substrat, insbesondere in ein Substrat
aufweisend eine Photoresistschicht, mittels eines Verfahrens, ausgewählt aus:
Laserstrahlolithographie und Elektronenstrahlolithographie eingebracht. Bei beiden
25 Verfahren wird das das Höhenprofil kodierende Graustufenbild durch Variation der
Intensität des verwendeten Strahls in eine Resistschicht geschrieben. Nach
Entwicklung der belichteten Resistschicht ist das Höhenprofil in der Resistschicht
bereitgestellt.

Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder wird das Höhenprofil des bereitgestellten Hologramms in das Substrat mittels eines Replizierverfahrens, insbesondere mittels thermischer Replikation oder UV-Replikation eingebracht.

- 5 Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder wird das Höhenprofil des bereitgestellten Hologramms mittels der Verfahren Galvanik, Rekombination und Roll-to-Roll Replikation in eine Folie, insbesondere in eine zumindest eine Metallschicht und/oder eine transparente hoch- oder niedrigbrechende Schicht aufweisende Folie, eingebracht. Als hochbrechende Schicht wird hier eine Schicht
10 mit hohem Brechungsindex, insbesondere mit einem Brechungsindex über 1,5 bezeichnet. Als niedrigbrechende Schicht wird hier eine Schicht mit niedrigem Brechungsindex, insbesondere mit einem Brechungsindex unter 1,5 bezeichnet. Insbesondere weist die Folie eine HRI-Schicht (HRI = High Refractive Index) auf. Die Metallschicht und/oder hoch- oder niedrigbrechende Schicht wird für gewöhnlich
15 nach dem Roll-to-Roll Replikationsschritt auf das oder die Höhenprofile auf der Folie aufgebracht.

- Das oder die Höhenprofile können noch mit weiteren Schichten kombiniert, insbesondere zwischen diese weiteren Schichten einbettet sein. Solche weiteren
20 Schichten können Schutzschichten, Haftvermittlerschichten, Kleberschichten, Barrierschichten, Dekorschichten, Reflexionsschichten.

- Die Schichten können auf einem Trägersubstrat (beispielsweise aus Polyester, insbesondere PET), ablösbar oder nicht ablösbar angeordnet sein.

25

Eine oder mehrere der Dekorschichten weisen beispielsweise eine oder mehrere der folgenden Schichten auf:

- Ein oder mehrere der Dekorschichten weisen vorzugsweise ein oder mehrere
30 metallische Schichten auf, welche vorzugsweise jeweils nicht vollflächig sondern lediglich partiell in dem Sicherheitselement vorgesehen sind. Die metallischen

Schichten können hierbei opak, transluzent oder semitransparent ausgebildet sein. Vorzugsweise werden die metallischen Schichten hierbei von unterschiedlichen Metallen gebildet, welche deutlich unterschiedliche Reflexions- und/oder Transmissionsspektren aufweisen. Beispielsweise werden die Metallschichten von Aluminium, Kupfer, Gold, Silber, Chrom, Zinn oder einer Legierung dieser Metalle gebildet. Weiterhin können die metallischen Bereiche gerastert und/oder mit lokal unterschiedlichen Schichtdicken ausgestaltet sein.

Die ein oder mehreren Metallschichten sind hierbei vorzugsweise musterförmig strukturiert in der Form, dass diese ein oder mehrere Bildelemente umfassen, in denen das Metall der Metallschicht vorgesehen ist und einen Hintergrundbereich umfassen, in denen das Metall der Metallschichten nicht vorgesehen ist. Die Bildelemente können hierbei vorzugsweise in Form von alphanumerischen Zeichen, jedoch auch von Grafiken und komplexen Darstellung von Objekten gebildet sein.

Ein oder mehrere der Dekorschichten umfassen weiter insbesondere ein oder mehrere Farbschichten, insbesondere lasierende Farben. Bei diesen Farbschichten handelt es sich bevorzugt um Farbschichten, welche mittels eines Druckverfahrens aufgebracht werden, und welche ein oder mehrere Farbstoffe und/oder Pigmente aufweisen, welche in einer Bindemittelmatrix eingebunden sind. Die Farbschichten, insbesondere Farben, können transparent, klar, teilweise streuend, transluzent oder intransparent bzw. deckend sein.

Weiter weisen ein oder mehrere der Dekorschichten vorzugsweise ein oder mehrere optisch aktive Reliefstrukturen auf, welche vorzugsweise jeweils in die Oberfläche einer replizierten Lackschicht eingebracht sind. Bei diesen Reliefstrukturen handelt es sich bevorzugt um diffraktive Reliefstrukturen, wie beispielsweise Hologramme, Beugungsgitter, fresnelsche Freiformflächen, Beugungsgitter mit symmetrischen oder asymmetrischen Profilformen und/oder Beugungsstrukturen Nullter Ordnung. Bei diesen Reliefstrukturen kann es sich auch um isotrope und/oder anisotrope streuende Mattstrukturen, Blaze-Gitter und/oder im Wesentlichen in Reflexion

und/oder in Transmission wirkende Reliefstrukturen, wie beispielsweise Mikrolinsen, Mikroprismen oder Mikrospiegel handeln.

Eine oder mehrere der Dekorschichten weisen insbesondere ein oder mehrere
5 Flüssigkristallschichten auf, welche zum einen eine von der Polarisierung des einfallenden Lichts abhängige und zum anderen eine wellenlängenselektive Reflexion und/oder Transmission des einfallenden Lichts abhängig von der Ausrichtung der Flüssigkristalle generieren.

10 Unter „HRI-Schicht“ wird insbesondere eine Schicht mit einem hohen Brechungsindex verstanden, welche beispielsweise vollständig oder teilweise aus TiO_2 oder ZnS besteht oder aus einer aufgedampften Schicht aus einem Metalloxid, Metallsulfid, Titandioxid, etc., besteht. Insbesondere weist eine HRI-Schicht eine Schichtdicke von 10 nm bis 150 nm, auf.

15 Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder wird das Höhenprofil des bereitgestellten Hologramms in einen Dünnschichtaufbau, insbesondere in einen Fabry-Perot-Schichtaufbau eingebracht. Typischerweise wird der Dünnschichtaufbau auf das replizierte Höhenprofil des Hologramms aufgebracht. Bevorzugt weist der
20 Fabry-Perot-Schichtaufbau zumindest eine erste semitransparente Absorberschicht, zumindest eine transparente Abstandsschicht und zumindest eine zweite semitransparente Absorberschicht oder eine opake Reflexionsschicht auf.

Unter „Dünnschichtaufbau“ wird insbesondere ein Aufbau aus Dünnschichtelementen
25 verstanden, welcher einen blickwinkelabhängigen Farbverschiebungseffekt generiert, basierend auf einer Anordnung von Schichten, welche eine optische Dicke im Bereich einer halben Wellenlänge ($\lambda/2$) oder einer viertel Wellenlänge ($\lambda/4$) des einfallenden Lichts bzw. der einfallenden elektromagnetischen Welle, insbesondere des einfallenden virtuellen elektromagnetischen Feldes, aufweist. Konstruktive
30 Interferenz in einer Interferenzschicht mit einem Brechungsindex n und einer Dicke d berechnet sich wie folgt:

$$2nd \cos(\Theta) = m\lambda,$$

wobei Θ der Winkel zwischen der Beleuchtungsrichtung und der

5 Betrachtungsrichtung, λ die Wellenlänge des Lichts und m eine ganze Zahl ist. Diese Schichten umfassen vorzugsweise eine Abstandsschicht, insbesondere angeordnet zwischen einer Absorptionsschicht und einer Reflexionsschicht oder sind bevorzugt von einer Schicht umfassend Dünnschichtpigmente gebildet.

10 Unter „semitransparent“ wird insbesondere eine Transmissivität im infraroten, sichtbaren und/oder ultravioletten Wellenlängenbereich verstanden, welche zwischen 10% und 70%, bevorzugt zwischen 10% und 50%, liegt, wobei vorzugsweise ein nicht zu vernachlässigender Teil der einfallenden elektromagnetischen Wellen, insbesondere des einfallenden Lichts, absorbiert wird.

15

Vorzugsweise weist die erste semitransparente Absorberschicht eine Schichtdicke zwischen 5 nm und 15 nm auf. Die Absorberschicht besteht bevorzugt aus Aluminium, Silber, Kupfer, Zinn, Nickel, Inconel (korrosionsbeständige Nickelbasislegierungen der Firma Special Metals Corporation, Huntington, West

20

Virginia, USA), Titan oder Chrom.

Vorzugsweise weist die transparente Abstandsschicht eine Schichtdicke zwischen 300 nm und 600 nm auf. Die Abstandsschicht besteht bevorzugt aus Polymer, SiO_2 oder MgF_2 .

25

Vorzugsweise besteht die transparente Abstandsschicht aus einer gedruckten Polymerschicht, welche insbesondere mittels Tiefdruck, Schlitzgießen oder im Inkjet-Druck aufgebracht wird.

Vorzugsweise weist die opake Spiegelschicht eine Schichtdicke zwischen 5 nm und 50 nm auf. Die Spiegelschicht besteht bevorzugt aus Aluminium, Silber, Kupfer, Zinn oder Chrom.

- 5 Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder wird das Höhenprofil des bereitgestellten Hologramms in bzw. auf ein opakes Substrat, insbesondere in bzw. auf opake Papierdokumente oder in bzw. auf opake Papierbanknoten eingebracht oder appliziert.
- 10 Unter „opak“ wird insbesondere verstanden, dass kein Licht im infraroten, sichtbaren und/oder ultravioletten Wellenlängenbereich oder nur eine zu vernachlässigende Menge an Licht im infraroten, sichtbaren bzw. ultravioletten Wellenlängenbereich, insbesondere weniger als 10%, weiter bevorzugt weniger als 5%, durch das opake Substrat, insbesondere durch die opaken Papierdokumente, bevorzugt durch die
- 15 opaken Papierbanknoten, transmittiert wird.

- Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder wird das Höhenprofil des bereitgestellten Hologramms in zumindest einen Fensterbereich, insbesondere in bzw. auf zumindest einen Fensterbereich einer ID1-Karte, oder in bzw. auf ein
- 20 transparentes Substrat, insbesondere in bzw. auf eine transparente Polymerbanknote, eingebracht oder appliziert, wodurch das Höhenprofil des Hologramms zumindest von der Vorder- und Rückseite und/oder bei Durchlichtbetrachtung erfassbar ist. Der Fensterbereich kann insbesondere eine Durchbrechung des Substrats sein und/oder ein nicht durchbrochener transparenter
- 25 Bereich des Substrats.

- Unter „transparent“ wird insbesondere eine Transmissivität im infraroten, sichtbaren und/oder ultravioletten Wellenlängenbereich verstanden, welche zwischen 70% und 100%, bevorzugt zwischen 80% und 95%, liegt, wobei vorzugsweise ein zu
- 30 vernachlässigender Teil der einfallenden elektromagnetischen Wellen, insbesondere des einfallenden Lichts, absorbiert wird.

Unter „ID1-Karte“ ist insbesondere ein Sicherheitsdokument oder eine Karte mit einer Abmessung von 85,6 mm x 53,99 mm verstanden, wobei die Abmessungen des Sicherheitsdokuments oder der Karte dem ID1-Format entsprechen. Insbesondere
5 liegt der Radius von Sicherheitsdokumenten bzw. Karten mit abgerundeten Ecken nach Vorgabe des ID1-Formats zwischen 2,88 mm und 3,48 mm.

Es ist möglich, dass das Substrat vor oder nach Einbringen des Höhenprofils zur Bereitstellung des Hologramms mit einer lasierenden Farbschicht versehen wird,
10 welche die Funktion eines Farbfilters aufweist. Das Versehen mit einer lasierenden Farbschicht kann auch erst nach Einbringen des Höhenprofils und Aufbringen einer Metallschicht und/oder einer transparenten hoch- oder niedrigbrechenden Schicht erfolgen. Beispielsweise ändert die lasierende Farbschicht das achromatische weiße
Erscheinungsbild des bereitgestellten Hologramms für einen Beobachter und/oder
15 Sensor in ein monochromatisches Erscheinungsbild.

Vorzugsweise wird das Hologramm in das Substrat durch Belichtung eines Volumenhologrammmaterials eingebracht, wobei die Objektwelle von dem dem Hologramm zugeordneten Höhenprofil und/oder den zugeordneten Höhenprofilen
20 ausgeht. Insbesondere werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder wird das Höhenprofil des Hologramms in den Verlauf der Bragg-Ebenen des hierdurch generierten Volumenhologramms transformiert.

Es ist möglich, die zugeordneten Höhenprofile und/oder das Höhenprofil des
25 Hologramms in einen Shim einzubringen und diesen Shim als Master zur Erzeugung des Volumenhologramms zu belichten. Hierdurch wird der optische variable Effekt des Hologramms insbesondere auf das Volumenhologramm übertragen und der optische variable Effekt des Volumenhologramms ist für einen Beobachter und/oder Sensor vorzugsweise in der Farbe des zur Beleuchtung verwendeten Laserlichts
30 erfassbar. Insbesondere erfolgt die Belichtung des Masters zur Erzeugung des Volumenhologramms durch einen oder mehrere insbesondere monochromatische

Laser, beispielsweise einen oder mehrere rote, gelbe, grüne, türkise oder blaue Laser.

Untersuchungen haben dabei gezeigt, dass es vorteilhaft ist, die maximale Höhe
5 oder die maximale Tiefe des Höhenprofils auf die Wellenlänge des Lasers
anzupassen, welcher zur Belichtung des Masters zur Erzeugung des
Volumenhologramms eingesetzt wird. Insbesondere stimmt die Wellenlänge aller der
virtuellen Lichtquellen, bevorzugt aller der virtuellen Punktlichtquellen, mit der
Wellenlänge des Lasers überein. Die Differenz zwischen der minimalen Tiefe und der
10 maximalen Tiefe oder der minimalen Höhe und der maximalen Höhe des in den
Master eingebrachten zugeordneten Höhenprofils und/oder des Höhenprofils des
Hologramms entspricht vorzugsweise einer halben optischen Wellenlänge oder
einem Vielfachen der halben optischen Wellenlänge des Lasers, insbesondere bei
Ausführung des Masters als Reflexionshologramm.

15 Vorzugsweise wird in das Substrat zusätzlich zu den zugeordneten Höhenprofilen
und/oder zum Höhenprofil des Hologramms das Höhenprofil zumindest einer
weiteren optisch variablen Struktur eingebracht, ausgewählt aus: einer diffraktiven
Reliefstruktur, insbesondere eines Beugungsgitters, einer fresnelschen Freiformlinse,
20 einer Beugungsstruktur Nullter Ordnung, eines Blaze-Gitters, einer
Mikrospiegelstruktur, einer isotropen oder anisotropen Mattstruktur, einer
Mikrolinsenstruktur.

Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder wird das Höhenprofil
25 des Hologramms in ein oder mehrere erste Bereiche des Substrats eingebracht und
das Höhenprofil der zumindest einen weiteren optisch variablen Struktur
insbesondere in ein oder mehrere zweite Bereiche des Substrats eingebracht wird.

Vorzugsweise überlappen zumindest ein oder mehrere der zweiten Bereiche und ein
30 oder mehrere der ersten Bereiche zumindest teilweise.

Vorzugsweise überlappen die ein oder mehreren ersten Bereiche die ein oder mehreren zweiten Bereiche nicht. Bevorzugt sind die ein oder mehreren ersten Bereiche und die ein oder mehreren zweiten Bereiche benachbart zueinander angeordnet. Weiter bevorzugt sind die ein oder mehreren ersten Bereiche und die
5 ein oder mehreren zweiten Bereiche ineinander verschachtelt angeordnet und/oder einer der ersten oder zweiten Bereiche umschließt einen anderen der ersten oder zweiten Bereiche.

Insbesondere legt der Betrachtungswinkel fest, in welchem Raumwinkel das
10 bereitgestellte Hologramm für einen Beobachter und/oder einen Sensor erfassbar ist. Typischerweise ist das Hologramm nahe der direkten Reflexion erkennbar. Durch Hinzufügen einer Referenzwelle bei der Berechnung des Hologramms ist es möglich, den Betrachtungswinkel von der direkten Reflexion weg zu bringen. Bevorzugt wird das bereitgestellte Hologramm derart berechnet, dass es bei Kippen des Substrats
15 zu sehen ist, wobei der Betrachtungswinkel bezüglich der Flächennormalen, welche durch die Ebene des Substrats aufgespannt wird, zwischen $15^\circ \pm 10^\circ$ bis $25^\circ \pm 10^\circ$, bevorzugt $20^\circ \pm 10^\circ$, beträgt. Das bereitgestellte Hologramm kann auch derart berechnet sein, dass es bei starkem Kippen des Substrats zu sehen ist, wobei der Betrachtungswinkel bezüglich der Flächennormalen bevorzugt zwischen $30^\circ \pm 25^\circ$ bis
20 $65^\circ \pm 25^\circ$, weiter bevorzugt $20^\circ \pm 15^\circ$ bis $75^\circ \pm 15^\circ$, insbesondere bevorzugt $10^\circ \pm 5^\circ$ bis $85^\circ \pm 5^\circ$, beträgt.

Es ist möglich, dass das Licht senkrecht, das heißt parallel zur durch die Ebene des Substrats aufgespannten Flächennormale, auf das Substrat einfällt und dass die
25 Motive des bereitgestellten Hologramms hierdurch insbesondere unter einem schrägem Winkel bevorzugt zwischen $30^\circ \pm 25^\circ$ bis $65^\circ \pm 25^\circ$, weiter bevorzugt $20^\circ \pm 15^\circ$ bis $75^\circ \pm 15^\circ$, insbesondere bevorzugt $10^\circ \pm 5^\circ$ bis $85^\circ \pm 5^\circ$, von einem Beobachter und/oder einem Sensor erfassbar sind.

30 Weiter ist es möglich, dass die Motive des bereitgestellten Hologramms aus der antiparallelen oder umgekehrten Richtung von einem Beobachter und/oder einem

Sensor erfassbar sind, wie die Einfallsrichtung des Lichtes, welches bevorzugt in einem schrägen Winkel auf das Substrat einfällt.

Bevorzugt wird das bereitgestellte Hologramm mit einem Oberflächenrelief, z.B. einer
5 fresnelschen Freiformlinse ineinander gerastert. Hierbei wird bevorzugt ein und dasselbe 3D-Objekt in der gleichen Größe mit beiden Strukturtypen realisiert. Beispielsweise kann das 3D-Objekt die Ansicht eines Berges, z.B. des Matterhorns, sein. Die gerasterte oder überlagerte Kombination der beiden Effekte ergibt ein komplexeres Erscheinungsbild als das jeweilige Erscheinungsbild nur eines der
10 beiden Effekte. Dies erhöht den Fälschungsaufwand des Sicherheitselements, welches das bereitgestellte Hologramm umfasst, und/oder des Sicherheitsdokuments, welches das bereitgestellte Hologramm umfasst, erheblich.

Ferner ist es möglich, das bereitgestellte Hologramm mit fresnelschen
15 Freiformlinsen-Elementen zu ergänzen so dass bei einem oder mehreren der Motive aus statischen und sich bewegenden Teilen die statischen als fresnelsche Freiformlinse und die dynamischen Teile als bereitgestelltes Hologramm ausgeführt werden. Beispielsweise könnte man den Körper eines Löwen, insbesondere inklusive der Beine, als Oberflächenrelief bereitstellen und den Kopf des Löwen hingegen als
20 bereitgestelltes Hologramm bereitstellen. Beim Kippen des Sicherheitselementes wird insbesondere der Kopf des Löwen eine Bewegung bzw. einen optisch variablen Effekt bereitstellen und sich beispielsweise leicht um die durch die Flächennormale des Substrats aufgespannten Achse drehen, während der Körper des Löwen insbesondere statisch ist bzw. nur einen schwach optisch variablen Effekt bereitstellt.

25 Weiter ist es möglich, das bereitgestellte Hologramm derart zu berechnen, dass es in einem kleinen Abstand vor dem Auge eines Beobachters und/oder eines Sensors erscheint und von dem Beobachter bzw. dem Sensor erfasst wird, wobei der Beobachtungsabstand des bereitgestellten Hologramms vorzugsweise zwischen
30 0,1 cm und 40 cm, insbesondere zwischen 1 cm und 10 cm, beträgt.

Weiter ist das bereitgestellte Hologramm derart berechnet, dass ein Beobachter und/oder ein Sensor die ein oder mehreren Motive des bereitgestellten Hologramms bei Beobachtung des bereitgestellten Hologramms in Richtung einer Lichtquelle erfasst. Dieser optische Effekt gleicht insbesondere der Beobachtung eines Raums
5 durch ein Schlüsselloch.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von mehreren Ausführungsbeispielen unter Zuhilfenahme der beiliegenden Zeichnungen beispielhaft erläutert. Dabei zeigen:

- | | | |
|----|----------|---|
| 10 | Fig. 1 | zeigt schematisch einen Verfahrensschritt |
| | Fig. 2 | zeigt schematisch einen Verfahrensschritt |
| | Fig. 3 | zeigt ein Mikroskopbild eines Höhenprofils |
| 15 | Fig. 4 | zeigt ein Mikroskopbild eines Höhenprofils |
| | Fig. 5 | zeigt ein Höhenprofil |
| 20 | Fig. 6 | zeigt eine perspektivische Darstellung eines Höhenprofils |
| | Fig. 7 | zeigt schematisch ein Sicherheitsdokument |
| | Fig. 8 | zeigt schematisch einen Verfahrensschritt |
| 25 | Fig. 9 | zeigt schematisch einen Verfahrensschritt |
| | Fig. 10 | zeigt eine Photographie eines Hologramms |
| 30 | Fig. 10a | zeigt eine Photographie eines Designs |

	Fig. 10b	zeigt eine Photographie eines Designs
	Fig. 11	zeigt schematisch ein Hologramm
5	Fig. 12	zeigt schematisch ein Hologramm
	Fig. 13	zeigt schematisch ein Hologramm
	Fig. 14	zeigt schematisch ein Sicherheitsdokument
10	Fig. 15	zeigt schematisch ein Sicherheitsdokument
	Fig. 16	zeigt schematisch ein Sicherheitsdokument
15	Fig. 17	zeigt schematisch ein Sicherheitsdokument
	Fig. 18	zeigt schematisch ein Sicherheitselement
	Fig. 19	zeigt schematisch ein gebogenes Sicherheitselement
20	Fig. 20	zeigt schematisch eine Anordnung von Hologrammebenen
	Fig. 21	zeigt eine Photographie eines Hologramms
25	Fig. 22	zeigt eine Photographie eines gebogenen Hologramms
	Fig. 23	zeigt eine Photographie eines Hologramms
	Fig. 24	zeigt eine Photographie eines gebogenen Hologramms
30	Fig. 25	zeigt schematisch einen Verfahrensschritt

Fig. 26 zeigt schematisch einen Verfahrensschritt

Fig. 27 zeigt schematisch einen Verfahrensschritt

5

Fig. 28 zeigt schematisch einen Verfahrensschritt

Fig. 29 zeigt schematisch einen Verfahrensschritt

10 Die Figur 1 zeigt einen Verfahrensschritt eines Verfahrens zur Herstellung eines Hologramms, insbesondere eines Hologramms für Sicherheitselemente und/oder Sicherheitsdokumente. Eine erste virtuelle Hologrammebene 10a ist bezüglich einer Richtung z rechts eines ersten virtuellen Modells 20a angeordnet. Eine zweite virtuelle Hologrammebene 10b ist bezüglich der Richtung z derart angeordnet, dass
15 die zweite virtuelle Hologrammebene 10b das zweite virtuelle Modell 20b schneidet. Eine dritte virtuelle Hologrammebene 10c ist bezüglich der Richtung z links zu einem dritten virtuellen Modell 20c angeordnet. Die erste, zweite und dritte virtuelle Hologrammebene verläuft parallel zur Ebene x/y.

20 Das erste, zweite und dritte virtuelle Modell 20a, 20b, 20c gleicht der Oberfläche eines menschlichen Kopfes, wobei die Oberfläche durch eine Gitterstruktur angenähert ist.

Insbesondere wird das erste, zweite und dritte virtuelle Modell 20a, 20b, 20c jeweils
25 als ein virtuelles 2D-Modell oder als ein virtuelles 3D-Modell ausgebildet.

Vorzugsweise werden eine oder mehrere virtuelle Hologrammebenen 10a, 10b, 10c vor und/oder hinter ein oder mehreren virtuellen Modellen 20a, 20b, 20c angeordnet und/oder eine oder mehrere virtuelle Hologrammebenen 10a, 10b, 10c schneiden
30 insbesondere ein oder mehrere virtuelle Modelle 20a, 20b, 20c.

Weiter ist es möglich, mehrere Modelle 20a, 20b, 20c auf verschiedene virtuelle Hologrammebenen 10a, 10b, 10c zur Herstellung eines Hologramms bereitzustellen.

Die Figur 2 zeigt weitere Verfahrensschritte zur Herstellung eines Hologramms, wobei in zwei Teilbereichen 21a, 21b der Oberfläche eines virtuellen Modells 20d, welches der Form der vorstehenden Modelle 20a, 20b, 20c gleicht, jeweils eine virtuelle Lichtquelle 30a bzw. 30b in einem Abstand z_1 bzw. z_2 zu einer virtuellen Hologrammebene 10d angeordnet werden.

In einem weiteren Verfahrensschritt werden je ein virtuelles elektromagnetisches Feld 40a, 40b ausgehend von je einer der virtuellen Lichtquellen 30a, 30b in ein oder mehreren Zonen 11a, 11b der virtuellen Hologrammebene 10d berechnet.

Die virtuellen Lichtquellen 30a, 30b strahlen dabei insbesondere als virtuelle Punktlichtquellen virtuelle Kugelwellen anisotrop in die Raumwinkel Ω , welche die virtuelle Hologrammebene in den Zonen 11a, 11b schneiden. Gegenüber einer isotropen Abstrahlung in alle Raumwinkel wird insbesondere Rechenzeit und damit Kosten gespart, da die Berechnung der anisotropen Abstrahlung der virtuellen elektromagnetischen Felder 40a, 40b deutlich weniger aufwändig ist.

Vorzugsweise weisen die virtuellen elektromagnetischen Felder 40a, 40b, welche von den zwei virtuellen Lichtquellen 30a, 30b ausgehen, eine isotrope oder eine anisotrope Intensitätsverteilung über ein oder mehrere Raumwinkel, insbesondere über den gesamten Raumwinkel, auf.

Es ist möglich, dass die virtuellen elektromagnetischen Felder 40a, 40b, welche von den zwei virtuellen Lichtquellen 30a, 30b ausgehen, die gleiche Intensität und/oder die gleiche Intensitätsverteilung über den gesamten Raumwinkel aufweisen.

Weiter ist es möglich, dass die virtuellen elektromagnetischen Felder 40a, 40b, welche von den zwei virtuellen Lichtquellen 30a, 30b ausgehen, unterschiedliche

Intensitäten und/oder unterschiedliche Intensitätsverteilungen über ein oder mehrere Raumwinkel, insbesondere über den gesamten Raumwinkel, aufweisen.

- 5 Bevorzugt wird ein virtuelles elektromagnetisches Feld U_i ausgehend von einer i-ten virtuellen Punktlichtquelle an einem Punkt (x_i, y_i, z_i) an einem Punkt (x_h, y_h, z_h) der zumindest einen Zone 11a oder 11b, insbesondere mittels der Gleichung

$$U_i(x_h, y_h) = \frac{\exp(ikr)}{r}, \quad r = \sqrt{(x_h - x_i)^2 + (y_h - y_i)^2 + z_i^2},$$

berechnet, wobei die Abstrahlung hier isotrop erfolgt.

- 10 Vorzugsweise erfolgt die Beschränkung der Abstrahlung der virtuellen elektromagnetischen Felder 40a, 40b in die zwei Zonen 11a, 11b der virtuellen Hologrammebene 10d mittels jeweils einer virtuellen Blende, wobei der Strahlkegel der virtuellen Lichtquellen 30a, 30b, auf einen Raumwinkel von $\pm 45^\circ$, bevorzugt $\pm 35^\circ$, weiter bevorzugt $\pm 25^\circ$ und insbesondere $\pm 15^\circ$, beschränkt wird.

15

Insbesondere werden die virtuellen Lichtquellen 30a, 30b, welche in den jeweiligen Teilbereichen der Oberfläche 21a, 21b des virtuellen Modells 20d angeordnet sind, in zumindest eine Richtung periodisch auf den zwei Teilbereichen der Oberfläche 21a, 21b des virtuellen Modells 20d angeordnet und/oder in zumindest einer Richtung
20 zufällig oder pseudo-zufällig auf die zwei Teilbereiche der Oberfläche 21a, 21b des virtuellen Modells 20d angeordnet.

Die Abstände der benachbarten virtuellen Lichtquellen 30a, 30b liegen insbesondere zwischen 5 μm und 500 μm , bevorzugt zwischen 10 μm und 200 μm .

25

Weiter bevorzugt erfolgt die Anordnung der virtuellen Lichtquellen 30a, 30b als ein Kreuzraster, wobei der zwei virtuellen Lichtquellen 30a, 30b zueinander zwischen 5 μm und 500 μm , insbesondere zwischen 10 μm und 200 μm , beträgt.

Es ist möglich, dass die zwei virtuellen Lichtquellen 30a, 30b die Form von Mikrosymbolen aufweisen, insbesondere ausgewählt aus: Buchstabe, Portrait, Bild, alphanumerisches Zeichen, Schriftzeichen, geometrische Freiform, Quadrat, Dreieck, Stern, Mond, Kreis, Denominationszeichen, länderspezifisches Symbol (z.B. Schweizer Kreuz, Bundesadler, Ahornblatt), gekrümmte Linie oder Umriss (z.B. eine Kontur von Landesgrenzen).

Weiter bevorzugt liegen die lateralen Abmessungen der Mikrosymbole auf den Teilbereichen der Oberfläche 21a, 21b des virtuellen Modells 20d zwischen 5 μm und 500 μm , insbesondere zwischen 10 μm und 200 μm .

Vorzugsweise wird das virtuelle Modell 20d oder werden jedes der zwei oder mehreren virtuellen Modelle 20a, 20b, 20c zwei oder mehreren der virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c, 10d zugeordnet und in den ein oder mehreren Zonen 11a, 11b der jeweiligen virtuellen Hologrammebene 10a, 10b, 10c, 10d die von den ein oder mehreren virtuellen Lichtquellen 30a, 30b des zugeordneten virtuellen Modells 20d bzw. der zugeordneten virtuellen Modelle 20a, 20b, 20c ausgehenden ein oder mehreren virtuellen elektromagnetischen Felder 40a, 40b berechnet.

Weiter bevorzugt werden zur Berechnung der ein oder mehreren Phasenbilder 50 die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder 41 von zwei der Zonen 11a, 11b, insbesondere von zwei der Zonen 11a, 11b, welche Zonen unterschiedlicher der virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c, 10d sind, überlagert, insbesondere basierend auf einer vorgegebenen Referenzrichtung, überlagert.

Insbesondere überlappen sich die zur Berechnung der ein oder mehreren Phasenbilder 50 überlagerten zwei oder mehreren Zonen 11a, 11b in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, so dass vorzugsweise zwei oder mehrere von unterschiedlichen Zonen 11a, 11b in dem bereitgestellten Hologramm 1 bereitgestellte Motive 22a, 22b, 22c, 22d in Bezug auf

die vorgegebene Referenzrichtung in sich überschneidenden Oberflächenbereichen des bereitgestellten Hologramms 1 generiert werden.

Vorzugsweise überlappen sich die zur Berechnung der ein oder mehreren
5 Phasenbilder 50 überlagerten zwei oder mehreren Zonen 11a, 11b in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung nicht, so dass vorzugsweise zwei oder mehrere von unterschiedlichen Zonen 11a, 11b in dem bereitgestellten Hologramm 1 bereitgestellte Motive 22a, 22b, 22c, 22d in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung in getrennten Oberflächenbereichen des bereitgestellten
10 Hologramms 1 generiert werden.

In einem weiteren Verfahrensschritt werden in den zwei Zonen 11a, 11b jeweils ein virtuelles elektromagnetisches Gesamtfeld basierend auf der Summe der zwei virtuellen elektromagnetischen Felder 40a, 40b in der jeweiligen Zone 11a, 11b und
15 eines virtuellen Referenzfeldes 43 berechnet. Bevorzugt werden hierbei die virtuellen elektromagnetischen Felder 40a, 40b in der jeweiligen Zone 11a bzw. 11b mit dem komplex konjugierten virtuellen Referenzfeld 43, welches insbesondere von einer virtuellen Referenzlichtquelle 33 ausgeht, multipliziert und die elektromagnetischen Gesamtfelder in den jeweiligen Zone 11a bzw. 11b berechnet.

20

Vorzugsweise simuliert das virtuelle Referenzfeld 43 eine nicht isotrope Beleuchtung des virtuellen 3D-Modells 20d, insbesondere die Beleuchtung mit dem virtuellen Referenzfeld 43 der zugeordneten Referenzlichtquelle 33. Beispielsweise wird mittels
25 des virtuellen Referenzfeldes 43 die Beleuchtung des virtuellen 3D-Modells 20d mit einer Taschenlampe, bevorzugt mit dem LED-Blitz eines Smartphones, simuliert, wobei der Abstand zwischen der Lichtquelle und der virtuellen Hologrammebene 10d insbesondere zwischen 5 cm und 35 cm und bevorzugt zwischen 15 cm und 25 cm liegt.

30 Vorzugsweise weist die Propagationsrichtung oder die Ausbreitungsrichtung des virtuellen Referenzfeldes 43 einen Winkel zwischen 10° und 50° , insbesondere

zwischen 15° und 45° , weiter bevorzugt 30° bis 40° zu der Flächennormalen oder zu der mittleren Flächennormale der virtuellen Hologrammebene 10d auf und/oder der Strahlkegel der virtuellen Referenzlichtquelle 33 weist insbesondere einen Öffnungswinkel zwischen 0° und 45° Grad auf, weiter bevorzugt 0° und 15° und/oder
5 die virtuelle Referenzlichtquelle 33 weist bevorzugt eine Beabstandung zu der virtuellen Hologrammebene 10d zwischen 0,01 m und 10 m, weiter bevorzugt 0,1 m und 2 m und insbesondere bevorzugt 0,2 und 1 m auf. In einer bevorzugten Ausgestaltungsform ist die virtuelle Referenzlichtquelle 33 unendlich weit weg von der Hologrammebene 10d beabstandet. In diesem Fall strahlt die Referenzlichtquelle
10 33 ebene Wellen auf die Hologrammebene 10d.

In einem weiteren Verfahrensschritt werden ein oder mehrere Phasenbilder aus den virtuellen elektromagnetischen Gesamtfeldern in den ein oder mehreren Zonen 11a, 11b berechnet.

15

In einem weiteren Verfahrensschritt wird aus den ein oder mehreren Phasenbildern ein Höhenprofil des Hologramms berechnet und das Höhenprofil des Hologramms zur Bereitstellung des Hologramms in ein Substrat eingebracht.

20 Die Figuren 3 und 4 zeigen beispielhafte Mikroskopbilder jeweils eines anderen Ausschnitts eines Höhenprofils 60a bzw. 60b des Hologramms. Als virtuelles Modell wurde hier jeweils der Umriss bzw. die Landesgrenzen der Schweiz gewählt.

Die Figur 5 zeigt ein in ein Substrat eingebrachtes Höhenprofil als Graustufenbild
25 61a. Das zugrunde liegende virtuelle Modell entspricht dem Umriss bzw. den Landesgrenzen der Schweiz.

Vorzugsweise werden bei der Berechnung des Höhenprofils 60a, 60b des bereitgestellten Hologramms ein oder mehrere der Phasenbilder in ein oder mehrere
30 zugeordnete Höhenprofile transformiert, insbesondere linear transformiert. Insbesondere wird das Höhenprofil 60a, 60b des bereitgestellten Hologramms mittels

Überlagerung und/oder Rasterung der den ein oder mehreren Phasenbildern zugeordneten Höhenprofilen erstellt.

Es ist möglich, dass eines oder mehrere der zugeordneten Höhenprofile zur
5 Bereitstellung des Hologramms in ein Substrat eingebracht werden, wobei die zugeordneten Höhenprofile im Substrat bevorzugt überlagert und/oder gerastert vorliegen.

Die Figur 6 zeigt das in der Figur 5 dargestellte Höhenprofil 61a als perspektivische
10 3D Ansicht. Die lateralen Erstreckungen des Höhenprofils 61a in der Richtung x, y und z betragen jeweils 96 μm , 72,2 μm und 0,6 μm .

Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder das Höhenprofil 60a, 60b des bereitgestellten Hologramms als Graustufenbild kodiert, bei welchem den
15 Grauwerten Höhenwerte, insbesondere normierte Höhenwerte, zugeordnet werden. Bevorzugt weisen die minimalen Höhenwerte einen Wert von 0 und die maximalen Höhenwerte einen Wert von 2π auf.

Vorzugsweise entspricht die Differenz zwischen dem minimalen Höhenwert des in
20 das Substrat eingebrachten Höhenprofils 60a, 60b und die maximalen Höhenwerte des in das Substrat eingebrachten Höhenprofils 60a, 60b einer optischen Wegdifferenz von der Hälfte oder einem Vielfachen der Hälfte einer Referenzwellenlänge, wobei das bereitgestellte Hologramm insbesondere als Reflexionshologramm bereitgestellt wird. Beispielsweise entspricht die
25 Referenzwellenlänge der Wellenlänge der virtuellen elektromagnetischen Felder 40a, 40b.

Im Falle der Ausbildung des bereitgestellten Hologramms als Transmissionshologramm, entspricht die Differenz zwischen dem minimalen
30 Höhenwert des in das Substrat eingebrachten Höhenprofils 60a, 60b und dem maximalen Höhenwert des in das Substrat eingebrachten Höhenprofils 60a, 60b


vorzugsweise einer optischen Wegdifferenz von einer Referenzwellenlänge oder einem Vielfachen einer Referenzwellenlänge.


Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder die Höhenprofile 60a, 5 60b des bereitgestellten Hologramms in das Substrat, insbesondere in ein Substrat aufweisend eine Resistschicht, insbesondere eine Photoresistschicht, bevorzugt mittels eines Verfahrens, ausgewählt aus: Laserstrahlithographie und Elektronenstrahlithographie eingebracht. Bei beiden Verfahren wird das das Höhenprofil kodierende Graustufenbild durch Variation der Intensität des 10 verwendeten Strahls in eine Resistschicht geschrieben. Nach Entwicklung der belichteten Resistschicht ist das Höhenprofil in der Resistschicht bereitgestellt.

Es ist weiter möglich, die zugeordneten Höhenprofile und/oder das Höhenprofil 60a, 60b des bereitgestellten Hologramms in das Substrat mittels eines 15 Replizierverfahrens, insbesondere mittels thermischer Replikation oder UV-Replikation einzubringen.

Insbesondere werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder die Höhenprofile 60a, 60b des bereitgestellten Hologramms mittels der Verfahren Galvanik, Rekombination 20 und Roll-to-roll Replikation in eine Folie, insbesondere in eine zumindest eine Metallschicht und/oder eine transparente hoch- oder niedrigbrechende Schicht aufweisende Folie, eingebracht. Bevorzugt weist die Folie eine HRI-Schicht auf. Die Metallschicht und/oder hoch- oder niedrigbrechende Schicht wird für gewöhnlich nach dem Roll-to-Roll Replikationsschritt auf das oder die Höhenprofile auf der Folie 25 aufgebracht.

Das oder die Höhenprofile können noch mit weiteren Schichten kombiniert, insbesondere zwischen diese weiteren Schichten einbettet sein. Solche weiteren Schichten können Schutzschichten, Haftvermittlerschichten, Kleberschichten, 30 Barrierschichten, Dekorschichten, Reflexionsschichten.

Die Figur 7 zeigt ein Sicherheitsdokument 1b umfassend ein Substrat 2, welches einen Sicherheitsstreifen 65 aufweist, wobei der Sicherheitsstreifen 65 drei optisch variable Strukturen 63 umfasst. Die optisch variablen Strukturen 63 sind als Zahl „25“, als ein Porträt und als ein fiktives Denominationszeichen  ausgebildet.

- 5 Beispielsweise sind die optisch variablen Strukturen „25“ und  als bei Beleuchtung diffraktiv aufleuchtende Flächen ausgebildet und der optische Eindruck des Portraits, welches als fresnelsche Freiformfläche ausgebildet ist, wird bei Beleuchtung des Oberflächenreliefs für einen Beobachter und/oder einen Sensor erfassbar.
- 10 Vorzugsweise werden in den Sicherheitsstreifen 65 zusätzlich zu dem Sicherheitselement 1a, welches das zugeordnete Höhenprofil und/oder ein oder mehrere Höhenprofile 60a, 60b des Hologramms 1 beinhaltet, das Höhenprofil zumindest einer weiteren optisch variablen Struktur 63 eingebracht, insbesondere ausgewählte aus: einer diffraktiven Reliefstruktur, insbesondere eines
- 15 Beugungsgitters, einer fresnelschen Freiformlinse, einer Beugungsstruktur nullter Ordnung, eines Blaze-Gitters, einer Mikrospiegelstruktur, einer isotropen oder anisotropen Mattstruktur und/oder einer Mikrolinsenstruktur.

- Der Dokumentenkörper des Sicherheitsdokuments 1b ist vorzugsweise mehrlagig
- 20 ausgebildet und umfasst das Substrat 2, welches von einem Papiersubstrat und/oder Kunststoffsubstrat gebildet wird.

- Der Sicherheitsstreifen 65 ist vorzugsweise ebenfalls mehrlagig ausgebildet und umfasst ein Trägersubstrat (beispielsweise aus Polyester, insbesondere PET),
- 25 welches ablösbar oder nicht ablösbar sein kann, sowie ein oder mehrere polymere Lackschichten, beispielsweise eine Replikationsschicht, in die Höhenprofile repliziert werden können. Weiter kann der Sicherheitsstreifen 65 noch ein oder mehrere Schutzschichten und/oder ein oder mehrere Dekorschichten und/oder ein oder mehrere Klebe- oder Haftvermittlungsschichten und/oder ein oder mehrere
- 30 Barrierschichten und/oder ein oder mehrere weitere Sicherheitsmerkmale umfassen.

Eine oder mehrere der Dekorschichten weisen beispielsweise eine oder mehrere der folgenden Schichten auf:

- 5 Ein oder mehrere der Dekorschichten weisen vorzugsweise ein oder mehrere metallische Schichten auf, welche vorzugsweise jeweils nicht vollflächig sondern lediglich partiell in dem Sicherheitselement vorgesehen sind. Die metallischen Schichten können hierbei opak, transluzent oder semitransparent ausgebildet sein. Vorzugsweise werden die metallischen Schichten hierbei von unterschiedlichen
- 10 Metallen gebildet, welche deutlich unterschiedliche Reflexions- und/oder Transmissionsspektren aufweisen. Beispielsweise werden die Metallschichten von Aluminium, Kupfer, Gold, Silber, Chrom, Zinn oder einer Legierung dieser Metalle gebildet. Weiterhin können die metallischen Bereiche gerastert und/oder mit lokal unterschiedlichen Schichtdicken ausgestaltet sein.

15

- Die ein oder mehreren Metallschichten sind hierbei vorzugsweise musterförmig strukturiert in der Form, dass diese ein oder mehrere Bildelemente umfassen, in denen das Metall der Metallschicht vorgesehen ist und einen Hintergrundbereich umfassen, in denen das Metall der Metallschichten nicht vorgesehen ist. Die
- 20 Bildelemente können hierbei vorzugsweise in Form von alphanumerischen Zeichen, jedoch auch von Grafiken und komplexen Darstellung von Objekten gebildet sein.

- Ein oder mehrere der Dekorschichten umfassen weiter insbesondere ein oder mehrere Farbschichten, insbesondere lasierende Farben. Bei diesen Farbschichten
- 25 handelt es sich bevorzugt um Farbschichten, welche mittels eines Druckverfahrens aufgebracht werden, und welche ein oder mehrere Farbstoffe und/oder Pigmente aufweisen, welche in einer Bindemittelmatrix eingebunden sind. Die Farbschichten, insbesondere Farben, können transparent, klar, teilweise streuend, transluzent oder intransparent bzw. deckend sein.

30

Weiter weisen ein oder mehrere der Dekorschichten vorzugsweise ein oder mehrere optisch aktive Reliefstrukturen auf, welche vorzugsweise jeweils in die Oberfläche einer replizierten Lackschicht eingebracht sind. Bei diesen Reliefstrukturen handelt es sich bevorzugt um diffraktive Reliefstrukturen, wie beispielsweise Hologramme, Beugungsgitter, fresnelsche Freiformflächen, Beugungsgitter mit symmetrischen oder asymmetrischen Profilformen und/oder Beugungsstrukturen nullter Ordnung. Bei diesen Reliefstrukturen kann es sich auch um isotrope und/oder anisotrope streuende Mattstrukturen, Blaze-Gitter und/oder im Wesentlichen in Reflexion und/oder in Transmission wirkende Reliefstrukturen, wie beispielsweise Mikrolinsen, Mikroprismen oder Mikrospiegel handeln.

Vorzugsweise weisen ein oder mehrere der Dekorschichten ein oder mehrere Interferenzschichten auf, welche das einfallende Licht wellenlängenselektiv reflektieren bzw. transmittieren. Diese Schichten können beispielsweise von Dünnschichtelementen, insbesondere von Fabry-Perot-Dünnschichtelementen, gebildet sein, welche einen blickwinkelabhängigen Farbverschiebungseffekt generieren, basierend auf einer Anordnung von Schichten, welche eine optische Dicke im Bereich einer halben Wellenlänge bzw. $\lambda/2$ (λ ist die Wellenlänge des Lichts bzw. die Wellenlänge einer elektromagnetischen Welle) oder einer viertel Wellenlänge bzw. $\lambda/4$ des einfallenden Lichts aufweisen. Konstruktive Interferenz in einer Interferenzschicht mit einem Brechungsindex n und einer Dicke d berechnet sich wie folgt:

$$2nd \cos(\Theta) = m\lambda,$$

25

wobei Θ der Winkel zwischen der Beleuchtungsrichtung und der Betrachtungsrichtung, λ die Wellenlänge des Lichts und m eine ganze Zahl ist. Diese Schichten umfassen eine Abstandsschicht, insbesondere angeordnet zwischen einer Absorptionsschicht und einer Reflexionsschicht oder können bevorzugt von einer Schicht umfassend Dünnschichtpigmente gebildet sein.

30

Eine oder mehrere der Dekorschichten weisen insbesondere ein oder mehrere Flüssigkristallschichten auf, welche zum einen eine von der Polarisation des einfallenden Lichts abhängige und zum anderen eine wellenlängenselektive Reflexion und/oder Transmission des einfallenden Lichts abhängig von der Ausrichtung der Flüssigkristalle generieren.

Weiter weist der Sicherheitsstreifen 65 ein Sicherheitselement 1 umfassend ein bereitgestelltes Hologramm 1 auf, wobei das Sicherheitselement 1 ein Trägersubstrat mit einer Replikationsschicht aufweist, in welche das Höhenprofil 60 eines Hologramms 1 eingebracht ist. Das Hologramm 1 ist aus ein oder mehreren Phasenbildern berechnet, wobei die ein oder mehreren Phasenbilder aus einem oder mehreren virtuellen elektromagnetischen Gesamtfeldern 41 in einer oder mehreren Zonen 11 ein oder mehrerer virtueller Hologrammebenen 10 berechnet sind. Jedes der virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder 41 ist in einer oder mehrerer der Zonen 11 basierend auf der Summe zweier oder mehrerer virtueller elektromagnetischer Felder 40 berechnet. Eines oder mehrere der virtuellen elektromagnetischen Felder 40 ausgehend von zumindest einer virtuellen Lichtquelle 30 sind in einer oder mehrerer der Zonen 11 berechnet. Eine oder mehrere der virtuellen Lichtquellen 30 sind auf einem oder mehreren Teilbereichen der Oberfläche 21 eines oder mehrerer virtueller Modelle 20 angeordnet. Eine oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen 10 sind vor und/oder hinter einem oder mehreren der virtuellen Modelle 20 angeordnet und/oder eine oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen 10 schneiden eines oder mehrere der virtuellen Modelle 20.

Das Motiv 22 des Hologramms 1 ist als Steuerrad ausgeformt, wobei das Motiv 22 für einen Beobachter und/oder einen Sensor je nach Betrachtungswinkel und/oder Kippwinkel des Substrats 2 vor und/oder hinter dem Substrat 2 angeordnet ist und/oder das Substrat 2 schneidet. Bei der Berechnung des bereitgestellten Hologramms 1 wird das entsprechende virtuelle Modell eines Steuerrades insbesondere vor oder hinter der virtuellen Hologrammebene angeordnet oder derart

angeordnet, dass das virtuelle Modell die virtuelle Hologrammebene schneidet, wobei die virtuelle Hologrammebene bevorzugt der Ebene des Substrats 2 entspricht. Hierdurch erfasst ein Beobachter und/oder ein Sensor das Motiv 22 des bereitgestellten Hologramms 1 vor oder hinter der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene oder ein Beobachter und/oder ein Sensor erfasst das Motiv 22 des bereitgestellten Hologramms derart, dass es die Ebene des Substrats 2 schneidet. Diese optischen Effekte sind vorzugsweise abhängig von dem Kippwinkel und/oder dem Betrachtungswinkel relativ zu der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene.

10

Der Abstand des Motivs 22 von der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene bzw. der Abstand des virtuellen Modells des Steuerrades von der virtuellen Hologrammebene liegt zwischen -50 mm und +50 mm, insbesondere zwischen -25 mm und +25 mm, bevorzugt zwischen -15 mm und 15 mm.

15

Das Motiv 22 ist vorzugsweise ausgewählt aus: Buchstaben, Porträts, Bilder, alphanumerische Zeichen, Schriftzeichen, Landschaftsdarstellungen, Bauwerksdarstellungen, geometrische Freiformen, Quadraten, Dreiecken, Kreisen, gekrümmten Linien, Darstellung von Bauwerken, Landschaftsdarstellungen und/oder Umrissen.

20

Die Figur 8 zeigt im oberen Teil der Figur ein sternförmiges Motiv 220 eines bereitgestellten Hologramms 1, welches sich über die durch die Achsen x und y aufgespannte Ebene erstreckt.

25

Im unteren Teil der Figur 8 ist das sternförmige Motiv 220 des bereitgestellten Hologramms 1 in drei unterschiedlichen Abständen oder Höhen h_1 , h_2 und h_3 bezüglich der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene x/y, welche durch die Achsen x und y aufgespannt wird, durch einen Beobachter und/oder einen Sensor erfassbar. Hierbei werden die Höhen h_1 , h_2 , h_3 bei der Berechnung des bereitgestellten Hologramms 1 beispielsweise auf $h_1 = 3$ mm, $h_2 = 10$ mm und $h_3 =$

30

20 mm gesetzt und als Abstände des das sternförmige Motiv 220 simulierende virtuelle Modell zu der virtuellen Hologrammebene, welche insbesondere die Ebene x/y simuliert, festgelegt.

- 5 Es ist weiter möglich, den Raumwinkel bei der Berechnung des bereitgestellten Hogramms 1 derart einzuschränken, dass das bereitgestellte Hologramm 1 lediglich in dem eingeschränkten Raumwinkel durch einen Beobachter und/oder einen Sensor erfassbar ist.
- 10 Der obere Teil der Figur 9 zeigt das sternförmige Motiv 220 aus der Figur 8, welches sich über die durch die Achsen x und y aufgespannte Ebene x/y erstreckt.

- Der untere Teil der Figur 9 zeigt das sternförmige Motiv 220 in einem Abstand oder einer Höhe h_4 zu der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene x/y. Hierbei wird
- 15 das das sternförmige Motiv 220 simulierende virtuelle Modell in einem Abstand $h_4 = 20$ mm zu der virtuellen Hologrammebene angeordnet, wobei die virtuelle Hologrammebene während der Berechnung des bereitgestellten Hogramms die Ebene x/y simuliert.

- 20 Das Motiv 220 ist für einen Beobachter und/oder Sensor lediglich aus dem Raumwinkel Ω erfassbar, welcher durch den Winkel α aufgespannt wird. Der Raumwinkel Ω ist symmetrisch um die Flächennormale N der Ebene x/y angeordnet. Bei der Berechnung des bereitgestellten Hogramms 1 wird der Raumwinkel Ω durch eine virtuelle Blende derart eingeschränkt, dass die virtuellen
- 25 elektromagnetischen Felder lediglich in einer Zone 11 auf die virtuelle Hologrammebene bzw. die Ebene x/y bereitgestellt werden. Der Winkel α liegt in einem Winkelbereich vom 0° bis 30° , bevorzugt in einem Winkelbereich von 0° bis 20° , weiter bevorzugt in einem Bereich von 0° bis 15° .
- 30 Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder eines oder mehrere der Höhenprofile 60, 60a, 60b des bereitgestellten Hogramms 1 in ein

Dünnschichtsystem eingebracht, insbesondere in ein Fabry-Perot-

Dünnschichtsystem eingebracht, wobei der Fabry-Perot-Dünnschichtsystem

zumindest eine erste semitransparente Absorptionsschicht, zumindest eine

transparente Abstandsschicht und zumindest eine zweite semitransparente

5 Absorptionsschicht oder eine opake Reflexionsschicht aufweist. Vorzugsweise

besteht die erste semitransparente Absorptionsschicht aus Aluminium, Silber,

Kupfer, Zinn, Nickel, Inconel (korrosionsbeständige Nickelbasislegierungen der Firma

Special Metals Corporation, Huntington, West Virginia, USA), Titan oder Chrom

und/oder weist eine Schichtdicke zwischen 5 nm und 15 nm auf. Die transparente

10 Abstandsschicht weist bevorzugt eine Schichtdicke zwischen 300 nm und 600 nm auf

und/oder besteht aus Polymer, SiO₂ oder MgF₂. Die opake Reflexionsschicht weist

vorzugsweise eine Schichtdicke zwischen 5 nm und 50 nm auf.

Bevorzugt besteht die transparente Abstandsschicht aus einer gedruckten

15 Polymerschicht, welche insbesondere als Lack mittels Tiefdruck, Schlitzgießen oder

Inkjet-Druck aufgebracht wird. Je nach Lack, welcher zum Druck der Polymerschicht

bereitgestellt wird, gleicht die gedruckte Polymerschicht vorzugsweise das in das

Dünnschichtsystem replizierte Höhenprofil 60a, 60b bereitgestellte Hologramm 1

aus, insbesondere teilweise aus, wobei das Fließverhalten und/oder das

20 Trocknungsverhalten des Lacks den Grad des Ausgleichs der replizierten

Höhenprofile 60a, 60b bestimmt.

Wird ein Lack verwendet, welcher das Höhenprofil 60a, 60b des bereitgestellten

Hologramms 1 stark ausgleicht, wird der Farbeffekt durch Interferenzeffekte im

25 Bereich des bereitgestellten Hologramms 1 in dem Dünnschichtsystem für einen

Beobachter und/oder für einen Sensor stark abgeschwächt und/oder ein Beobachter

und/oder ein Sensor erfassen eine Mischfarbe, welche insbesondere grau ist. Dieser

optische Effekt wird vorzugsweise als Designelement bereitgestellt, wie

beispielsweise in der auf der Figur 10 gezeigten Photographie.

Die Figur 10 zeigt eine Photographie eines bereitgestellten Hologramms 1 in einem Dünnschichtsystem, welches ein von einem Beobachter und/oder von einem Sensor erfassbares kreislinienförmiges Motiv 221 aufweist. In einem inneren Bereich 2c und einem äußeren Bereich 2d ist das Motiv 221 des bereitgestellten Hologramms 1 für
5 einen Beobachter und/oder für einen Sensor nicht erfassbar, da dort kein Höhenprofil des Hologramms 1 vorliegt. Das Dünnschichtsystem weist folglich in dem inneren Bereich 2c und dem äußeren Bereich 2d eine definierte Lackschicht auf, so dass ein Beobachter und/oder ein Sensor in dem inneren Bereich 2c und dem äußeren Bereich den Farbeffekt des Dünnschichtsystems erfasst. In dem Bereich des Motivs
10 221 des bereitgestellten Hologramms 1 hingegen wird der Farbeffekt des Dünnschichtsystems abgeschwächt oder gar unterdrückt, wodurch das Motiv 221 deutlich farbschwächer oder sogar farblos grau oder achromatisch weiß erscheint. Das Motiv 221 ist insbesondere in einem perfekten Register zu dem inneren Bereich 2c und dem äußeren Bereich 2d angeordnet. Der innere Bereich 2c und/oder der
15 äußere Bereich 2d weisen einen durch Interferenzeffekte des Dünnschichtsystems bereitgestellten Farbänderungseffekt für einen Beobachter und/oder einen Sensor bei Verkipfung und/oder Änderung der Betrachtungsrichtung bezüglich des Dünnschichtsystems auf. Der Bereich des kreislinienförmigen Motivs 221 weist hierbei insbesondere keinen durch Interferenzeffekte des Dünnschichtsystems
20 bereitgestellte Farbänderungseffekte beim Verkippen und/oder bei Änderung des Betrachtungswinkels auf. Beispielsweise kann eine grüne Interferenzfarbe in dem inneren Bereich 2c und dem äußeren Bereich 2d für einen Beobachter und/oder einen Sensor erfassbar sein und in dem Bereich des kreislinienförmigen Motivs 221 nicht. Beim Verkippen verändert sich die grüne Interferenzfarbe beispielsweise zu
25 blau.

Es ist möglich, dass die zugeordneten Höhenprofile und/oder die Höhenprofile, 60a, 60b des bereitgestellten Hologramms 1 in bzw. auf ein opakes Substrat 2, insbesondere in bzw. auf Papierdokumente oder in bzw. auf opake Papierbanknoten
30 eingebracht oder appliziert werden.

Vorzugsweise werden die zugeordneten Höhenprofile und/oder die Höhenprofile, 60a, 60b des bereitgestellten Hologramms 1 in zumindest einem Fensterbereich, insbesondere in bzw. auf zumindest einem Fensterbereich einer ID1-Karte, oder in bzw. auf einem transparenten Substrat, insbesondere in bzw. auf einer transparenten Polymerbanknote, eingebracht oder appliziert. Hierdurch werden die Höhenprofile 60a, 60b des bereitgestellten Hologramms 1 zumindest von der Vorder- und Rückseite und/oder bei Durchlichtbetrachtung erfassbar.

Weiter wird das Hologramm 1 in das Substrat 2 durch Belichtung eines Volumenhologramm-Materials eingebracht, wobei die Objektwelle von dem dem Hologramm zugeordneten Höhenprofil ausgeht. Die zugeordneten Höhenprofile und/oder die Höhenprofile 60a, 60b des Hologramms 1 werden hierbei insbesondere in den Verlauf der Bragg-Ebenen des hierdurch generierten Volumenhologramms transformiert.

Die Figuren 10a und 10b zeigen jeweils eine Photographie eines Designs 3b, insbesondere desselben Designs, welches ein bereitgestelltes Hologramm 1 umfasst. Das Hologramm 1 ist in dem kreisförmigen Bereich des Designs 3b mit einem Flächenanteil von 100% enthalten. Das bereitgestellte Hologramm 1 weist ein von einem Beobachter und/oder von einem Sensor erfassbares Motiv 240 in Form der zwei Buchstaben bzw. der Buchstabenabfolge „UT“ auf. Das Hologramm wird derart bereitgestellt, dass bei Beleuchtung mit nicht kollimiertem Licht, beispielsweise bei diffuser Beleuchtung, das Motiv 240 nicht erfassbar ist, wie insbesondere in der Figur 10a gezeigt. Wird hingegen das bereitgestellte Hologramm mit einer kollimierten Lichtquelle, beispielsweise einer LED-Lampe eines Smartphones, beleuchtet so erscheint das vorgesehene Motiv „UT“, wie in der Figur 10b gezeigt.

Insbesondere ist es möglich, dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren ersten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren ersten virtuellen Modelle derart berechnet werden und/oder dass die virtuellen elektromagnetischen

Gesamtfelder in den ein oder mehreren zweiten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle derart berechnet werden, dass den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen zugeordnete ein oder mehrere erste Motive und/oder dass den ein oder mehreren zweiten virtuellen Modellen zugeordnete ein oder mehrere zweite Motive , insbesondere gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen, ersten Zonen und/oder zweiten Zonen, für einen Beobachter und/oder für einen Sensor , insbesondere bei Beleuchtung mit nicht kollimierten Licht, bevorzugt bei diffuser Beleuchtung, nicht erfassbar sind, und/oder für einen Beobachter und/oder für einen Sensor, insbesondere bei Beleuchtung mit kollimierten Licht, bevorzugt bei Beleuchtung mit einer LED-Lampe, insbesondere bevorzugt bei Beleuchtung mit einer LED-Lampe eines Smartphones, erfassbar sind.

Weiter ist es möglich, dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren ersten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren ersten virtuellen Modelle derart berechnet werden und/oder dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder in den ein oder mehreren zweiten Zonen jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle derart berechnet werden, dass ein erster Teil der den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen zugeordneten ein oder mehreren ersten Motive und/oder dass ein zweiter Teil der den ein oder mehreren zweiten virtuellen Modellen zugeordneten ein oder mehreren zweiten Motive, bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats, insbesondere gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen, ersten Zonen und/oder zweiten Zonen, für einen Beobachter und/oder für einen Sensor erfassbar ist, und/oder im flachen beziehungsweise nicht verbogenen bzw. nicht gekrümmten Zustand des Substrats, insbesondere gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen, ersten Zonen und/oder zweiten Zonen, für einen Beobachter und/oder für einen Sensor nicht, insbesondere teilweise, erfassbar ist, wobei vorzugsweise die ein oder mehreren ersten Motive ein erstes Gesamtmotiv umfassend den ersten Teil der ein oder mehreren ersten Motive generieren und/oder

vorzugsweise die ein oder mehreren zweiten Motive ein zweites Gesamtmotiv umfassend den zweiten Teil der ein oder mehreren zweiten Motive generieren.

Die Figur 11 zeigt ein Sicherheitselement 1a bei, in Bezug auf die Zeichnungsebene bzw. der durch die Achsen x und y aufgespannten Ebene, senkrechter Betrachtung. Das Sicherheitselement 1a umfasst drei Designelemente 3a, wobei eines der Designelemente 3a die Zahl „42“ und eine quadratische Form mit einem doppelten Rahmen und jeweils diagonal verlaufenden Linien in den Ecken der quadratischen Form aufweist, welche je gleich ausgerichtete Ecken der zwei Rahmen verbinden.

Ein erstes mondsichelförmiges Motiv 22a in einem ersten Bereich 2a und ein zweites wolkenförmiges Motiv 22b in einem zweiten Bereich 2b eines bereitgestellten Hologramms 1 sind bei senkrechter Betrachtung des Sicherheitselement 1a für einen Beobachter und/oder für einen Sensor nicht erfassbar. Das erste Motiv 22a und das zweite Motiv 22b werden, angedeutet durch die gestrichelten Linien, durch die drei Designelemente 3a verdeckt.

Die Figur 12 zeigt das Sicherheitselement 1a bei Verkipfung entlang der Achse y nach rechts. Das erste Motiv 22a und das zweite Motiv 22b befinden sich nicht mehr in dem ersten bzw. zweiten Bereich 2a, 2b. Das erste Motiv 22a befindet sich links neben den drei Designelementen 3a und das zweite Motiv 22b befindet sich unterhalb der drei Designelemente 3a. Das erste Motiv 22a ist für einen Beobachter und/oder für einen Sensor erfassbar und das zweite Motiv 22b wird von den drei Designelementen 3b, angedeutet durch die gestrichelten Linien, verdeckt und ist somit nicht für einen Beobachter und/oder einen Sensor erfassbar.

Die Figur 13 zeigt das Sicherheitselement 1a bei Verkipfung entlang der Achse y nach links. Das erste Motiv 22a und das zweite Motiv 22b befinden sich nicht mehr in dem ersten bzw. zweiten Bereich 2a, 2b. Das erste Motiv 22a befindet sich unterhalb der drei Designelemente 3a und das zweite Motiv 22b befindet sich rechts neben den drei Designelementen 3a. Das zweite Motiv 22b ist für einen Beobachter und/oder für

einen Sensor erfassbar und das erste Motiv 22a wird von den drei Designelementen 3a, angedeutet durch die gestrichelte Linie, verdeckt und ist somit nicht für einen Beobachter und/oder einen Sensor erfassbar.

- 5 Es ist möglich, dass eines oder mehrere der drei Designelemente 3a ebenfalls Motive des bereitgestellten Hologramms 1 sind. Insbesondere werden die Motive der drei Designelemente 3a hierbei derart bei der Berechnung des Hologramms 1 berechnet, dass sich die Perspektive oder der perspektivische optische Eindruck der Motive der drei Designelemente für einen Beobachter und/oder einen Sensor mit
10 einem beliebigen Betrachtungswinkel nicht verändert.

- Weiter ist es möglich, dass die zugeordneten Höhenprofile und/oder eines oder mehrere der Höhenprofile 60, 60a, 60b des Hologramms 1 in den ersten Bereich 2a des Substrat 2 eingebracht werden und dass das Höhenprofil eines oder mehrerer
15 der weiteren optisch variablen Strukturen 63 in den zweiten Bereich 2b des Substrats 2 eingebracht werden.

- Insbesondere überlappen sich der zweite Bereich 2b und der erste Bereich 2a zumindest teilweise, wobei der erste Bereich 2a und/oder der zweite Bereich 2b
20 bevorzugt aus einem zusammenhängenden Bereich oder aus einer Vielzahl von nicht zusammenhängenden Bereichen besteht.

- Vorzugsweise überlappt der erste Bereich 2a den zweiten Bereich 2b nicht. Bevorzugt sind der erste Bereich 2a und der zweite Bereich 2b benachbart
25 zueinander angeordnet oder weiter bevorzugt ineinander verschachtelt angeordnet. Beispielsweise umschließt der erste Bereich 2a den zweiten Bereich 2b oder der zweite Bereich 2b umschließt den ersten Bereich 2a.

- Die Figuren 14 und 15 zeigen das in der Figur 7 gezeigte Sicherheitsdokument 1b in
30 perspektivischer Darstellung, wobei das Sicherheitsdokument 1b ein Sicherheitselement 1a umfasst, welches ein bereitgestelltes Hologramm 1 aufweist.

Die Figur 14 zeigt ein erstes Motiv 222 des bereitgestellten Hologramms 1 bei Verkippung des Sicherheitsdokuments 1b um den Winkel β_1 bezüglich der Achse y.

- 5 Die Figur 15 zeigt ein zweites Motiv 223 des bereitgestellten Hologramms 1 bei Verkippung des Sicherheitsdokument 1b um den Winkel β_2 bezüglich der Achse y.

Das bereitgestellte Hologramm 1 wird vorzugsweise derart berechnet, sodass je nach Betrachtungswinkel und/oder Verkippungswinkel des Sicherheitsdokuments 1b
10 unterschiedliche Motive des bereitgestellten Hologramms 1 für einen Beobachter und/oder Sensor erfassbar sind. Hierbei zeigt das bereitgestellte Hologramm beim Kippen des Sicherheitsdokuments 1b nach links oder nach rechts bzw. um die Achse y einen Wechsel oder Flip zwischen zumindest zwei Motiven oder einer Abfolge von Motiven oder zwischen dem ersten und dem zweiten Motiv 222, 223.

15

Beim Kippen des Sicherheitsdokuments 1b nach rechts ist in der Figur 14 beispielsweise das dollarzeichenförmige erste Motiv 222 für einen Beobachter und/oder Sensor erfassbar, während beim Kippen des Sicherheitsdokuments 1b in der Figur 15 beispielsweise das Motiv 223, welches als die Zahl „5“ ausgebildet ist,
20 für einen Beobachter und/oder Sensor erfassbar wird. Das erste und/oder das zweite Motiv 222, 223, sind vorzugsweise an der gleichen Position oder an unterschiedlichen Position – sprich voneinander beabstandet - auf dem Sicherheitsdokument 1b angeordnet.

- 25 Vorzugsweise erfasst ein Beobachter und/oder ein Sensor das erste und/oder das zweite Motiv 222, 223 oberhalb oder unterhalb der durch das Sicherheitselement 1b aufgespannten Ebene, wobei das erste Motiv 222 und/oder das zweite Motiv 223 oberhalb der durch das Sicherheitselement 1b aufgespannten Ebene erfassbar ist oder das zweite Motiv 223 und/oder das erste Motiv 222 unterhalb der durch das
30 Sicherheitselement 1b aufgespannten Ebene erfassbar ist.

Besonders bevorzugt sind die drei Designelemente 3a in der von dem Sicherheitselement 1b aufgespannten Ebene für einen Beobachter und/oder Sensor erfassbar. Dadurch stellen diese Designelemente 3a eine optische Referenz für den Beobachter und/oder Sensor dar.

5

Es ist möglich, dass das erste Motiv 222 und/oder das zweite Motiv 223 bei Verkippung des Sicherheitsdokuments 1b um die Achse x für einen Beobachter und/oder ein Sensor erfassbar ist. Hierbei zeigt das bereitgestellte Hologramm beim Kippen des Sicherheitsdokuments 1b nach oben oder nach unten bzw. um die Achse x einen Wechsel oder Flip zwischen zumindest zwei Motiven oder einer Abfolge von Motiven oder dem ersten und dem zweiten Motiv 222, 223.

10

Insbesondere kann das erste Motiv 222 und/oder das zweite Motiv 223 für einen Beobachter und/oder Sensor oberhalb oder unterhalb der durch das Sicherheitsdokument 1b aufgespannten Ebene erfassbar sein.

15

Weiter ist es möglich, dass das erste Motiv 222 und/oder das zweite Motiv 223 bei Drehung des Sicherheitsdokuments 1b um die Flächennormale der durch das Sicherheitsdokument 1b aufgespannten Ebene für einen Beobachter und/oder ein Sensor erfassbar ist. Hierbei zeigt das bereitgestellte Hologramm beim Drehen des Sicherheitsdokuments 1b in der Ebene des Sicherheitsdokument 1b einen Wechsel oder Flip zwischen zumindest zwei Motiven oder einer Abfolge von Motiven oder dem ersten und dem zweiten Motiv 222, 223, wobei das erste Motiv 222 und/oder das zweite Motiv 223 für ein Beobachter und/oder Sensor unterhalb oder oberhalb der durch das Sicherheitselement 1b aufgespannten Ebene erfassbar sind.

20

25

Vorzugsweise werden zwei oder mehrere der Zonen 11 jeweils einer der virtuellen Hologrammebenen 10 zugeordnet und die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder 41 in den ein oder mehreren Zonen 11 jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern 40 der ein oder mehreren Zonen 11 berechnet. Somit sind eines oder mehrere der virtuellen Modelle 20 bei Verkippung

30

und/oder Drehung des Substrats 2 bzw. das Sicherheitsdokument 1b teilweise oder vollständig von einem Beobachter und/oder einem Sensor als eine Abfolge der ein oder mehreren virtuellen Modelle 20 zugeordneten ein oder mehreren Motive 22 oder des ersten Motivs 222 und des zweiten Motivs 223 erfassbar. Insbesondere stellt
5 diese Abfolge der ein oder mehreren Motiven 22 bzw. des ersten Motivs 222 und des zweiten Motivs 223 einen parallaktischen Bewegungseffekt oder einen orthoparallaktischen Bewegungseffekt bereit. Bevorzugt stellt eine solche Abfolge der ein oder mehreren virtuellen Modellen 20 eine Kombination aus einem parallaktischen Bewegungseffekt und einem orthoparallaktischen Bewegungseffekt
10 für einen Beobachter oder Sensor bereit.

Weiter sind vorzugsweise eines oder mehrere der virtuellen Modelle 20 bei Verkippung und/oder Drehung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitsdokuments 1b teilweise oder vollständig von einem Beobachter und/oder einem Sensor als eine
15 Abfolge von den ein oder mehreren virtuellen Modellen 20 zugeordneten ein oder mehreren Motiven 22 oder des ersten Motivs 222 und des zweiten Motivs 223 erfassbar. Hierbei weisen eines oder mehrere der Motive 22 bzw. das erste Motiv 222 und das zweite Motiv 223 insbesondere unterschiedliche oder gleiche Bewegungen zwischen unterschiedlichen und/oder gleichen Bewegungsrichtungen
20 auf. Bevorzugt liegt hierbei der Abstand zwischen einem oder mehreren der Motive 22 bzw. des ersten Motivs 222 und des zweiten Motivs 223, insbesondere der geometrischen Schwerpunkte eines oder mehrerer der virtuellen Motive 22 bzw. des ersten Motivs 222 und des zweiten Motivs 223, und der durch das Substrat 2 bzw. dem Sicherheitsdokument 1b aufgespannten Ebene vorzugsweise zwischen -50 mm
25 und +50 mm, bevorzugt zwischen -25 mm und +25 mm, insbesondere Vorzug zwischen -15 mm und +15 mm.

Insbesondere werden die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder 41 in den ein oder mehreren ersten Zonen 11a jeweils basierend auf den virtuellen
30 elektromagnetischen Feldern 40 der ein oder mehreren ersten virtuellen Modelle 20a berechnet. Bevorzugt werden die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder 41

der ein oder mehreren zweiten Zonen 11b jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern 40 der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle 20b berechnet. Vorzugsweise wird hierdurch das den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen 20a zugeordnete erste Motiv 222 bei Ausrichtung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitsdokuments 1b gemäß der Ausrichtung der ein oder mehreren ersten Zonen 11a für ein Beobachter und/oder einen Sensor teilweise oder vollständig erfassbar und das den ein oder mehreren zweiten virtuellen Modellen 20b zugeordnete zweite Motiv 223 wird bevorzugt bei Ausrichtung des Substrats 2 bzw. Sicherheitsdokuments 1b gemäß der Ausrichtung der einer mehreren zweiten Zonen 11a für einen Beobachter und/oder einen Sensor teilweise oder vollständig erfassbar.

Vorzugsweise sind den ein oder mehreren der virtuellen Modelle 20 zugeordnete ein oder mehrere Motive 22 oder das erste Motiv 222 und das zweiten Motiv 223 teilweise oder vollständig von einem Beobachter und/oder einem Sensor aus unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen erfassbar. Insbesondere setzen sich die Motive 22 bzw. das erste Motiv 222 und das zweite Motiv 223 bei Beobachtung aus den unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen zu einem Raster aus Punkten oder Streifen, insbesondere einem linearen Barcode oder einem 2D Barcode, bevorzugt einem QR-Code, zusammen. Hierbei sind bevorzugt einer oder mehrere der Punkte oder einer oder mehrere der Streifen jeweils in unterschiedlichen Abständen zu der durch das Substrat 2 bzw. das Sicherheitsdokument 1b aufgespannten Ebene angeordnet, insbesondere oberhalb und/oder unterhalb und/oder innerhalb der durch das Substrat 2 bzw. das Sicherheitsdokument 1b aufgespannten Ebene angeordnet.

Die Figuren 16 und 17 zeigen das in der Figur 7 gezeigte Sicherheitsdokument 1b in perspektivischer Darstellung, wobei das Sicherheitsdokument 1b ein Sicherheitselement 1a umfasst, welches ein bereitgestelltes Hologramm 1 aufweist.

Die Figur 16 zeigt ein erstes Motiv 224 des bereitgestellten Hologramms 1 bei in einer ebenen Ausrichtung des Sicherheitsdokument 1b.

Die Figur 17 zeigt ein zweites Motiv 225 des bereitgestellten Hologramms 1 bei Verbiegung bzw. Krümmung des Sicherheitsdokument 1b entlang der zweidimensionalen gekrümmten Kurve K.

5

Das erste Motiv 224 ist als \$-Zeichen ausgeformt und das zweite Motiv 225 ist als die Zahl „5“ ausgeformt.

Insbesondere entspricht die Geometrie der zweidimensionalen gekrümmten Kurve K der Geometrie der bei der Berechnung des bereitgestellten Hologramms 1 verwendeten virtuellen Hologrammebene 10, wobei die Geometrie einer oder mehrerer der virtuellen Hologrammebenen 10 in einer oder mehrerer der Zonen 11 jeweils einer Mantelfläche eines Zylindersegments oder einer Freiformfläche entspricht.

15

Vorzugsweise weisen ein oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen 10 in einer oder mehrerer der Zonen 11 einen vorbestimmten Krümmungsverlauf auf. Hierbei weisen die virtuellen Hologrammebenen 10 insbesondere in unterschiedliche Richtungen unterschiedliche Krümmungsverläufe auf. Das virtuelle elektromagnetische Gesamtfeld 41 wird vorzugsweise in den ein oder mehreren Zonen 11 jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern 40 ein oder mehrerer erster der ein oder mehreren virtuellen Modelle 20a berechnet. Hierdurch wird das bereitgestellte Hologramm 1 bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitsdokument 1b gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen 11 für einen Beobachter und/oder ein Sensor teilweise oder vollständig erfassbar. Insbesondere werden die den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen 20a zugeordneten ein oder mehreren ersten Motive 22a oder das erste Motiv 224 und das zweite Motiv 225 bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitsdokument 1b gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen 11 für den Beobachter bzw. den Sensor teilweise oder vollständig erfassbar.

Insbesondere trifft bei Betrachtung eines für eine Ebene ausgelegten bereitgestellten Hologramms 1 von jedem Punkt (x_h , y_h) eines oder mehrerer der gekrümmten Hologrammebenen in einem Position abhängigen Winkel in das Auge des
5 Beobachters und/oder auf den Sensor.

Die Figur 18 zeigt ein Sicherheitsdokument 1b umfassend ein bereitgestelltes Hologramm 1, welches von einer Lichtquelle 72 beleuchtet wird, insbesondere in
Auflicht beleuchtet wird. Dabei weist das von dem Hologramm 1 ausgehende Licht
10 bestimmte, mit den Winkeln α_1 , α_2 , α_3 gekennzeichnete Propagationsrichtungen 44 zu dem Auge eines Beobachters 70 auf.

Die Figur 19 zeigt das in der Figur 18 gezeigte Sicherheitsdokument 1b, wobei das Sicherheitsdokument 1b um die Achse y gebogen ist, sodass die
15 Propagationsrichtungen 44 des Lichtes durch die Winkel α'_1 , α'_2 und α'_3 gekennzeichnet sind, welche sich von den Winkeln α_1 , α_2 , α_3 unterscheiden.

Bei der Berechnung des bereitgestellten Hologramms 1 für eine gekrümmte Fläche, wie beispielsweise dem in Figur 19 gezeigten Sicherheitsdokument 1b, wird die
20 virtuelle Hologrammebene durch eine virtuelle Hologrammebene, welche eine Krümmung gemäß der gekrümmten Fläche aufweist, simuliert.

Die Figur 20 zeigt drei virtuelle Hologrammebenen 10a, 10b, 10c, wobei die virtuelle Hologrammebene 10a eine konkave Krümmung aufweist und die virtuelle
25 Hologrammebene 10c eine konvexe Krümmung aufweist.

Insbesondere weisen zwei oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c, jeweils eine oder mehrere Zonen 11 auf.

30 Die virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c, unterscheiden sich insbesondere in Bezug auf ihre Ausrichtung, Positionierung, Abmessung und/oder Krümmung, wobei

sich die virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c in den jeweiligen Zonen 11 in Bezug auf ihre Ausrichtung, Positionierung, Abmessung und/oder Krümmung unterscheiden.

- 5 Vorzugsweise weisen eine oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c in ein oder mehreren der Zonen 11 zumindest entlang einer Referenzrichtung x oder y eine von Null verschiedene Krümmung auf. Bevorzugt weisen eine oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c eine lokale Krümmung auf, wobei der der lokalen Krümmung zugeordnete Krümmungsradius insbesondere
- 10 zwischen 5 mm und 50 mm, bevorzugt zwischen 10 mm und 30 mm, liegt. Die lokale Krümmung kann insbesondere kreissegmentförmig oder parabelsegmentförmig sein.

Die Figur 21 zeigt die Fotografie eines ebenen Sicherheitselements 1a umfassend ein bereitgestelltes Hologramm 1, welches ein Motiv 226 in Form des Buchstabens „B“ aufweist. Das Sicherheitselement 1a erstreckt sich entlang der Achsen x und y.

15

Die Figur 22 zeigt das in der Figur 21 gezeigte Sicherheitselement 1a umfassend das bereitgestellte Hologramm 1, wobei das Sicherheitselement 1a entlang der Achse y mit einem Krümmungsradius von 0,75 Zoll gebogen ist und neben dem Motiv 226

20 zusätzlich die Motive 227 und 228, jeweils in Form des Buchstabens „A“ bzw. „C“, aufweist. Das Motiv 226 ist in Figur 22 aufgrund der Krümmung in y-Richtung etwas gestaucht. Der dargestellte Effekt ist ein Flip, bei welchem das Motiv 226 im gekrümmten Zustand des Sicherheitselementes 1a durch die Motive 227 und 228 ergänzt wird („image completion“).

25

Der Abstand des Motivs 226 von der virtuellen Hologrammebene und der Winkel α betragen im Falle des Motivs 226 10 mm bzw. $\pm 10^\circ$ (Blickrichtung entlang der Richtung x) und $\pm 15^\circ$ (Blickrichtung entlang der Richtung y).

Der Abstand der Motive 227, 228 von der virtuellen Hologrammebene und der Winkel α betragen im Falle der Motive 227, 228 10 mm bzw. $\pm 8^\circ$ (Blickrichtung entlang der Richtung x) und $\pm 8^\circ$ (Blickrichtung entlang der Richtung y).

- 5 Durch die Biegung des Sicherheitselements 1a ist das entlang der Achse y gestauchte Motiv 226 zwischen den weiteren Motiven 227 und 228 erfassbar. Die Motive 227 und 228 sind im ebenen Zustand des Sicherheitsdokuments 1a nicht durch einen Beobachter und/oder ein Sensor bei senkrechter Betrachtung des Sicherheitsdokuments 1a erfassbar.

10

Bei der Berechnung des bereitgestellten Hologramms 1 sind vorzugsweise zwei oder mehrere virtuelle Modelle 20 vorgesehen. Hierbei ist insbesondere jedes der zwei oder mehreren virtuellen Modelle 20 einer der virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c zugeordnet. Bevorzugt werden in den ein oder mehreren Zonen 11 der
15 jeweiligen virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c die von den ein oder mehreren virtuellen Lichtquellen 30 des zugeordneten virtuellen Modells 20 ausgehenden ein oder mehreren virtuellen elektronischen Felder 40 berechnet.

20

Insbesondere werden bei der Berechnung des bereitgestellten Hologramms 1 mögliche, später bei der Erfassung des bereitgestellten Hologramms 1 durch einen Beobachter und/oder Sensor auftretende Verzerrungen der Motive vorkompensiert, wobei die Motive entsprechend gestreckt oder gestaucht werden.

25

Vorzugsweise sind ein oder mehrere der Motive 226, 227, 228 bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitselements 1a gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen 11, welche insbesondere die Motive 226, 227, 228 umfassen, für einen Beobachter und/oder für einen Sensor vollständig oberhalb und/oder unterhalb und/oder innerhalb der durch das Substrat 2 bzw. das Sicherheitselement 1a aufgespannten Ebene erfassbar. Insbesondere liegt
30 der Abstand zwischen einem oder mehreren der Motive 226, 227, 228 und der durch das Substrat 2 bzw. das Sicherheitselement 1a aufgespannten Ebene zwischen

-50 mm und +50 mm, bevorzugt zwischen -25 mm und +25 mm, insbesondere bevorzugt zwischen -15 mm und +15 mm.

Weiter bevorzugt weisen zwei oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c in einer oder mehrerer erster der Zonen 11a einen unterschiedlichen Krümmungsverlauf und/oder eine unterschiedliche Ausrichtung gegenüber dem Krümmungsverlauf und/oder der Ausrichtung in ein oder mehreren zweiten der Zonen 11b auf. Insbesondere werden die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder 41 in den ein oder mehreren ersten und zweiten Zonen 11a, 11b jeweils basierend auf den virtuellen elektronischen Feldern 40 ein oder mehrerer erster oder zweiter der ein oder mehreren virtuellen Modelle 20a, 20b berechnet. Dies derart, dass das bereitgestellte Hologramm 1 bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitselement 1a gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren ersten oder zweiten Zonen 11a, 11b oder bei Ausrichtung gemäß der Ausrichtung der ersten oder zweiten Zonen 11a, 11b für einen Beobachter und/oder für ein Sensor teilweise oder vollständig erfassbar ist.

Bevorzugt werden die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder 41 in den ein oder mehreren ersten Zonen 11a jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern 40 der ein oder mehreren ersten virtuellen Modelle 20a berechnet. Die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder 41 werden vorzugsweise in den ein oder mehreren zweiten Zonen 11b jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern 40 der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle 20b berechnet. Hierbei wird das dem ersten virtuellen Modell 20b zugeordnete Motiv 226 bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitselements 1a gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren ersten Zonen 11a für einen Beobachter und/oder ein Sensor teilweise oder vollständig erfassbar. Insbesondere werden die den zwei zweiten virtuellen Modellen 20b zugeordneten Motive 227 und 228 bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitselement 1a gemäß des Krümmungsverlaufs der ein

oder mehreren zweiten Zonen 11 für einen Beobachter und/oder ein Sensor teilweise oder vollständig erfassbar.

5 Vorzugsweise sind ein oder mehrere der Motive 226, 227, 228 von einem optischen Sensor und/oder einem menschlichen Beobachter des bereitgestellten Hologramms 1 erfassbar, wobei das Motiv 226 dem ersten virtuellen Modell 20a zugeordnet ist und die Motive 227, 228 im zweiten virtuellen Modell 20b zugeordnet sind, .

10 Weiter bevorzugt ist ein Motiv einer ersten Menge von Motiven 226, bei einer flachen oder nicht gekrümmten Anordnung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitselements 1a für einen Beobachter und/oder ein Sensor erfassbar und/oder sind ein oder zwei Motive einer zweiten Menge von Motiven 227, 228 bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitselements 1a gemäß des Krümmungsverlaufs der bzw. einer der virtuellen Hologrammebenen 10a, 10b, 10c in der bzw. in einer
15 der Zonen 11 teilweise oder vollständig für einen Beobachter und/oder Sensor erfassbar. Die Motive der ersten Menge von Motiven 226 und die Motive der zweiten Menge von Motiven 227, 228 unterscheiden sich vorzugsweise teilweise oder vollständig.

20 Vorzugsweise stellt ein Motiv einer dritten Menge von Motiven 226 bei Verkippung und/oder Drehung des Substrats 2 bzw. des Sicherheitselements 1a teilweise oder vollständig einen von einem Beobachter und/oder von einem Sensor erfassbaren parallaktischen Bewegungseffekt bereit und/oder ein oder zwei Motive einer vierten Menge von Motiven 227, 228 stellen bei Verkippung und/oder Drehung des
25 Substrats 2 bzw. des Sicherheitselements 1a einen von einem Beobachter und/oder von einem Sensor erfassbaren antiparallaktischen oder orthoparallaktischen Bewegungseffekt bereit. Insbesondere ist das Motiv der dritten Menge von Motiven 226 und die Motive der vierten Menge von Motiven 227, 228 teilweise oder vollständig unterschiedlich.

30

Bevorzugt weist ein Motiv einer fünften Menge von Motiven 226 die gleichen räumlichen Abstände oder unterschiedliche räumliche Abstände zu ein oder zwei Motiven einer sechsten Menge von Motiven 227, 228 auf. Bevorzugt ist das Motiv der fünften Menge von Motiven 226 und die Motive der sechsten Menge von
5 Motiven 227, 228 teilweise oder vollständig unterschiedlich.

Weiter bevorzugt überlappen sich ein Motiv einer siebten Menge von Motiven 226 und/oder ein oder zwei Motive einer achten Menge von Motiven 227, 228 untereinander bzw. gegenseitig vollständig oder teilweise und/oder sind vollständig
10 oder teilweise räumlich voneinander getrennt. Insbesondere sind die Motive der siebten Menge von Motiven 226 und die Motive der achten Menge von Motiven 227, 228 teilweise oder vollständig unterschiedlich.

Die Figur 23 zeigt die Fotografie eines ebenen Sicherheitselement 1a, welches ein
15 bereitgestelltes Hologramm 1 aufweist, wobei das bereitgestellte Hologramm 1 ein Motiv 229 umfasst. Das Motiv 229 ist als im Flug befindlicher Vogel ausgeformt und für einen gebogenen Zustand ausgelegt. Wie in der Fotografie zu sehen ist, sind nur Teile des Vogels 229a erkennbar. Somit erscheint das Motiv 229 für einen Betrachter und/oder Sensor nicht vollständig.

20

Die Figur 24 zeigt die Fotografie des in der Figur 23 gezeigten Sicherheitselements 1a in einem gebogenen Zustand. Das Motiv 229 ist nun vollständig erkennbar.

Das bereitgestellte Hologramm 1 ist durch eine geeignete Wahl des Abstandes des
25 Motivs 229 von der virtuellen Hologrammebene 10 und dem Raumwinkel, welcher durch den Winkel α bestimmt wird, derart berechnet, dass das Motiv 229 im ebenen Zustand des Sicherheitselements 1a teilweise, insbesondere als ein schmaler Streifen, für einen Beobachter und/oder Sensor erfassbar ist und das Motiv 229 nicht vollständig erfassbar ist.

30

Der Abstand des Motivs 229 von der virtuellen gebogenen Hologrammebene und der Winkel α betragen 10 mm bzw. $\pm 8^\circ$ (Blickrichtung entlang der Richtung x) und $\pm 8^\circ$ (Blickrichtung entlang der Richtung y). Der Krümmungsradius der Hologrammebene beträgt 0,75 Zoll.

5

Untersuchungen haben gezeigt, dass je kleiner der Winkel α und je größer der Abstand des Motivs 229 von der virtuellen Hologrammebene 10 gewählt wird, desto kleiner ist der Bereich des Motivs 229, welcher bereits im ebenen Zustand des Sicherheitselement 1a erfassbar ist. Hierdurch wird ein Effekt erzielt, bei dem sich das Motiv 229 während des Biegevorgangs für einen Beobachter und/oder Sensor aus der durch das Sicherheitselement 1a aufgespannten Ebene herauszulösen scheint und das vollständige Motiv 229 im gebogenen Zustand des Sicherheitselement 1a oberhalb oder unterhalb der durch das Sicherheitselement 1a aufgespannten gebogenen Ebene zu schweben scheint.

15

Vorzugsweise legt der Winkel α den Raumwinkel fest, in welchem ein Beobachter und/oder ein Sensor das bereitgestellte Hologramm 1 erfasst. Das bereitgestellte Hologramm 1 wird insbesondere derart berechnet, dass ein Beobachter und/oder ein Sensor es erst unter einem bestimmten Winkel und/oder einem oder mehreren Winkelbereichen erfasst. Bevorzugt liegt der Winkel α in einem Bereich von $30^\circ \pm 25^\circ$ bis $65^\circ \pm 25^\circ$, weiter bevorzugt $20^\circ \pm 15^\circ$ bis $75^\circ \pm 15^\circ$, insbesondere bevorzugt $10^\circ \pm 5^\circ$ bis $85^\circ \pm 5^\circ$, wobei sich der Winkel α vorzugsweise auf den Winkel zwischen dem maximalen Raumwinkel und der durch die virtuelle Hologrammebene und/oder durch das Sicherheitselement 1a und/oder durch das Sicherheitsdokument 1b aufgespannten Ebene bezieht.

25

Die Figur 25 zeigt ein Sicherheitselement 1a im Querschnitt, welches ein bereitgestelltes Hologramm 1 aufweist. Das senkrecht einfallende Licht entlang der Richtung 45 wird derart an dem bereitgestellten Hologramm 1 reflektiert das es entlang der Richtung 44 in Richtung des Auges eines Beobachters 70 propagiert.

30

Die Figur 26 zeigt an Sicherheitselement 1a im Querschnitt, welches ein bereitgestelltes Hologramm 1 aufweist. Hierbei wird das einfallende Licht entlang der Richtung 45 von dem bereitgestellten Hologramm 1 in die entgegengesetzte Richtung 44 in das Auge eines Beobachters 70 zurückgeworfen.

5

Vorzugsweise sind ein oder mehrere der Motive in ein oder mehrere Raumwinkelbereiche, insbesondere den gesamten Raumwinkelbereich von einem Beobachter 70 und/oder von einem Sensor vollständig oder teilweise erfassbar. Die ein oder mehreren Raumwinkelbereiche sind insbesondere symmetrisch oder

10 asymmetrisch um die Flächennormale, insbesondere um die mittlere Flächennormale, der virtuellen Hologrammebene 10 angeordnet. Ein oder mehrere der Raumwinkelbereiche spannen insbesondere einen Winkelbereich von 0° bis 30° , bevorzugt einen Winkelbereich von 0° bis 20° , insbesondere bevorzugt einen Winkelbereich von 0° bis 15° , zu den jeweiligen Flächennormalen der zugeordneten

15 virtuellen Hologrammebenen 10, insbesondere zu der mittleren Flächennormale, auf.

Es ist möglich, dass bereitgestellte Hologramm 1 mit einem Oberflächenrelief, z.B. einer fresnelschen Freiformfläche, zu Rastern. Hierbei wird bevorzugt dasselbe von einem Beobachter und/oder Sensor erfassbare Motiv in den gleichen Abmessungen

20 in dem Hologramm als auch in dem Oberflächenrelief bereitgestellt. Beispielsweise kann das Motiv die Ansicht eines Berges, wie zum Beispiel des Matterhorns, sein. Die durch die Rasterung bereitgestellte Kombination der beiden Effekte wird insbesondere ein komplexeres optisches Erscheinungsbild für einen Beobachter und/oder Sensor bereitgestellt als wenn das jeweilige optische Erscheinungsbild

25 lediglich durch das Hologramm oder das Oberflächenrelief bereitgestellt würde. Eine solche Kombination erhöht Fälschungsaufwand eines Sicherheitselements oder eines Sicherheitsdokuments erheblich.

Weiter ist es möglich das bereitgestellte Hologramm 1 mit Oberflächenreliefs zu

30 ergänzen, sodass ein derart erzeugtes Motiv optisch statische und dynamische Bereiche aufweist. Beispielsweise könnte der Körper eines Löwen als erster Teil

eines Motivs als Oberflächenrelief, z.B. als fresnelsche Freiformfläche, ausgebildet werden und der Kopf des Löwen als zweiter Teil eines Motivs als bereitgestelltes Hologramm ausgebildet werden, wobei beim Kippen des Sicherheitselements, welches das Löwenmotiv aufweist, der erste Teil des Motivs optisch statisch oder
5 nahezu statisch ist und der zweite Teil des Motivs einen Bewegungseffekt bereitstellt.

Die Figur 27 zeigt einen Verfahrensschritt bei der Berechnung des bereitgestellten Hologramms 1, wobei das virtuelle Modell 201 virtuelle Lichtquellen 300, 301, insbesondere Punktlichtquellen, auf dessen Oberfläche aufweist, welche virtuelle
10 elektromagnetische Felder in identische Zonen 11a, 11b auf einer virtuellen Hologrammebene 10d in den Raumwinkeln Ω_1 bzw. Ω_2 abstrahlen.

Die Figur 28 zeigt die Beobachtung eines Motivs 230 eines bereitgestellten Hologramms 1 durch einen Beobachter 70 in Durchlicht, wobei zwischen dem
15 Beobachter 70 und dem Motiv 230 die Hologrammebene 10e bzw. die durch das Substrat 2 aufgespannte Ebene angeordnet ist. Die Lichtquelle 72 strahlt dabei entlang der Propagationsrichtungen 44 Licht in Richtung der Hologrammebene 10e bzw. der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene in das Auge des Beobachters 70 ab. Hierbei beträgt die Distanz zwischen dem Auge des Beobachters 70 und der
20 Hologrammebene 10e bzw. der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene vorzugsweise zwischen 25 cm und 30 cm.

Für den Beobachter 70 wird das Motiv 230 vorzugsweise dann vollständig erfassbar, wenn das Substrat im Durchlicht in einem Abstand zwischen 25 cm und 30 cm vor
25 das Auge des Beobachters 70 positioniert wird. Dieser optische Effekt gleicht einem „Schlüssellocheffekt“, bei dem ein Raum, welchen man durch ein Schlüsselloch beobachtet, ebenfalls erst dann vollständig erfassbar wird, wenn das Auge eines Beobachters so nah als möglich an das Schlüsselloch positioniert wird.

30 Untersuchungen haben gezeigt, dass das bereitgestellte Hologramm 1 bei der Erfassung durch einen Beobachter und/oder Sensor achromatisch, insbesondere

weiß, erscheint, wenn die Differenz zwischen dem Einfall des Lichts und dem Betrachtungswinkel, aus dem der Beobachter bzw. der Sensor das bereitgestellte Hologramm 1 erfasst, klein ist. Wird das bereitgestellte Hologramm 1 beispielsweise senkrecht bzw. aus einer parallelen Richtung bezüglich der Flächennormalen, welche durch das Substrat 2 aufgespannt wird, betrachtet und beträgt der Beleuchtungswinkel mehr als 30° zur durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene, so treten chromatische Aberrationen auf. Hierbei erscheinen die Randbereiche des oder der dem bereitgestellten Hologramm 1 zugeordneten Motive insbesondere farbig und die zentralen Bereiche bevorzugt weiß, aber unscharf.

Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass die zugeordneten Motive bei Erfassung durch einen Beobachter und/oder Sensor abhängig von der Größe einfarbig oder regenbogenfarbig erscheinen, wenn der Betrachtungswinkel bezüglich der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene zwischen 38° und 42° liegt.

Insbesondere sind die Farben der Motive für den Beobachter bzw. Sensor abhängig von dem Betrag des Betrachtungswinkels.

Beispielsweise erscheinen die einem oder mehreren der virtuellen Modelle 20 zugeordneten ein oder mehreren Motive 22 bei senkrechter Betrachtung der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene weiß. Insbesondere sind die Motive 22 bei einem Betrachtungswinkel von 30° bis 34° bezüglich des Einfallswinkels des Lichts bei einer Wellenlänge von 440 nm bis 460 nm in der Farbe Blau, beim Betrachtungswinkel von 38° bis 42° bezüglich des Einfallswinkels des Lichts bei einer Wellenlänge von 530 nm bis 550 nm in der Farbe Grün und/oder bei einem Betrachtungswinkel von neun 50° bis 53° bezüglich des Einfallswinkels des Lichts bei einer Wellenlänge von 640 nm bis 660 nm in der Farbe Rot erfassbar.

Weiter bevorzugt verändert sich die Farbe und/oder verändern sich die Farben der einen der mehreren virtuellen Modelle 20 zugeordneten ein oder mehreren Motive 22 bei Verkipfung und/oder Drehung des Substrats 2.

Die Motive 22 eines derart bereitgestellten Hologramms 1 weisen bei Beleuchtung mit einer Punktlichtquelle und Erfassung durch einen Beobachter und/oder Sensor eine hohe Bildschärfe auf, da keine chromatischen Abbildungsfehler entstehen.

- 5 Beispielsweise kann bei horizontaler Kippung eines derartigen bereitgestellten Hologramms 1 nach links der Buchstabe „A“, umgekippt der Buchstabe „B“ und nach rechts gekippt der Buchstabe „C“ als Motiv erfassbar sein. Als weiteres Beispiel kann ein derart bereitgestelltes Hologramm 1 mit einem weiteren bereitgestellten Hologramm 1 kombiniert werden, sodass die dem derartig bereitgestellten Hologramm 1 zugeordneten Motive 22 unter einem Betrachtungswinkel von 40°
10 bezüglich der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene farbig erfasst werden und die dem weiteren bereitgestellten Hologramm 1 zugeordneten Motive im Winkelbereich des direkt reflektierten Lichts weiß erfassbar sind.
- 15 Die Figur 29 zeigt einen Verfahrensschritt bei der Berechnung des bereitgestellten Hologramms 1, wobei das virtuelle Modell virtuelle Lichtquellen 300, 301 aufweist, die Licht auf eine virtuelle Hologrammebene 10f abstrahlt. Weiter zeigt Figur 29 die Verwendung einer Blende mit länglichem Schlüsselloch, durch welches das projizierte Licht aller Zonen gehen muss. Es beschränkt also die Parallaxe in
20 vertikaler Richtung (typisch für Regenbogenhologramme), aber nicht in die andere Richtung.

Vorzugsweise sind die dem bereitgestellten Hologramm 1 zugeordneten ein oder mehreren Motiven 22 für einen Beobachter und/oder Sensor in Echtfarben erfassbar.

- 25 Hierbei setzen sich insbesondere die den ein oder mehreren virtuellen Modellen 20 zugeordneten Motive 22 aus zumindest einem roten Motiv eines dritten virtuellen Modells, aus zumindest einem grünen Motiv eines vierten virtuellen Modells und aus zumindest einem blauen Motiv eines fünften virtuellen Modells zu einem Echtfarbenbild zusammen, wobei die simulierten Betrachtungswinkel und/oder
30 Raumwinkel, in welchen das bereitgestellte Hologramm 1 erfassbar ist, insbesondere

gleich sind. Ein derart berechnetes bereitgestelltes Hologramm 1 wird bevorzugt auch als Echtfarbenhologramm bezeichnet.

Vorzugsweise werden die Intensitäten des zumindest einen roten, des zumindest
5 einen grünen und/oder des zumindest ein blauen Motivs der entsprechend zugeordneten ersten, zweiten bzw. dritten virtuellen Modelle jeweils gemäß des Verlaufs des Spektrums des einfallenden Lichts und/oder des Verlaufs der Antwortfunktion des menschlichen Auges gewichtet.

- 10 Es ist möglich, dass bei Verkipfung und/oder Drehung des Echtfarbenhologramms um eine bestimmte Achse leichte bis starke, von einem Beobachter und/oder Sensor erfassbare Farbverzerrungen bzw. Farbänderungen auftreten. Insbesondere erscheinen hierbei die zugeordneten Motive in Falschfarben. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Farbstabilität umso besser ist, die größer der Einfallswinkel des
15 Lichts bezüglich der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene bereitgestellt wird.

- Vorzugsweise werden Banknoten und/oder Ausweisdokumente, welche ein Sicherheitselement 1a, umfassend ein bereitgestelltes Hologramm 1 und/oder ein Echtfarbenhologramm, aufweisen unter einem Beleuchtungswinkel von 30° bis 45°
20 zu der durch das Substrat 2 aufgespannten Ebene durch einen Beobachter und/oder Sensor erfasst. Insbesondere sind hierbei Beleuchtungswinkel von über 70° sehr unnatürlich.

Bezugszeichenliste

	1	Hologramm
	1a	Sicherheitselement
5	1b	Sicherheitsdokument
	2	Substrat
	2a	Erster Bereich
	2b	Zweiter Bereich
	2c	Hinterer Bereich
10	2d	Äußerer Bereich
	3	Designelemente
	3a	Designelemente
	3b	Design
	10	Virtuelle Hologrammebene
15	10a	Virtuelle Hologrammebene
	10b	Virtuelle Hologrammebene
	10c	Virtuelle Hologrammebene
	10d	Virtuelle Hologrammebene
	10e	Virtuelle Hologrammebene
20	10f	Virtuelle Hologrammebene
	11	Zone
	11a	Erste Zone
	11b	Zweite Zone
	20	Virtuelles Modell
25	200	Virtuelles Modell
	201	Virtuelles Modell
	20a	Erstes virtuelles Modell
	20b	Zweites virtuelles Modell
	20c	Drittes virtuelles Modell
30	20d	Viertes virtuelles Modell
	20e	Fünftes virtuelles Modell

	21	Teilbereich der Oberfläche
	22	Motiv
	220	Motiv
	221	Motiv
5	222	Motiv
	223	Motiv
	224	Motiv
	225	Motiv
	226	Motiv
10	227	Motiv
	228	Motiv
	229	Motiv
	229a	Motiv
	230	Motiv
15	240	Motiv
	22a	Erstes Motiv
	22b	Zweites Motiv
	22c	Erste Menge von Motiven
	22d	Zweite Menge von Motiven
20	22e	Dritte Menge von Motiven
	22f	Vierte Menge von Motiven
	22g	Fünfte Menge von Motiven
	22h	Sechste Menge von Motiven
	22i	Siebte Menge von Motiven
25	22j	Achte Menge von Motiven
	22k	Rotes Motiv
	22l	Grünes Motiv
	22m	Blaues Motiv
	30	Virtuelle Lichtquelle
30	300	Virtuelle Lichtquelle
	301	Virtuelle Lichtquelle

	31	Virtuelle Punktlichtquelle
	32	Mikrosymbole
	33	Virtuelle Referenzlichtquelle
	40	Virtuelles elektromagnetisches Feld
5	41	Virtuelles elektromagnetisches Gesamtfeld
	42	Referenzrichtung
	43	Referenzfeld
	44	Propagationsrichtung
	45	Belichtungsrichtung
10	50	Phasenbild
	60	Höhenprofil
	61	Graustufenbild
	62	Zugeordnetes Höhenprofil
	63	Optisch variable Struktur
15	65	Sicherheitsstreifen
	70	Beobachter
	71	Sensor
	72	Lichtquelle
	α	Winkel
20	α_1	Winkel
	α_2	Winkel
	α_3	Winkel
	α_1'	Winkel
	α_2'	Winkel
25	α_3'	Winkel
	h_1	Abstand
	h_2	Abstand
	h_3	Abstand
	h_4	Abstand
30	Ω	Raumwinkel
	Ω_1	Raumwinkel

	Ω_2	Raumwinkel
	N	Flächennormale
	β_1	Winkel
	β_2	Winkel
5	K	Kurve

5

Ansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung eines Hologramms (1), insbesondere eines
10 Hologramms (1) für Sicherheitselemente (1a) und/oder
Sicherheitsdokumente (1b),
dadurch gekennzeichnet ,
dass eine oder mehrere virtuelle Hologrammebenen (10) vor und/oder hinter ein
oder mehreren virtuellen Modellen (20) angeordnet werden und/oder eine oder
15 mehrere virtuelle Hologrammebenen (10) derart angeordnet werden, dass sie ein
oder mehrere virtuelle Modelle (20) schneiden,
dass auf einem oder mehreren Teilbereichen der Oberfläche (21) einer oder
mehrerer der virtuellen Modelle (20) ein oder mehrere virtuelle Lichtquellen (30)
angeordnet werden,
20 dass ein oder mehrere virtuelle elektromagnetische Felder (40) ausgehend von
zumindest einer der virtuellen Lichtquellen (30) in ein oder mehreren Zonen (11)
der ein oder mehreren virtuellen Hologrammebenen (10) berechnet werden,
dass in den ein oder mehreren Zonen (11) jeweils ein virtuelles
elektromagnetisches Gesamtfeld (41) basierend auf der Summe zweier oder
25 mehrerer, insbesondere aller, der virtuellen elektromagnetischen Felder (40) in
der jeweiligen Zone (11) berechnet werden,
dass ein oder mehrere Phasenbilder (50) aus den virtuellen elektromagnetischen
Gesamtfeldern (41) in den ein oder mehreren Zonen (11) berechnet werden,
dass aus den ein oder mehreren Phasenbildern (50) ein Höhenprofil (60) des
30 Hologramms (1) berechnet wird und das Höhenprofil (60) des Hologramms (1) zur
Bereitstellung des Hologramms (1) in ein Substrat (2) eingebracht wird.

2. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass eines oder mehrere der virtuellen Modelle (20) jeweils als ein virtuelles 2D-
5 Modell oder als ein virtuelles 3D-Modell ausgebildet werden.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das virtuelle elektromagnetische Feld (40), welches von zwei oder mehreren
10 der virtuellen Lichtquellen (30) ausgeht, insbesondere von allen der virtuellen
Lichtquellen (30) ausgeht, die gleiche Intensität und/oder die gleiche
Intensitätsverteilung über ein oder mehrere Raumwinkelbereiche aufweist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass das virtuelle elektromagnetische Feld (40), welches von zwei oder mehreren
der virtuellen Lichtquellen (30) ausgeht, insbesondere von allen der virtuellen
Lichtquellen (30) ausgeht, unterschiedliche Intensitäten und/oder unterschiedliche
Intensitätsverteilungen über ein oder mehrere Raumwinkelbereiche aufweist.
20
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das virtuelle elektromagnetische Feld (40), welches von ein oder mehreren
der virtuellen Lichtquellen (30) ausgeht, insbesondere von allen der virtuellen
25 Lichtquellen (30) ausgeht, eine isotrope oder eine anisotrope Intensitätsverteilung
über ein oder mehrere Raumwinkelbereiche aufweist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
30 dass ein oder mehrere der virtuellen Lichtquellen (30), insbesondere alle der
virtuellen Lichtquellen (30), eine virtuelle Punktlichtquelle (31) ausbilden, wobei

die virtuelle Punktlichtquellen (31) vorzugsweise eine virtuelle Kugelwelle abstrahlt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 dadurch gekennzeichnet ,

dass mittels einer virtuellen Blende der Strahlkegel der virtuellen Lichtquelle (30), insbesondere der virtuellen Punktlichtquelle (31), auf einen Raumwinkelbereich von $\pm 45^\circ$, bevorzugt auf einem Raumwinkelbereich von $\pm 35^\circ$, weiter bevorzugt auf $\pm 25^\circ$, weiter bevorzugt auf $\pm 15^\circ$, beschränkt wird.

10

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet ,

dass das virtuelle elektromagnetische Feld U_i ausgehend von einer i-ten virtuellen Punktlichtquelle (31) an dem Punkt (x_i, y_i, z_i) an einem Punkt $(x_h, y_h, z_h=0)$ der
15 zumindest einen Zone (11) mittels der Gleichung

$$U_i(x_h, y_h) = \frac{\exp(ikr)}{r}, \quad r = \sqrt{(x_h - x_i)^2 + (y_h - y_i)^2 + z_i^2},$$

berechnet wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

20 dadurch gekennzeichnet ,

dass die virtuellen Lichtquellen (30), welche auf ein oder mehreren der Teilbereiche der Oberfläche (21) eines der virtuellen Modelle (20) angeordnet sind, in zumindest einer Richtung periodisch auf der Oberfläche (21) des virtuellen Modells (20) angeordnet sind und/oder in zumindest einer Richtung
25 zufällig oder pseudo-zufällig auf der Oberfläche (21) des virtuellen Modells (20) angeordnet sind.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet ,

dass die Abstände benachbarter virtueller Lichtquellen (30) zwischen 5 μm und 500 μm , weiter bevorzugt zwischen 10 μm und 200 μm , liegen.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Anordnung der virtuellen Lichtquellen (30), insbesondere der virtuellen Punktlichtquellen (31), als ein Kreuzraster erfolgt, wobei der Abstand benachbarter virtueller Lichtquellen (30) zueinander zwischen 5 μm und 500 μm , insbesondere zwischen 10 μm und 200 μm , beträgt.

10

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass ein oder mehrere der virtuellen Lichtquellen (30) die Form von Mikrosymbolen (32) aufweisen, insbesondere ausgewählt aus: Buchstabe,

15

Porträt, Bild, alphanumerisches Zeichen, Schriftzeichen, geometrische Freiform, Quadrat, Dreieck, Kreis, gekrümmte Linie, Umriss.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

20

dass die lateralen Abmessungen der Mikrosymbole (32) auf ein oder mehreren der Teilbereiche der Oberfläche (21) eines oder mehrerer der virtuellen Modelle (20) zwischen 5 μm und 500 μm liegen, insbesondere zwischen 10 μm und 200 μm , liegen.

25

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass zwei oder mehrere virtuelle Hologrammebenen (10) vorgesehen sind, wobei jede der zwei oder mehreren virtuellen Hologrammebenen (10) ein oder mehrere der Zonen (11) aufweist.

30

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass sich die zwei oder mehreren virtuellen Hologrammebenen (10) in Bezug auf ihre Ausrichtung, Positionierung, Abmessung und/oder Krümmung unterscheiden, insbesondere sich die zwei oder mehreren virtuellen Hologrammebenen (10) in den jeweiligen Zonen (11) in Bezug auf ihre Ausrichtung, Positionierung, Abmessung und/oder Krümmung unterscheiden.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass zwei oder mehrere virtuelle Modelle (20) vorgesehen sind.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass jedes der zwei oder mehreren virtuellen Modelle (20) einer der virtuellen Hologrammebenen (10) zugeordnet ist und in den ein oder mehreren Zonen (11) der jeweiligen virtuellen Hologrammebene (10) die von den ein oder mehreren virtuellen Lichtquellen (30) des zugeordneten virtuellen Modells (20) ausgehenden ein oder mehreren virtuellen elektromagnetischen Felder (40) berechnet werden.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass das virtuelle Modell (20) oder jedes der zwei oder mehreren virtuellen Modelle (20) zwei oder mehreren der virtuellen Hologrammebenen (10) zugeordnet ist und in den ein oder mehreren Zonen (11) der jeweiligen virtuellen Hologrammebene (10) die von den ein oder mehreren virtuellen Lichtquellen (30) des zugeordneten virtuellen Modells (20) bzw. der zugeordneten virtuellen Modelle (20) ausgehenden ein oder mehreren virtuellen elektromagnetischen Felder (40) berechnet werden.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass zur Berechnung der ein oder mehreren Phasenbilder (50) die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) von zwei oder mehreren der Zonen (11), insbesondere von zwei oder mehreren der Zonen (11), welche Zonen (11) unterschiedlicher der virtuellen Hologrammebenen (10) sind, überlagert werden, insbesondere basierend auf einer vorgegebenen Referenzrichtung (42), überlagert werden.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die zur Berechnung der ein oder mehreren Phasenbilder (50) überlagerten zwei oder mehreren Zonen (11) sich in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung (42) zumindest teilweise überlappen, vorzugsweise vollständig überlappen, so dass vorzugsweise zwei oder mehrere von unterschiedlichen Zonen (11) in dem bereitgestellten Hologramm (1) bereitgestellte Motive (22) in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung (42) in sich überschneidenden Oberflächenbereichen des bereitgestellten Hologramms (1) generiert werden.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die zur Berechnung der ein oder mehreren Phasenbilder (50) überlagerten zwei oder mehreren Zonen (11) sich in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung (42) sich nicht überlappen, so dass vorzugsweise zwei oder mehrere von unterschiedlichen Zonen (11) in dem bereitgestellten Hologramm (1) bereitgestellte Motive (22) in Bezug auf die vorgegebene Referenzrichtung (42) in getrennten Oberflächenbereichen des bereitgestellten Hologramms (1) generiert werden.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass ein oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen (10) in ein oder mehreren der Zonen (11) zumindest entlang einer Referenzrichtung (42) eine von null verschiedene Krümmung aufweisen, insbesondere konvex oder konkav gekrümmt sind, oder eine lokale Krümmung aufweisen, wobei der der lokalen Krümmung zugeordnete Krümmungsradius insbesondere zwischen 5 mm und 50 mm, bevorzugt zwischen 10 mm und 30 mm, liegt.

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet ,

dass die Geometrie einer oder mehrerer der virtuellen Hologrammebenen (10) in einer oder mehrerer der Zonen (11) jeweils einer Mantelfläche eines Zylindersegments entspricht oder einer Freiformfläche entspricht.

24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet ,

dass ein oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen (10) in einer oder mehreren der Zonen (11) einen vorbestimmten Krümmungsverlauf aufweisen, dass das virtuelle elektromagnetische Gesamtfeld (41) in den ein oder mehreren Zonen (11) jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern (40) ein oder mehrerer erster der ein oder mehreren virtuellen Modelle (20a) berechnet wird, so dass das bereitgestellte Hologramm (1) bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats (2) gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen (11) für einen Beobachter (70) und/oder für einen Sensor (71) teilweise oder vollständig erfassbar ist, insbesondere den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen (20a) zugeordnete ein oder mehrere erste Motive (22a) bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats (2) gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen (11) für den Beobachter (70) bzw. den Sensor (71) teilweise oder vollständig erfassbar werden.

25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet ,

dass die ein oder mehreren ersten Motive (22a) bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats (2) gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen (11) für einen Beobachter (70) und/oder für einen Sensor (71) vollständig oberhalb und/oder unterhalb und/oder innerhalb der durch das Substrat (2) aufgespannten Ebene erfassbar ist, wobei der Abstand zwischen einem oder mehreren der ersten Motive (22a) und der durch das Substrat (2) aufgespannten Ebene vorzugsweise zwischen -30 mm und +30 mm liegt, bevorzugt zwischen -15 mm und +15 mm liegt, weiter bevorzugt zwischen -5 mm und +5 mm liegt, weiter bevorzugt zwischen -3 mm und + 3 mm liegt.

26. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass zwei oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen (10) in einer oder mehrerer erster der Zonen (11a) einen unterschiedlichen Krümmungsverlauf

und/oder eine unterschiedliche Ausrichtung gegenüber den Krümmungsverlauf und/oder der Ausrichtung in ein oder mehreren zweiten der Zonen (11b)

aufweisen, dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) in den ein oder mehreren ersten und zweiten Zonen (11a, 11b) jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern (40) ein oder mehrerer erster oder zweiter

der ein oder mehreren virtuellen Modelle (20a, 20b) berechnet wird, so dass das bereitgestellte Hologramm (1) bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats (2) gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren ersten oder zweiten

Zonen (11a, 11b) oder bei Ausrichtung gemäß der Ausrichtung der ersten oder zweiten Zonen (11a, 11b) für einen Beobachter (70) und/oder für einen

Sensor (71) teilweise oder vollständig erfassbar ist.

27. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) in den ein oder mehreren ersten Zonen (11a) jeweils basierend auf den virtuellen

elektromagnetischen Feldern (40) der ein oder mehreren ersten virtuellen

Modelle (20a) berechnet wird und die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) in den ein oder mehreren zweiten Zonen (11b) jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern (40) der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle (20b) berechnet wird, so dass den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen (20a) zugeordnete ein oder mehreren ersten Motiven (22a) bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats (2) gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren ersten Zonen (11a) für einen Beobachter (70) und/oder einen Sensor (71) teilweise oder vollständig erfassbar werden, und dass den ein oder mehreren zweiten virtuellen Modellen (20b) zugeordnete ein oder mehreren zweiten Motiven (22b) bei Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats (2) gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren zweiten Zonen (11) für einen Beobachter (70) und/oder einen Sensor (71) teilweise oder vollständig erfassbar werden.

28. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) in den ein oder mehreren ersten Zonen (11a) jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern (40) der ein oder mehreren ersten virtuellen

Modelle (20a) derart berechnet werden und/oder dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) in den ein oder mehreren zweiten Zonen (11b) jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern (40) der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle (20b) derart

berechnet werden, dass ein erster Teil der den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen (20a) zugeordneten ein oder mehreren ersten Motive (22a) und/oder dass ein zweiter Teil der den ein oder mehreren zweiten virtuellen Modellen (20b) zugeordneten ein oder mehreren zweiten Motive (22b), bei

Verbiegung bzw. Krümmung des Substrats (2), insbesondere gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen (11), ersten Zonen (11a) und/oder zweiten Zonen (11b), für einen Beobachter (70) und/oder für einen

Sensor (71) erfassbar ist, und/oder im flachen beziehungsweise nicht verbogenen

bzw. nicht gekrümmten Zustand des Substrats (2), insbesondere gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen (11), ersten Zonen (11a) und/oder zweiten Zonen (11b), für einen Beobachter (70) und/oder für einen Sensor (71) nicht, insbesondere teilweise, erfassbar ist, wobei vorzugsweise die
5 ein oder mehreren ersten Motive (22a) ein erstes Gesamtmotiv umfassend den ersten Teil der ein oder mehreren ersten Motive (22a) generieren und/oder vorzugsweise die ein oder mehreren zweiten Motive (22b) ein zweites Gesamtmotiv umfassend den zweiten Teil der ein oder mehreren zweiten Motive (22b) generieren.

10 29. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) in den ein oder mehreren ersten Zonen (11a) jeweils basierend auf den virtuellen

15 elektromagnetischen Feldern (40) der ein oder mehreren ersten virtuellen Modelle (20a) derart berechnet werden und/oder dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) in den ein oder mehreren zweiten Zonen (11b) jeweils basierend auf den virtuellen elektromagnetischen

Feldern (40) der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle (20b) derart

20 berechnet werden, dass den ein oder mehreren ersten virtuellen Modellen (20a)

zugeordnete ein oder mehrere erste Motive (22a) und/oder dass den ein oder mehreren zweiten virtuellen Modellen (20b) zugeordnete ein oder mehrere zweite

Motive (22b), insbesondere gemäß des Krümmungsverlaufs der ein oder mehreren Zonen (11), ersten Zonen (11a) und/oder zweiten Zonen (11b), für

25 einen Beobachter (70) und/oder für einen Sensor (71), insbesondere bei Beleuchtung mit nicht kollimierten Licht, bevorzugt bei diffuser Beleuchtung, nicht erfassbar sind, und/oder für einen Beobachter (70) und/oder für einen

Sensor (71), insbesondere bei Beleuchtung mit kollimierten Licht, bevorzugt bei Beleuchtung mit einer LED-Lampe, insbesondere bevorzugt bei Beleuchtung mit

30 einer LED-Lampe eines Smartphones, erfassbar sind.

30. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) in den ein oder mehreren ersten Zonen (11a) jeweils basierend auf den virtuellen

5 elektromagnetischen Feldern (40) der ein oder mehreren ersten virtuellen

Modelle (20a) berechnet werden und die virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) in den ein oder mehreren zweiten Zonen (11b) jeweils

basierend auf den virtuellen elektromagnetischen Feldern (40) der ein oder mehreren zweiten virtuellen Modelle (20b) berechnet werden, so dass den ein

10 oder mehreren ersten virtuellen Modellen (20a) zugeordnete ein oder mehreren ersten Motive (22a) bei Ausrichtung des Substrats (2) gemäß der Ausrichtung der ein oder mehreren ersten Zonen (11a) für einen Beobachter (70) und/oder einen Sensor (71) teilweise oder vollständig erfassbar werden, und dass die den ein

oder mehreren zweiten virtuellen Modellen (20b) zugeordneten ein oder

15 mehreren zweiten Motive (22b) bei Ausrichtung des Substrats (2) gemäß der Ausrichtung der ein oder mehreren zweiten Zonen (11b) für einen

Beobachter (70) und/oder einen Sensor (71) teilweise oder vollständig erfassbar werden.

20 31. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass zwei oder mehrere der Zonen (11) jeweils einer der virtuellen

Hologrammebenen (10) zugeordnet sind und die virtuellen elektromagnetischen

Gesamtfelder (41) in den ein oder mehreren Zonen (11) jeweils basierend auf den

25 virtuellen elektromagnetischen Feldern (40) der ein oder mehreren Zonen (11)

berechnet werden, so dass eines oder mehrere der virtuellen Modelle (20) bei

Verkipfung und/oder Drehung des Substrats (2) teilweise oder vollständig von

einem Beobachter (70) und/oder von einem Sensor (71) als eine Abfolge von den

einem oder mehreren virtuellen Modellen (20) zugeordneten ein oder mehreren

30 Motiven (22) erfassbar sind, welche insbesondere einen parallaktischen

Bewegungseffekt oder einen orthoparallaktischen Bewegungseffekt oder eine

Kombination aus einem parallaktischen Bewegungseffekt und einem orthoparallaktischen Bewegungseffekt aufweisen.

32. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass in ein oder mehreren Zonen (11), insbesondere in allen Zonen (11), jeweils ein virtuelles elektromagnetisches Gesamtfeld (41) basierend auf der Summe zweier oder mehrerer, insbesondere aller, der virtuellen elektromagnetischen Felder (40) in der jeweiligen Zone (11) multipliziert mit einem oder mehreren
10 virtuellen Referenzfeldern (43) einer oder mehrerer virtueller Referenzlichtquellen (33) in den ein oder mehreren Zonen (11) berechnet wird.

33. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

15 dass ein oder mehrere der virtuellen Referenzfelder (43) eine nicht-isotrope Beleuchtung des virtuellen 2D-Modells und/oder des virtuellen 3D-Modells simulieren, insbesondere die Beleuchtung mit den den ein oder mehreren virtuellen Referenzfeldern (43) zugeordneten ein oder mehreren Referenzlichtquellen (33) simulieren.

20

34. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

25 dass die Propagationsrichtung ein oder mehrerer der virtuellen Referenzfelder (43) einen Winkel zwischen 10° und 50° , insbesondere zwischen 15° und 45° , weiter bevorzugt zwischen 30° und 40° , zu der Flächennormalen oder zu der mittleren Flächennormale einer oder mehrerer der virtuellen Hologrammebenen (10) aufweist und/oder der Strahlkegel ein oder mehrerer der virtuellen Referenzlichtquellen (33) einen Öffnungswinkel zwischen 0° und 45° , weiter bevorzugt zwischen 0° und 15° , aufweist und/oder ein oder mehrere der
30 virtuellen Referenzlichtquellen (33) eine Beabstandung zu ein oder mehreren der

virtuellen Hologrammebenen (10) zwischen 0,01 m und 10 m, bevorzugt zwischen 0,1 m und 2m, weiter bevorzugt zwischen 0,2 m und 1m, aufweisen.

35. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass ein oder mehrere Raumwinkelbereiche, insbesondere der gesamte Raumwinkelbereich, in welchem eines oder mehrere der Motive (22, 22a, 22b, 22c, 22d, 22e, 22f, 22g, 22h, 22i, 22j, 22k, 22l, 22m) von einem Beobachter (70) und/oder von einem Sensor (71) vollständig oder teilweise erfassbar sind,
10 symmetrisch um die Flächennormale, insbesondere um die mittlere Flächennormale, der Hologrammebene (10) angeordnet sind und insbesondere einen Winkelbereich von 0° bis 30°, bevorzugt einen Winkelbereich von 0° bis 20°, insbesondere bevorzugt einen Winkelbereich von 0° bis 15°, zu den Flächennormalen, insbesondere zur der mittleren Flächennormale, aufspannen.

15

36. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei der Berechnung des Höhenprofils (60) des bereitgestellten Hogramms (1) ein oder mehrere der Phasenbilder (50) in ein oder mehrere
20 zugeordnete Höhenprofile (62) transformiert, insbesondere linear transformiert, werden, wobei insbesondere das Höhenprofil (60) des bereitgestellten Hogramms (1) mittels Überlagerung und/oder Rasterung der den ein oder mehreren Phasenbildern (50) zugeordneten Höhenprofilen (62) berechnet wird.

25 37. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass ein oder mehrere der zugeordneten Höhenprofile (62) zur Bereitstellung des Hogramms (1) in ein Substrat (2) eingebracht werden, wobei die zugeordneten Höhenprofile (62) in dem Substrat (2) bevorzugt überlagert und/oder gerastert
30 vorliegen.

38. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die zugeordneten Höhenprofile (62) und/oder das Höhenprofil (60) des bereitgestellten Hologramms (1) als Graustufenbild (61) kodiert werden bzw. wird, bei welchen bzw. dem die Grauwerte Höhenwerten, insbesondere normierten Höhenwerten, zugeordnet werden, welche vorzugsweise einen minimalen Höhenwert von 0 und einen maximalen Höhenwert von 2π aufweisen.

39. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Differenz zwischen dem minimalen Höhenwert des in das Substrat (2) eingebrachten Höhenprofils (60) und dem maximalen Höhenwert des in das Substrat (2) eingebrachten Höhenprofils (62) einer optischen Wegdifferenz von der Hälfte oder einem Vielfachen der Hälfte einer Referenzwellenlänge entspricht, im Fall der Ausbildung des bereitgestellten Hologramms (1) als Reflexionshologramm, oder dass die Differenz zwischen dem minimalen Höhenwert des in das Substrat (2) eingebrachten Höhenprofils und dem maximalen Höhenwert des in das Substrat (2) eingebrachten Höhenprofils einer optischen Wegdifferenz von einer Referenzwellenlänge oder einem Vielfachen einer Referenzwellenlänge entspricht, im Fall der Ausbildung des bereitgestellten Hologramms (1) als Transmissionshologramm.

40. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die zugeordneten Höhenprofile (62) und/oder das Höhenprofil (60) des bereitgestellten Hologramms (1) in das Substrat (2), insbesondere in ein Substrat (2) aufweisend eine Photoresistschicht, mittels eines Verfahrens, ausgewählt aus: Laserstrahlolithographie, Elektronenstrahlolithographie, eingebracht werden bzw. wird.

41. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die zugeordneten Höhenprofile (62) und/oder das Höhenprofil (60) des
bereitgestellten Hologramms (1) in das Substrat (2) mittels eines
Replizierverfahrens, insbesondere mittels thermischer Replikation oder
5 UV-Replikation eingebracht werden bzw. wird.

42. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die zugeordneten Höhenprofile (62) und/oder das Höhenprofil (60) des
10 bereitgestellten Hologramms (1) mittels der Verfahren Galvanik, Rekombination
und Roll-to-roll Replikation in eine Folie, insbesondere in eine zumindest eine
Metallschicht und/oder in eine zumindest eine transparente Schicht aufweisende
Folie, eingebracht werden bzw. wird, wobei die Folie insbesondere eine HRI-
Schicht aufweist.

43. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die zugeordneten Höhenprofile (62) und/oder das Höhenprofil (60) des
bereitgestellten Hologramms (1) in einen Dünnschichtaufbau eingebracht werden
20 bzw. wird, insbesondere in einen Fabry-Perot-Schichtaufbau eingebracht werden
bzw. wird, wobei der Fabry-Perot-Schichtaufbau vorzugsweise zumindest eine
erste semitransparente Absorberschicht, zumindest eine transparente
Abstandsschicht und zumindest eine zweite semitransparente Absorberschicht
oder eine opake Reflexionsschicht aufweist.

44. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die erste semitransparente Absorberschicht eine Schichtdicke zwischen
5 nm und 10 nm aufweist und/oder aus Aluminium oder Chrom besteht.

45. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet ,

dass die transparente Abstandschicht eine Schichtdicke zwischen 300 nm und 600 nm aufweist und/oder aus SiO₂ oder MgF₂ besteht.

5 46. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet ,

dass die transparente Abstandschicht aus einer gedruckten Polymerschicht besteht, welche insbesondere mittels Tiefdruck, Schlitzgießen oder im Inkjet-Druck aufgebracht wird.

10

47. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet ,

dass die opake Reflexionsschicht eine Schichtdicke zwischen 5 nm und 50 nm aufweist.

15

48. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet ,

dass die zugeordneten Höhenprofile (62) und/oder das Höhenprofil (60) des bereitgestellten Hologramms (1) in bzw. auf ein opakes Substrat (2),

20

insbesondere in bzw. auf opake Papierdokumente oder in bzw. auf opake Papierbanknoten eingebracht oder appliziert werden bzw. wird.

49. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet ,

25

dass die zugeordneten Höhenprofile (62) und/oder das Höhenprofil (60) des bereitgestellten Hologramms (1) in zumindest einen Fensterbereich,

insbesondere in bzw. auf zumindest einen Fensterbereich einer ID1-Karte, oder in bzw. auf ein transparentes Substrat, insbesondere in bzw. auf eine transparente Polymerbanknote, eingebracht oder appliziert werden bzw. wird, wodurch das

30

Höhenprofil (60) des Hologramms (1) zumindest bei Durchlichtbetrachtung erfassbar ist.

50. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zugeordneten Höhenprofile (62) und/oder das Höhenprofil (60) des
5 Hologramms (1) in das Substrat (2) durch Belichtung eines
Volumenhologrammmaterials eingebracht werden bzw. wird, wobei die
zugeordneten Höhenprofile (60) und/oder das Höhenprofil (60) des
Hologramms (1) hierbei durch den Verlauf der Bragg-Ebenen des hierdurch
generierten Volumenhologramms bestimmt werden bzw. wird.

10

51. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass in das Substrat (2) zusätzlich zu den zugeordneten Höhenprofilen (62)
und/oder zum Höhenprofil (60) des Hologramms (1) das Höhenprofil zumindest
15 einer weiteren optisch variablen Struktur (63) ausgewählt aus: einer diffraktiven
Reliefstruktur, insbesondere eines Beugungsgitters, eines Kinegrams® und/oder
eines Trustseals®, einer Beugungsstruktur nullter Ordnung, eines Blaze-Gitters,
einer Mikrospiegelstruktur, einer isotropen oder anisotropen Mattstruktur, einer
Mikrolinsenstruktur, eingebracht wird.

20

52. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zugeordneten Höhenprofile (62) und/oder das Höhenprofil (60) des
Hologramms (1) in ein oder mehrere erste Bereiche (2a) des Substrats (2)
25 eingebracht werden bzw. wird und dass das Höhenprofil der zumindest einen
weiteren optisch variablen Struktur (63) in ein oder mehrere zweite Bereiche (2b)
des Substrats (2) eingebracht wird.

53. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
30 dadurch gekennzeichnet,

dass zumindest ein oder mehrere der zweiten Bereiche (2b) ein oder mehrere der ersten Bereiche (2a) zumindest teilweise überlappen.

54. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 dadurch gekennzeichnet ,
dass die ein oder mehreren ersten Bereiche (2a) die ein oder mehreren zweiten Bereiche (2b) nicht überlappen, bevorzugt die ein oder mehreren ersten Bereiche (2a) und die ein oder mehreren zweiten Bereiche (2b) benachbart zueinander angeordnet sind, weiter bevorzugt ineinander verschachtelt
10 angeordnet sind und/oder einer der ersten oder zweiten Bereiche (2a, 2b) einen anderen der ersten oder zweiten Bereiche (2a, 2b) umschließt.

55. Sicherheitselement (1a), insbesondere hergestellt nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

15 dadurch gekennzeichnet ,
dass das Sicherheitselement (1a) ein Substrat (2) aufweist, in welches das Höhenprofil (60) eines Hologramms (1) eingebracht ist, welches aus ein oder mehreren Phasenbildern (50) berechnet ist, wobei die ein oder mehreren Phasenbilder (50) aus einem oder mehreren virtuellen elektromagnetischen
20 Gesamtfeldern (41) in einer oder mehreren Zonen (11) ein oder mehrerer virtueller Hologrammebenen (10) berechnet sind, wobei jedes der virtuellen elektromagnetischen Gesamtfelder (41) basierend auf der Summe zweier oder mehrerer virtueller elektromagnetischer Felder (40) in den jeweiligen ein oder mehreren Zonen (11) berechnet ist, wobei die zwei oder mehreren virtuellen
25 elektromagnetischen Felder (40) jeweils ausgehend von zumindest einer virtuellen Lichtquelle (30) berechnet sind, wobei eine oder mehrere der virtuellen Lichtquellen (30) auf einem oder mehreren Teilbereichen der Oberfläche (21) eines oder mehrerer virtueller Modelle (20) angeordnet ist, wobei eine oder mehrere der virtuellen Hologrammebenen (10) vor und/oder hinter einem oder
30 mehreren der virtuellen Modelle (20) angeordnet sind und/oder eine oder mehrere

der virtuellen Hologrammebenen (10) eines oder mehrere der virtuellen Modelle (20) schneiden.

56. Sicherheitselement (1a) nach Anspruch 55,

5 dadurch gekennzeichnet ,
dass eines oder mehrere der virtuellen Modelle (20) bei Verkipfung und/oder
Drehung des Substrats (2) teilweise oder vollständig von einem Beobachter (70)
und/oder von einem Sensor (71) als eine Abfolge von den einem oder mehreren
virtuellen Modellen (20) zugeordneten ein oder mehreren Motiven (22) erfassbar
10 sind, wobei ein oder mehrere der Motive (22) unterschiedliche oder gleiche
Bewegungsgeschwindigkeiten und/oder unterschiedliche oder gleiche
Bewegungsrichtungen aufweisen, wobei der Abstand zwischen einem oder
mehreren der Motiven (22), insbesondere der geometrischen Schwerpunkte eines
oder mehrerer der Motiven (22), und der durch das Substrat (2) aufgespannten
15 Ebene vorzugsweise zwischen -30 mm und +30 mm liegt, bevorzugt zwischen -
15 mm und +15 mm liegt, weiter bevorzugt zwischen -5 mm und +5 mm liegt,
weiter bevorzugt zwischen ± 3 mm liegt.

57. Sicherheitselement (1a) nach einem der Ansprüche 55 bis 56,

20 dadurch gekennzeichnet ,
dass die ein oder mehreren der virtuellen Modelle (20) zugeordneten ein oder
mehreren Motive (22) teilweise oder vollständig von einem Beobachter (70)
und/oder von einem Sensor (71) aus unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen
erfassbar sind, wobei sich die Motive (22) bei Beobachtung aus den
25 unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen zu einem Raster aus Punkten oder
aus Streifen, insbesondere einem linearen Barcode oder einem 2D Barcode,
bevorzugt einem QR-Code, zusammensetzen, wobei einer oder mehrere der
Punkte oder einer oder mehrere der Streifen jeweils in unterschiedlichen
Abständen zu der durch das Substrat (2) aufgespannten Ebene angeordnet sind,
30 insbesondere oberhalb und/oder unterhalb und/oder innerhalb der durch das
Substrat (2) aufgespannten Ebene angeordnet ist.

58. Sicherheitselement (1a) nach einem der Ansprüche 55 bis 57,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass ein oder mehrere Motive (22), welche jeweils einem der virtuellen
5 Modelle (20) zugeordnet sind, von einem Sensor (70) und/oder einem
Beobachter (71) des bereitgestellten Hologramms (1) erfassbar sind.

59. Sicherheitselement (1a) nach einem der Ansprüche 55 bis 58,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

10 dass ein oder mehrere Motive einer ersten Menge von Motiven (22c) bei einer
flachen oder nichtgekrümmten Anordnung des Substrats (2) für einen
Beobachter (70) und/oder einen Sensor (71) erfassbar sind und/oder dass ein
oder mehrere Motive einer zweiten Menge von Motiven (22d) bei Verbiegung
bzw. Krümmung des Substrats (2) gemäß des Krümmungsverlaufs der bzw. einer
15 der virtuellen Hologrammebenen (10) in der bzw. in einer der Zonen (11) teilweise
oder vollständig für einen Beobachter (70) und/oder Sensor (71) erfassbar sind,
wobei die Motive der ersten Menge von Motiven (22c) und die Motive der zweiten
Menge von Motiven (22d) teilweise oder vollständig unterschiedlich sind.

20 60. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 55 bis 59,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass ein oder mehrere Motive einer dritten Menge von Motiven (22e) bei
Verkipfung und/oder Drehung des Substrats (2) teilweise oder vollständig einen
von einem Beobachter (70) und/oder von einem Sensor (71) erfassbaren
25 parallaxtischen Bewegungseffekt bereitstellen, und/oder dass ein oder mehrere
Motive einer vierten Menge von Motiven (22f) bei Verkipfung und/oder Drehung
des Substrats (2) einen von einem Beobachter (70) und/oder von einem
Sensor (71) erfassbaren orthoparallaxtischen Bewegungseffekt bereitstellen,
wobei die Motive der dritten Menge von Motiven (22e) und die Motive der vierten
30 Menge von Motiven (22f) teilweise oder vollständig unterschiedlich sind.

61. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 55 bis 60,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass ein oder mehrere Motive einer fünften Menge von Motiven (22g) die

gleichen räumlichen Abstände oder unterschiedliche räumliche Abstände zu ein

5 oder mehreren Motiven einer sechsten Menge von Motiven (22h) aufweist, wobei

die Motive der fünften Menge von Motiven (22g) und die Motive der sechsten

Menge von Motiven (22h) teilweise oder vollständig unterschiedlich sind.

62. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 55 bis 61,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass sich ein oder mehrere Motive einer siebten Menge von Motiven (22i)

und/oder ein oder mehrere Motive einer achten Menge von Motiven (22j)

untereinander bzw. gegenseitig vollständig oder teilweise überlappen und/oder

vollständig oder teilweise räumlich voneinander getrennt sind, wobei die Motive

15 der siebten Menge von Motiven (22i) und die Motive der achten Menge von

Motiven (22j) teilweise oder vollständig unterschiedlich sind.

63. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 55 bis 62,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

20 dass die einem oder mehreren der virtuellen Modelle (20) zugeordneten ein oder

mehreren Motive (22) bei senkrechter Betrachtung der durch das Substrat (2)

aufgespannten Ebene weiß erscheinen, bei einem Betrachtungswinkel von 30°

bis 34° bezüglich des Einfallswinkels des Lichts bei einer Wellenlänge von

440 nm bis 460 nm in der Farbe Blau erfassbar ist, bei einem Betrachtungswinkel

25 von 38° bis 42° bezüglich des Einfallswinkels des Lichts bei einer Wellenlänge

von 530 nm bis 550 nm in der Farbe Grün erfassbar ist und/oder bei einem

Betrachtungswinkel von 49° bis 53° bezüglich des Einfallswinkels des Lichts bei

einer Wellenlänge von 640 nm bis 660 nm in der Farbe Rot erfassbar ist.

30 64. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 55 bis 63,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass sich die Farbe der ein oder mehrerer virtuellen Modelle (20) zugeordneten ein oder mehreren Motive (22) bei Verkipfung und/oder Drehung des Substrats (2) verändert.

5 65. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 55 bis 64,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass sich die einem oder mehreren der virtuellen Modelle (20) zugeordneten ein oder mehreren Motive (22) aus zumindest einem roten Motiv (22k) eines dritten virtuellen Modells (20c), aus zumindest einem grünen Motiv (22l) eines vierten
10 virtuellen Modells (20d) und/oder aus zumindest einem blauen Motiv (22m) eines fünften virtuellen Modells (20e) zu einem Echtfarbenbild zusammensetzen.

66. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 55 bis 65,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

15 dass die Intensitäten des zumindest einen roten, des zumindest einen grünen und/oder des zumindest einen blauen Motivs (22k, 22l, 22m) der entsprechend zugeordneten ersten, zweiten bzw. dritten virtuellen Modelle (20c, 20d, 20e) jeweils gemäß des Verlaufs des Spektrums des einfallenden Lichtes und/oder des Verlaufs der Antwortfunktion des menschlichen Auges gewichtet werden.

20

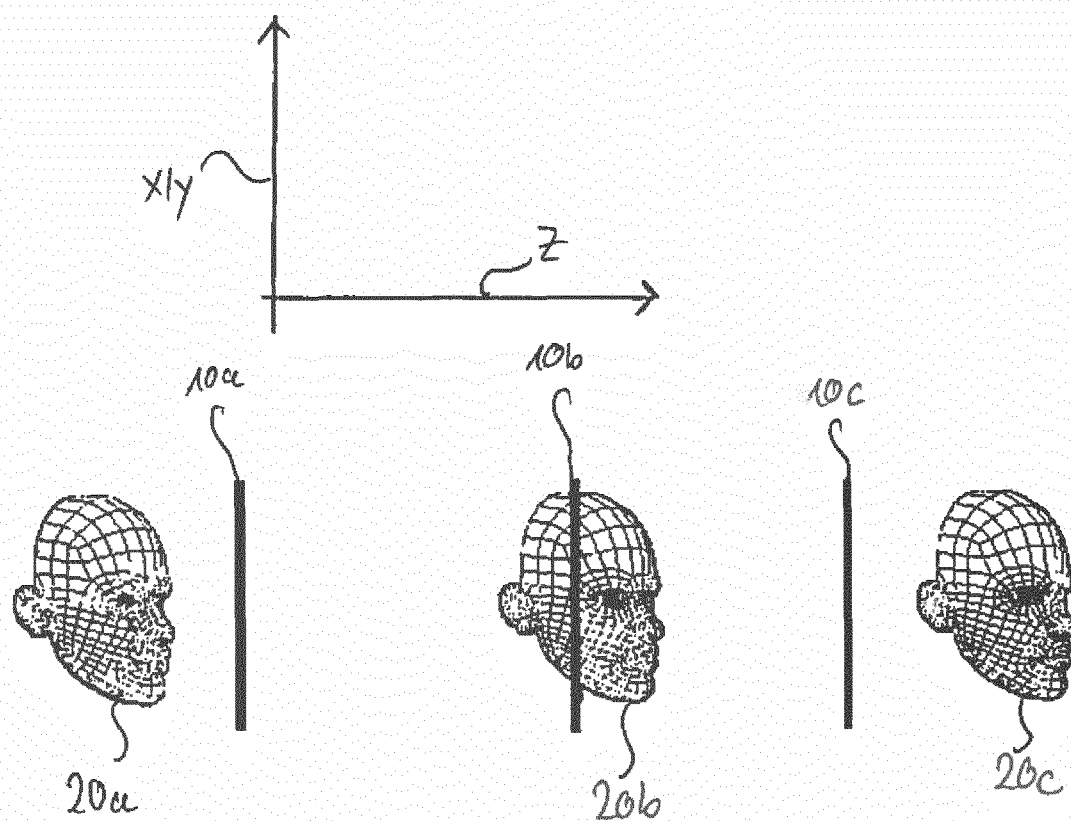
67. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 55 bis 66,

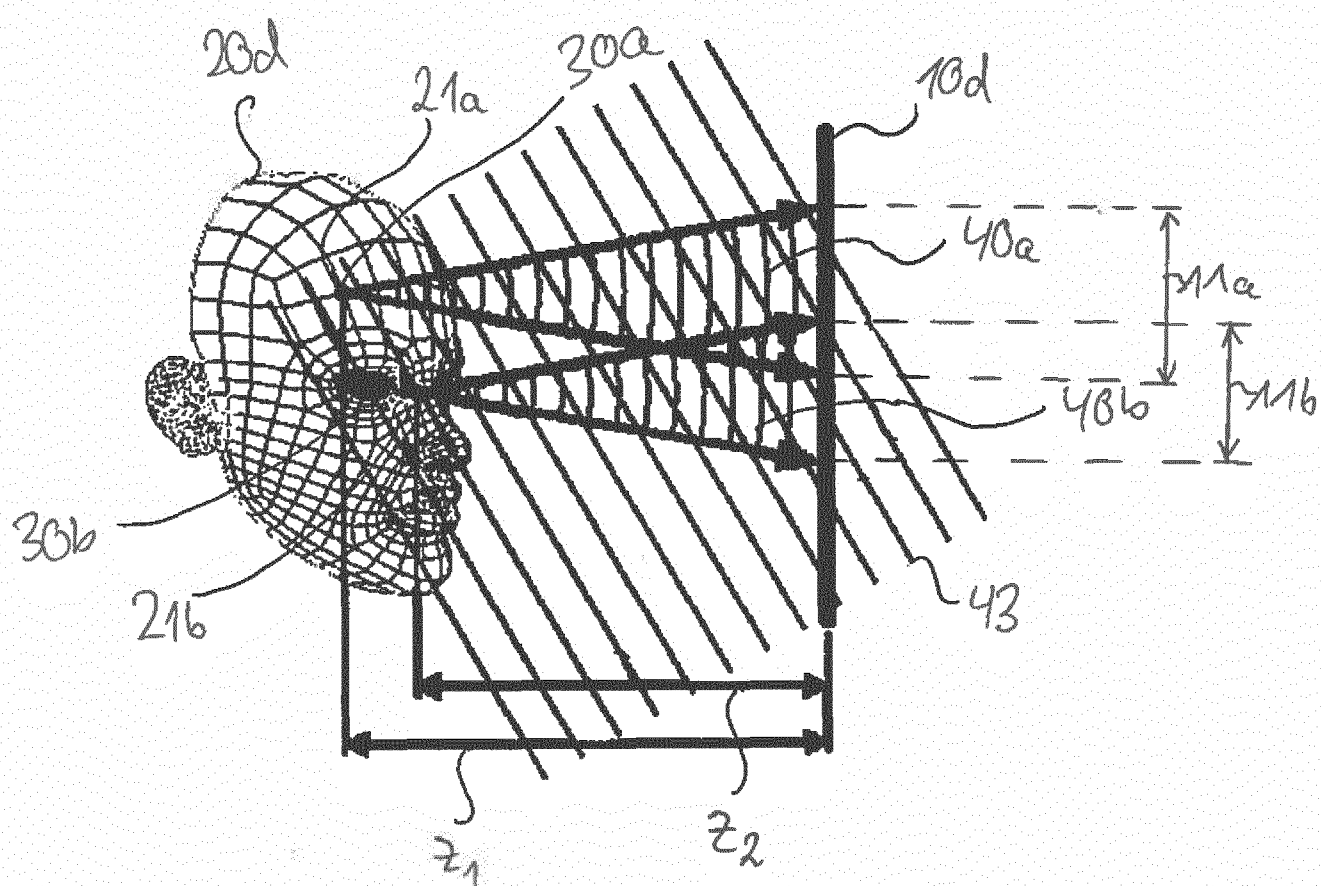
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

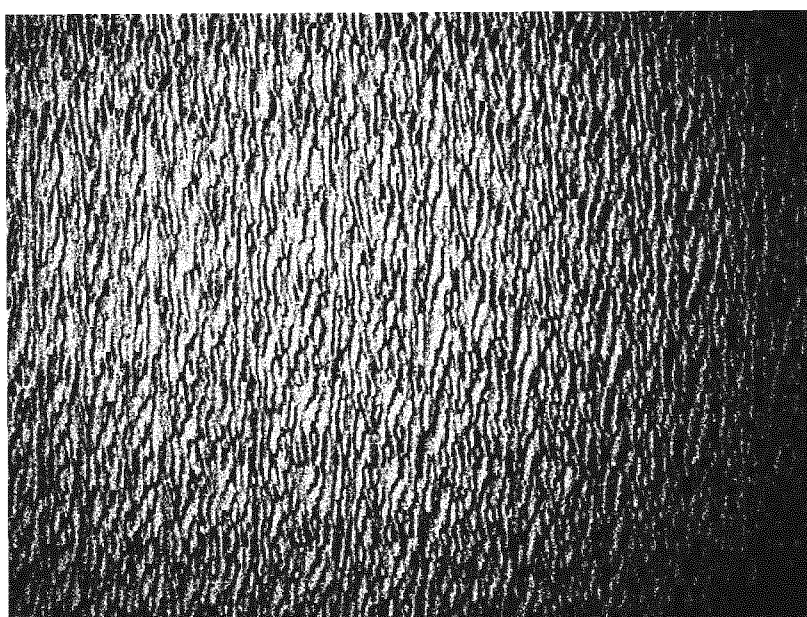
dass ein oder mehrere der Motive (22, 22a, 22b, 22c, 22d, 22e, 22f, 22g, 22h, 22i, 22j, 22k, 22l, 22m) ausgewählt sind aus: Buchstaben, Porträts, Bilder,
25 alphanumerische Zeichen, Schriftzeichen, geometrischen Freiformen, Quadraten, Dreiecken, Kreisen, gekrümmten Linien, Umrissen.

68. Sicherheitsdokument (1b), welches zumindest ein nach einem der Ansprüche 1 bis 54 hergestelltes Sicherheitselement (1a) aufweist und/oder ein

30 Sicherheitselement (1a) gemäß einem der Ansprüche 55 bis 67 aufweist.

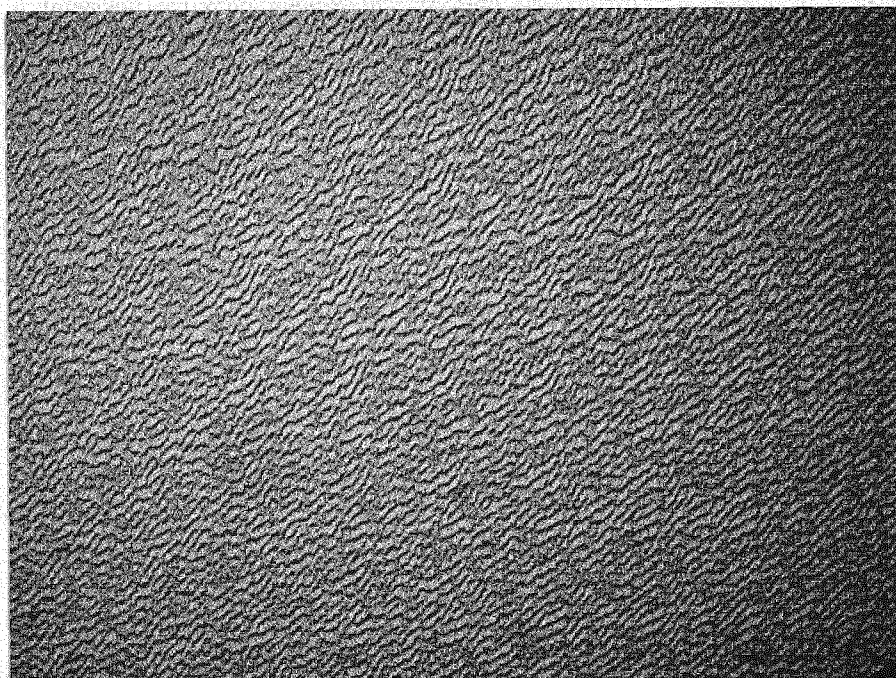
**Fig. 1**

**Fig. 2**



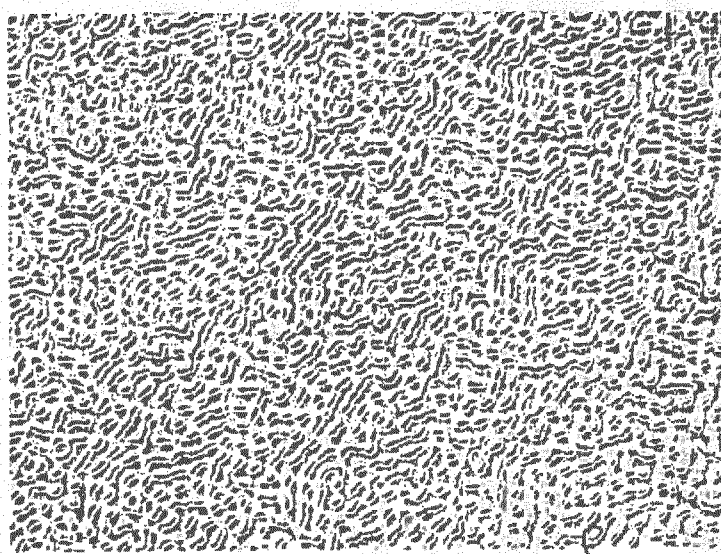
60a

Fig. 3



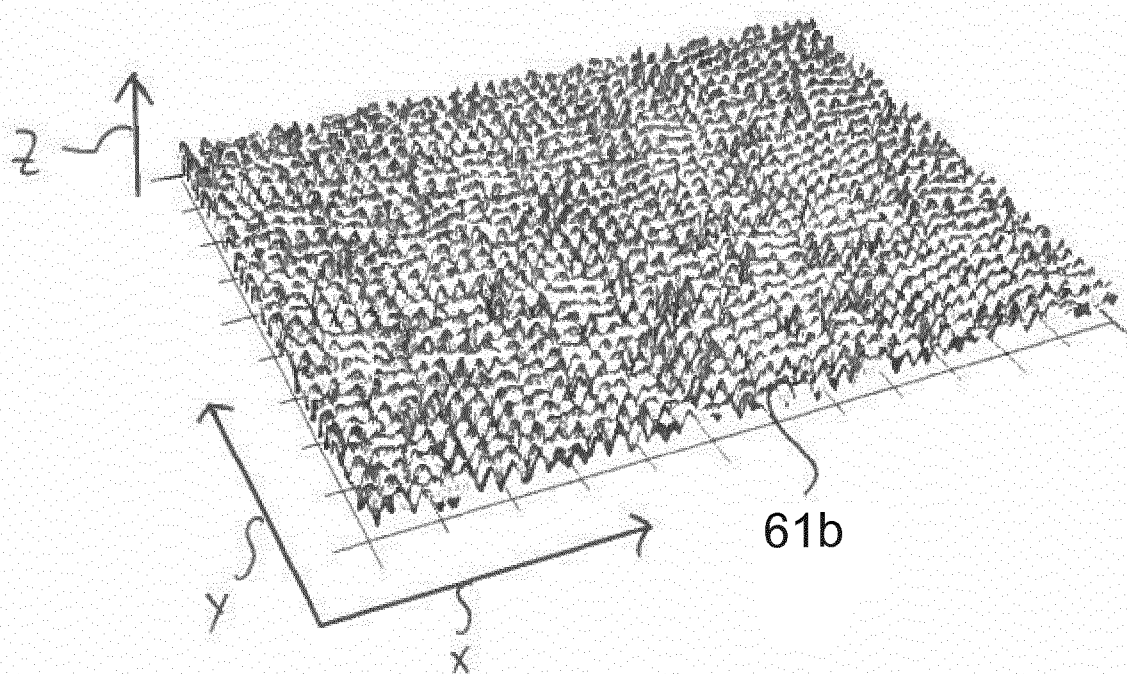
60b

Fig. 4



61a

Fig. 5

**Fig. 6**

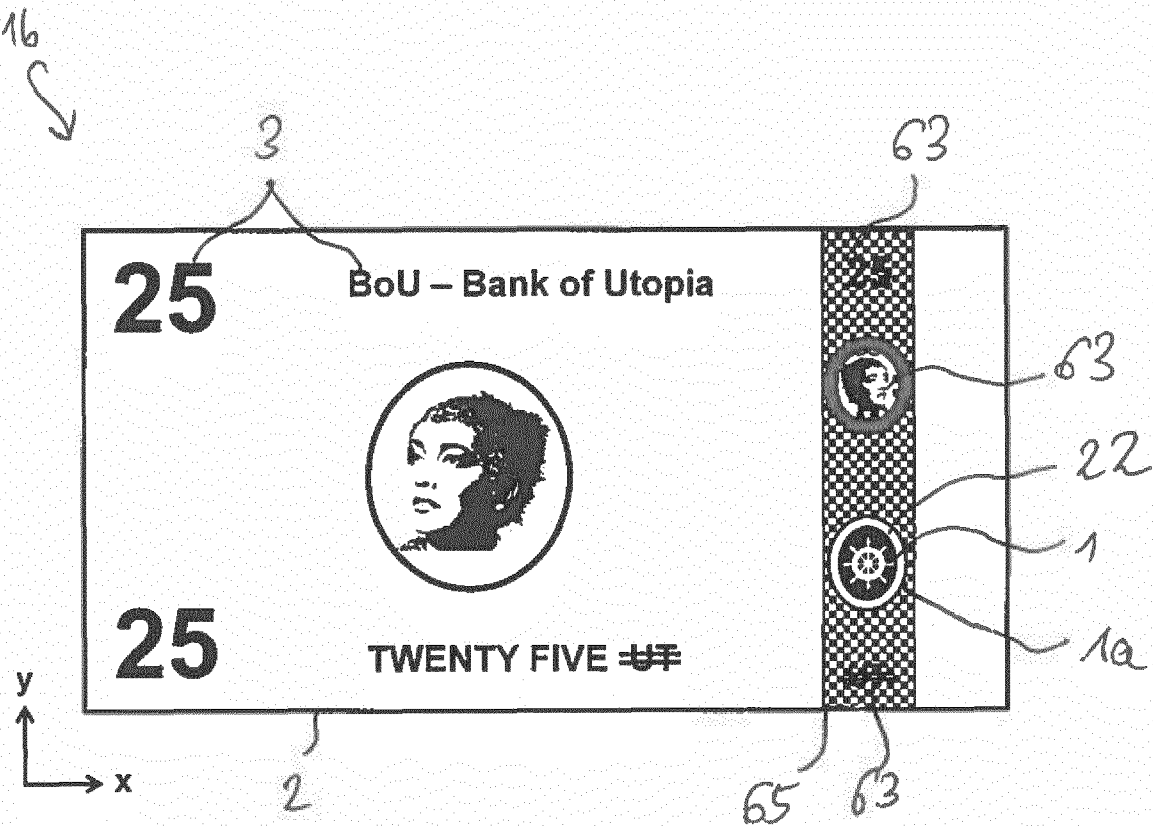
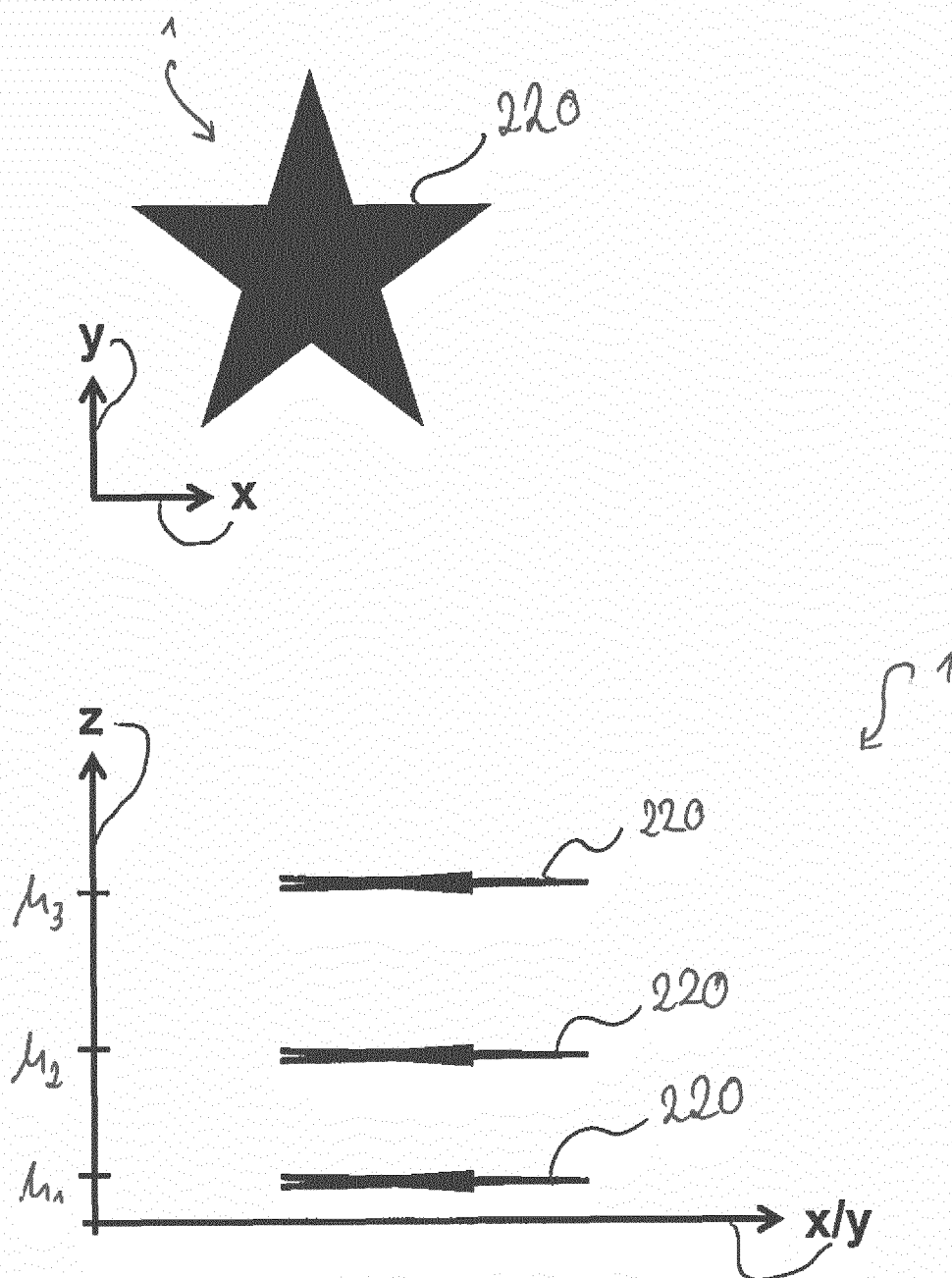
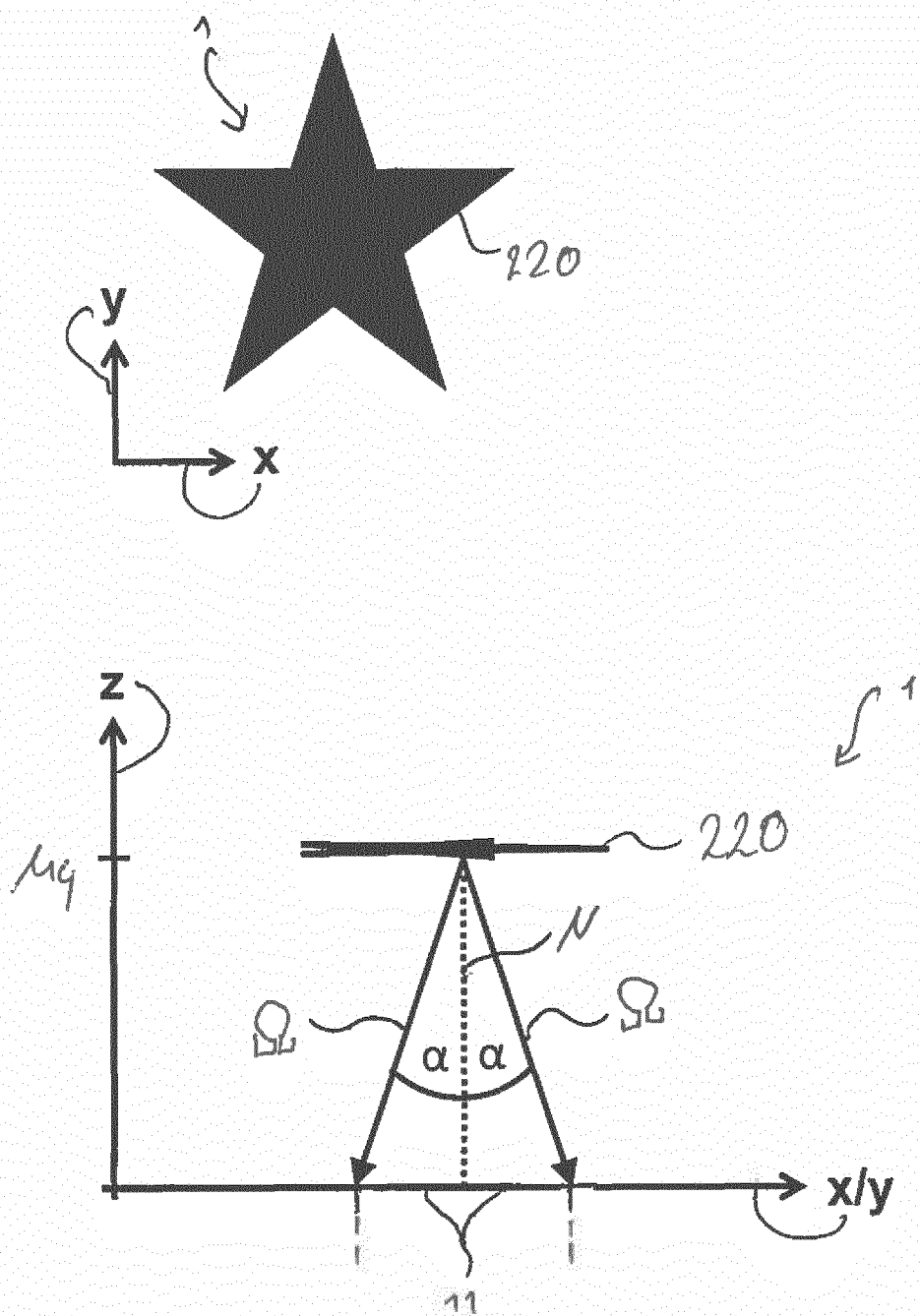


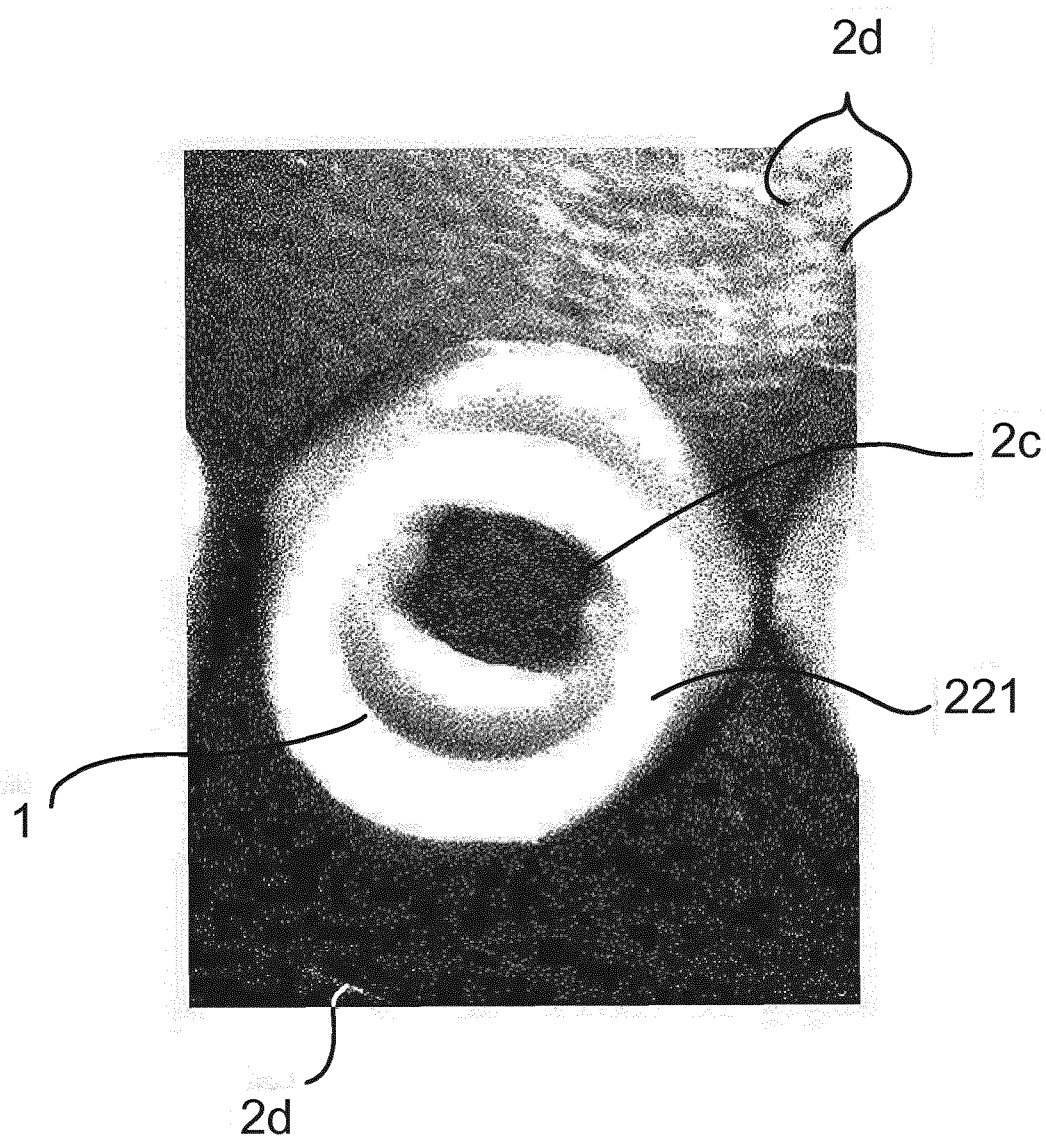
Fig. 7

8/31

**Fig. 8**

9/31

**Fig. 9**

**Fig. 10**

11/31

3b
↘



Fig. 10a

12/31

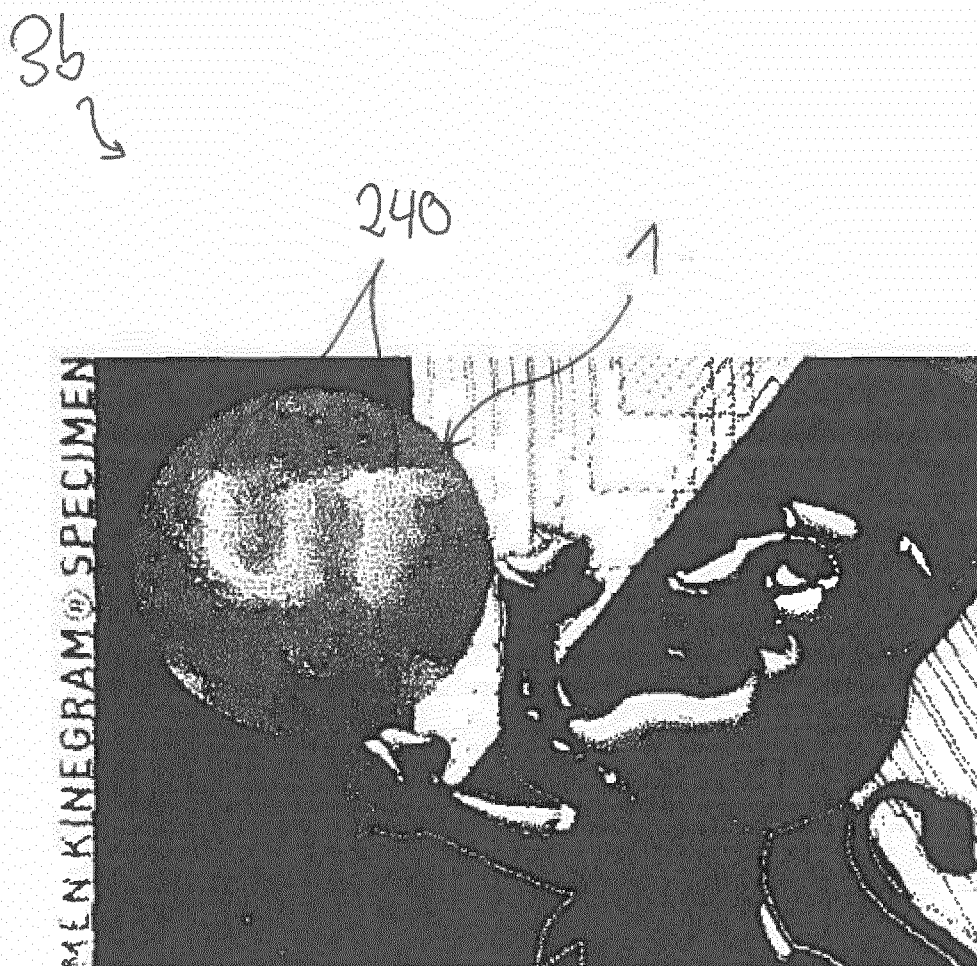
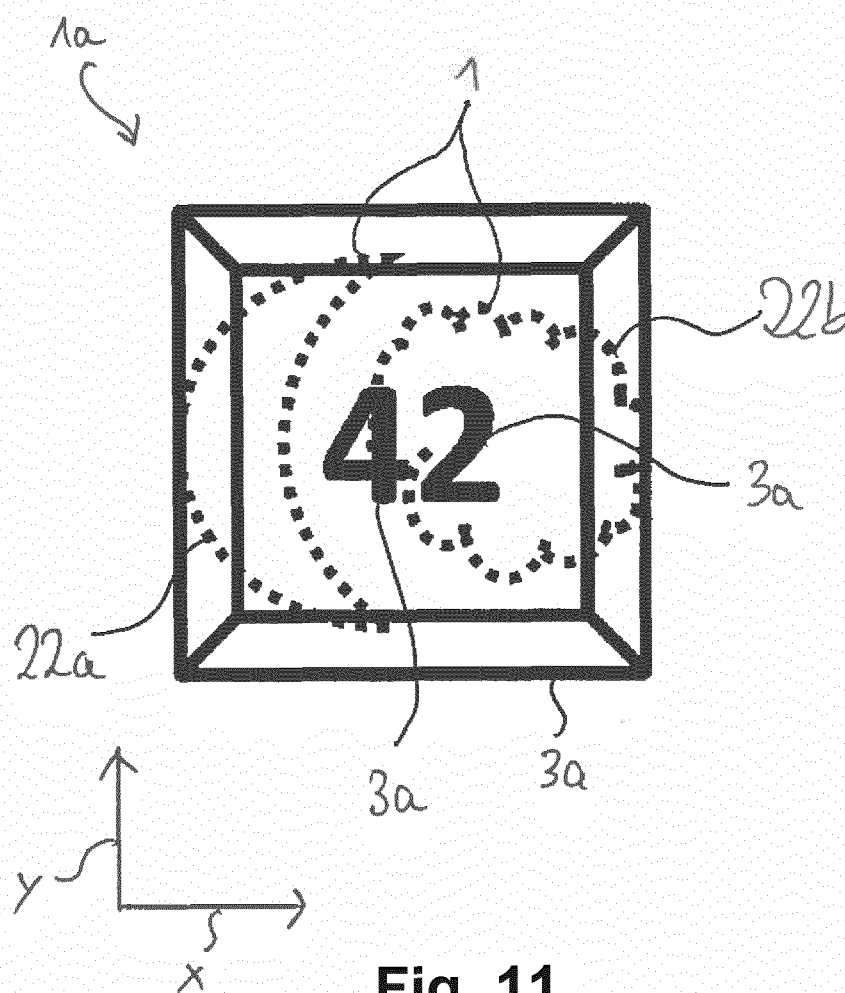


Fig. 10b

**Fig. 11**

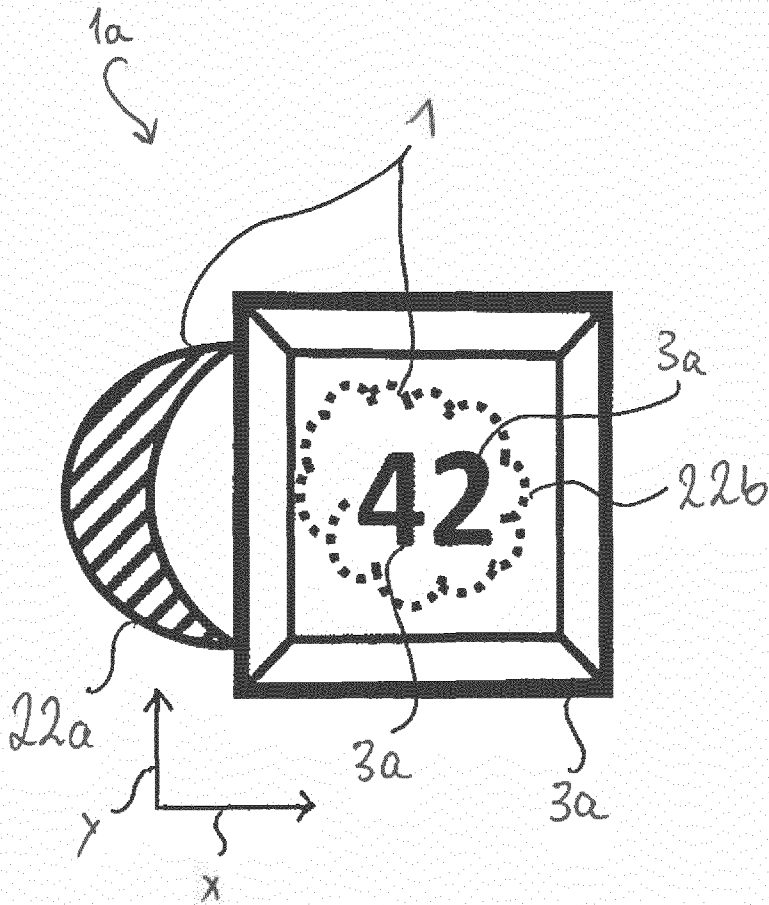
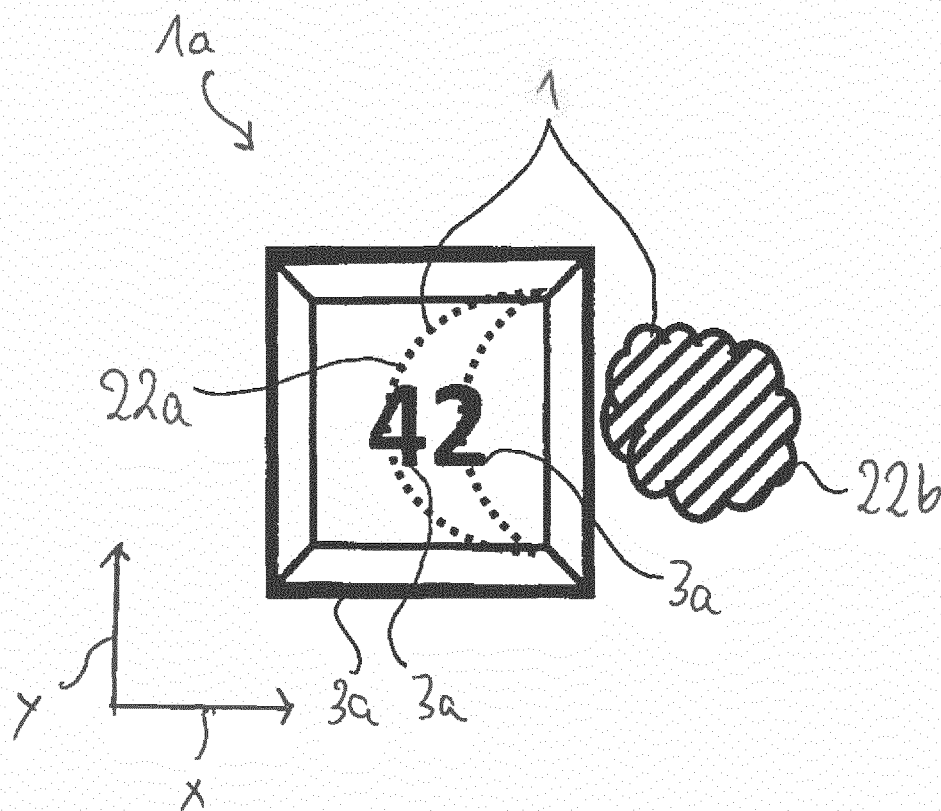
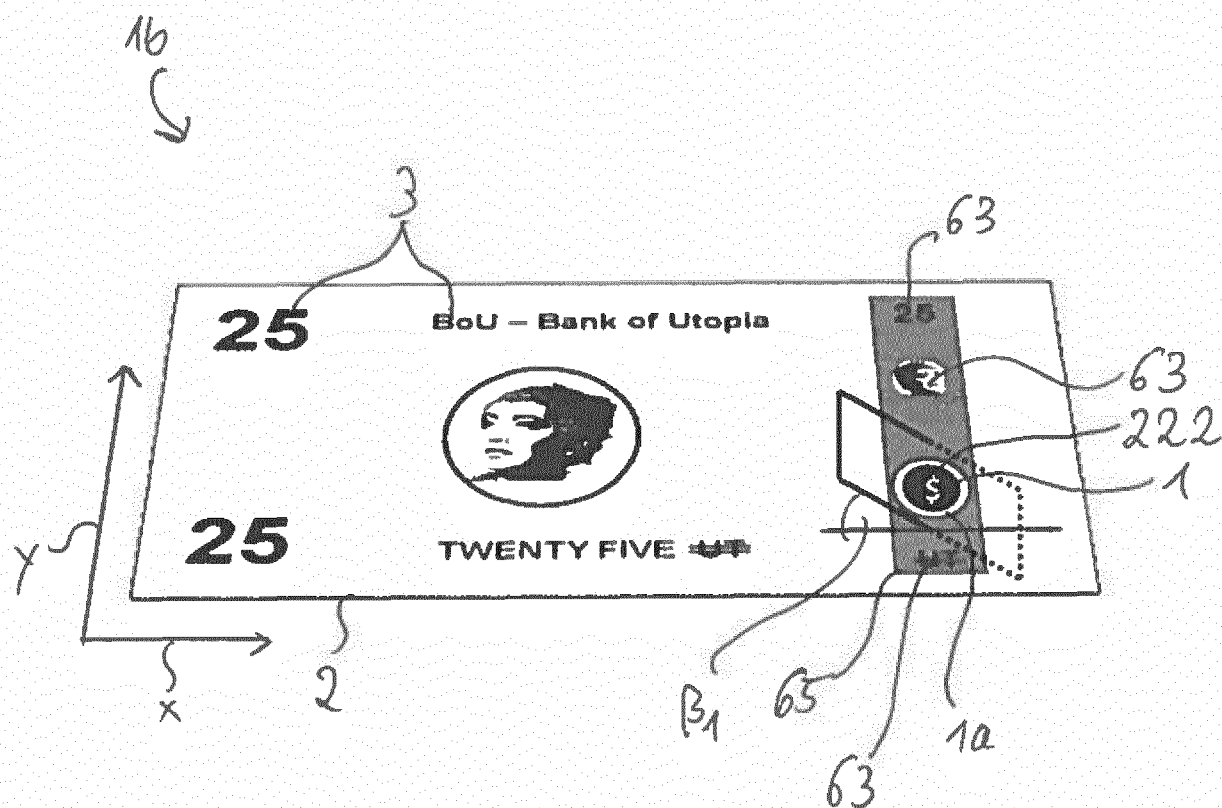


Fig. 12

**Fig. 13**

**Fig. 14**

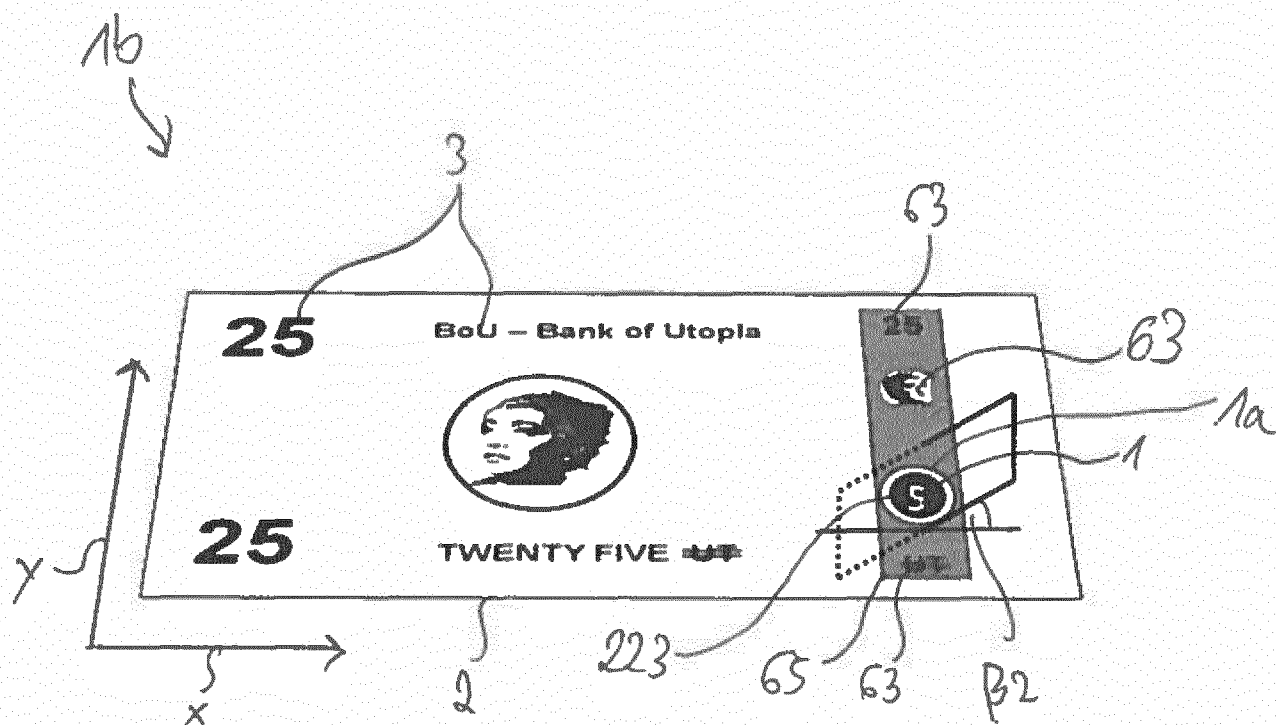


Fig. 15

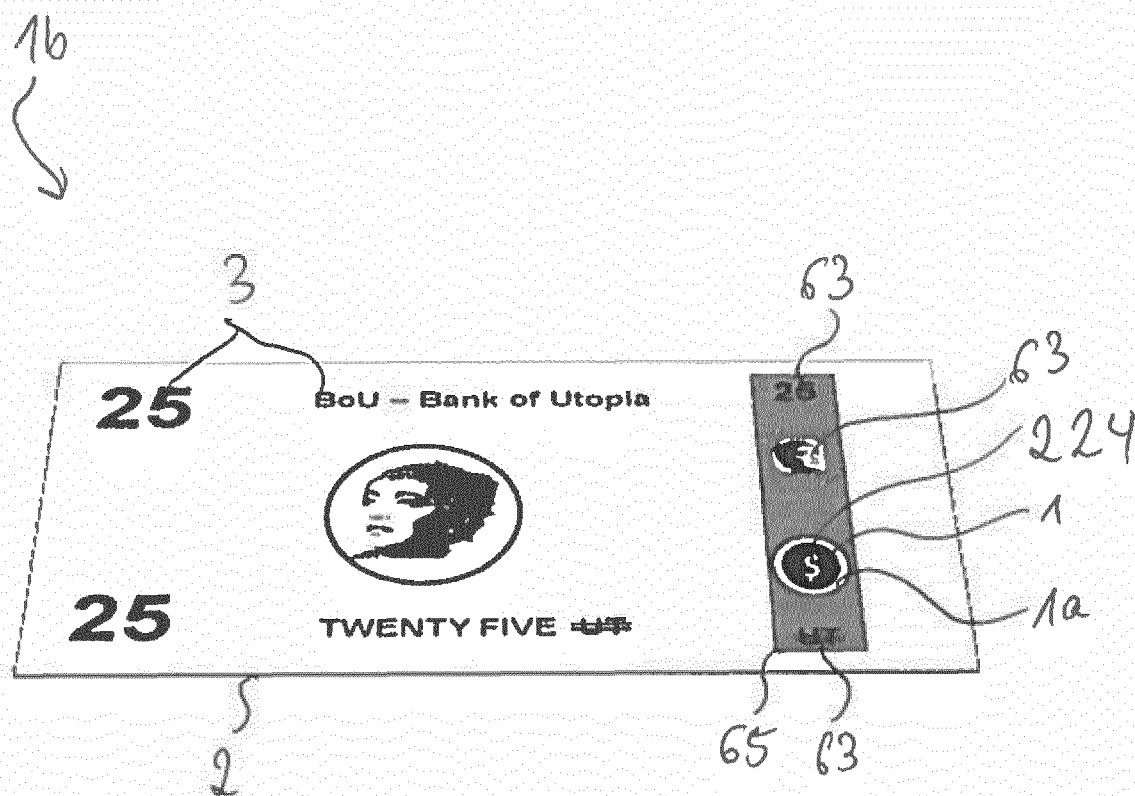


Fig. 16

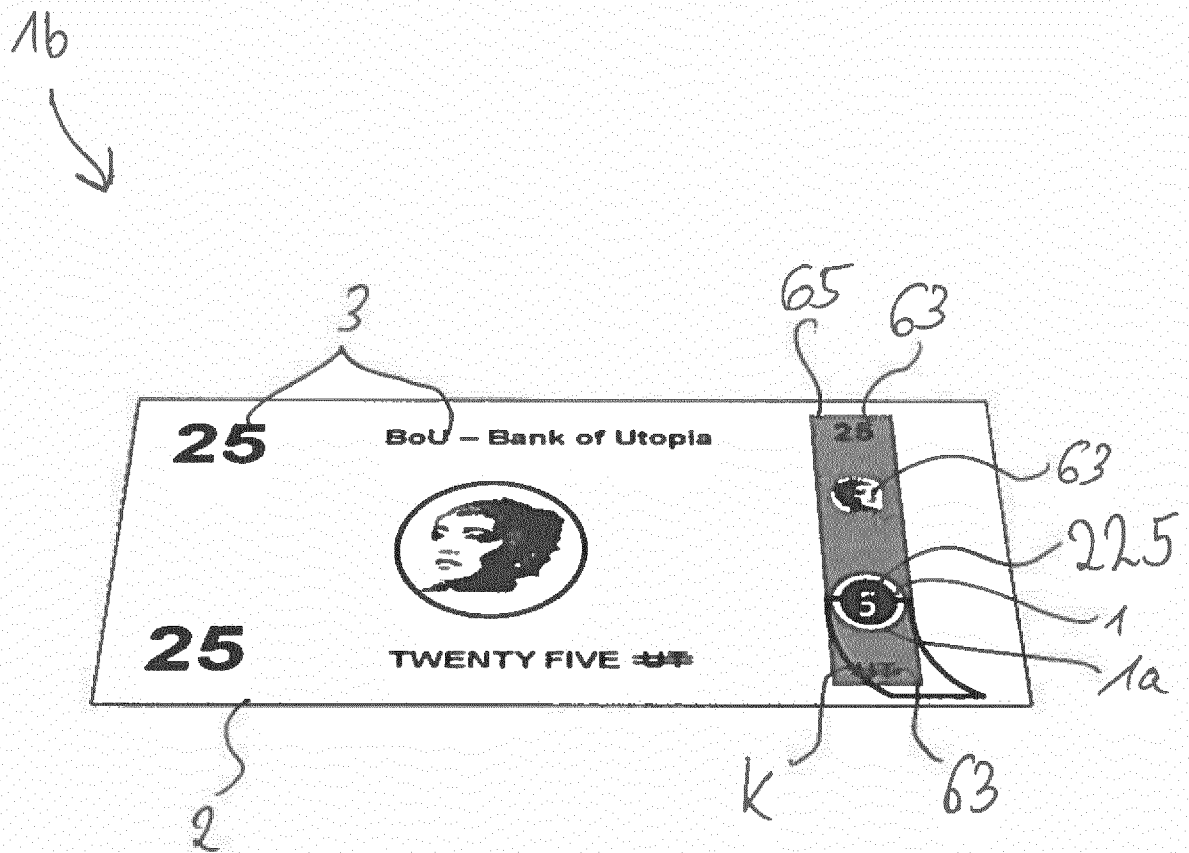
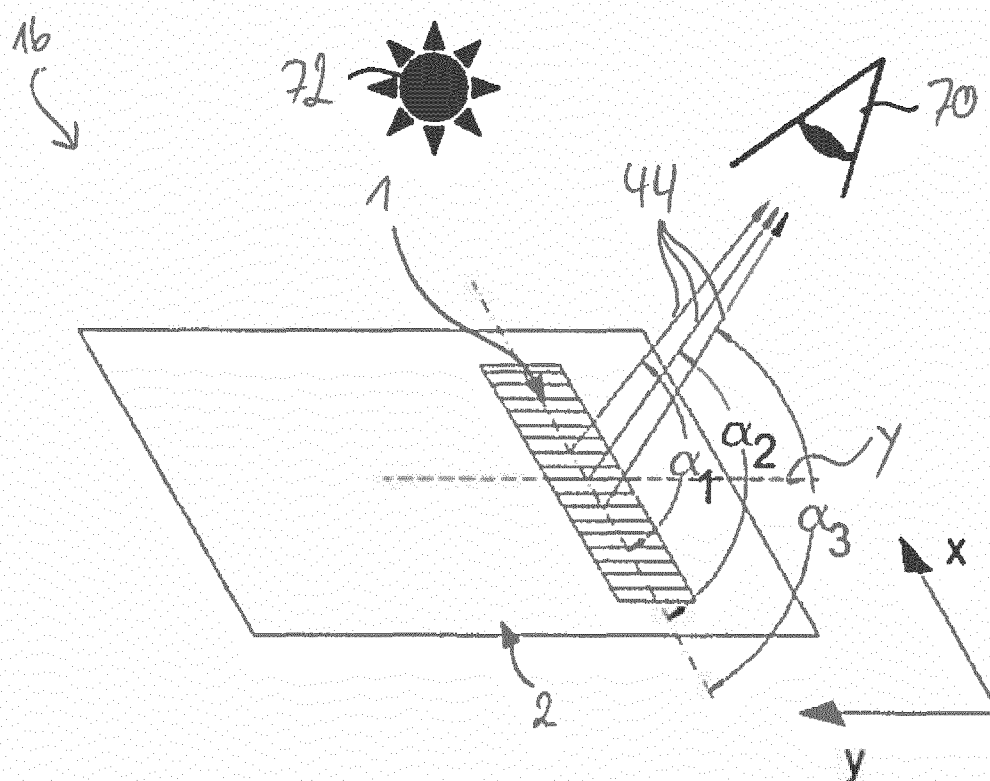
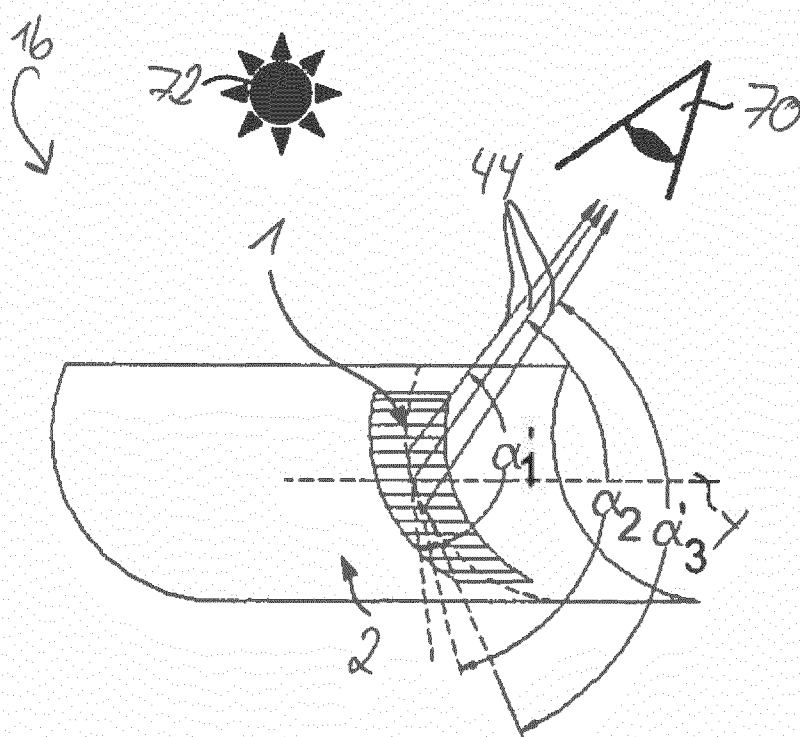
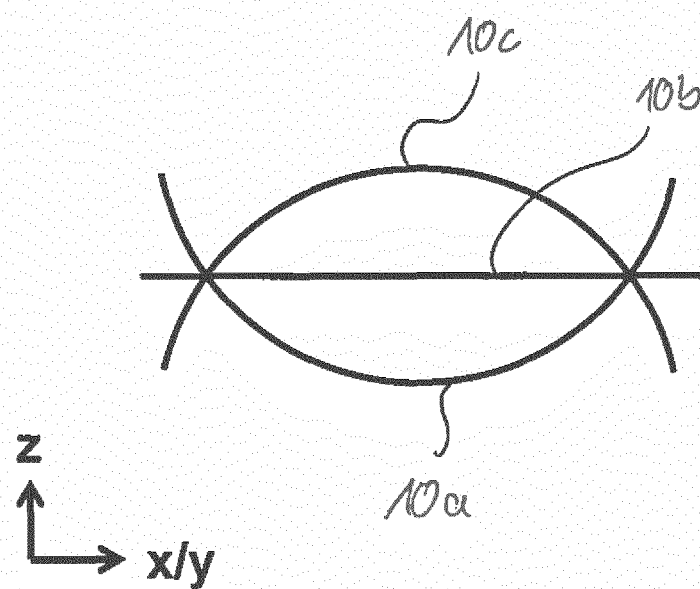
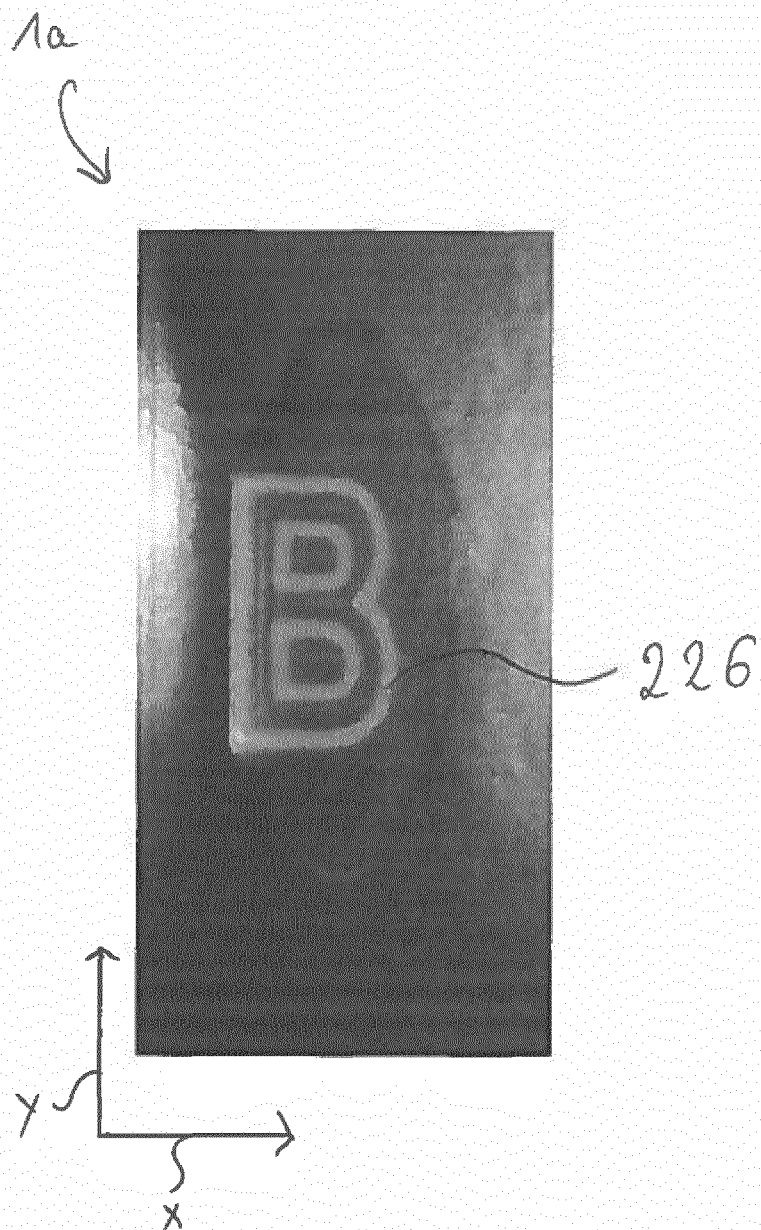


Fig. 17

**Fig. 18**

**Fig. 19**

**Fig. 20**

**Fig. 21**

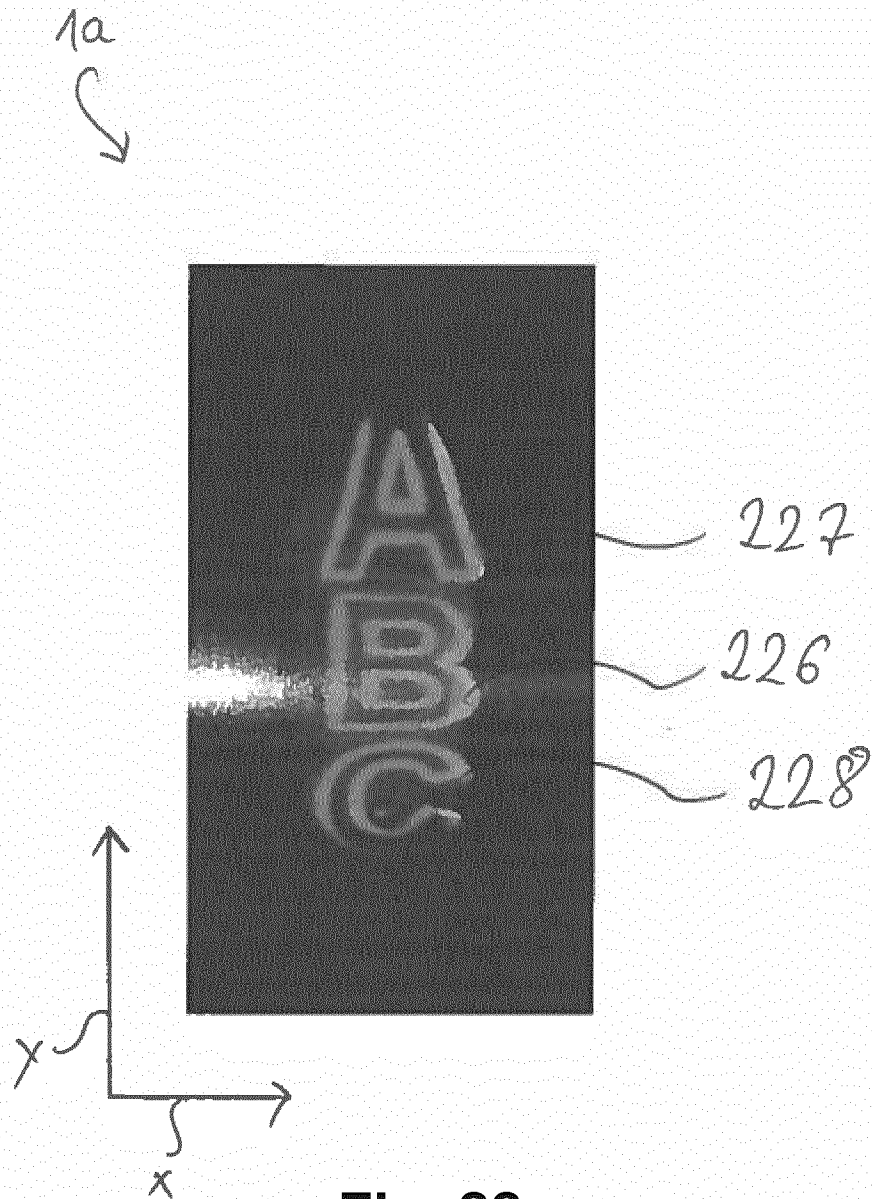


Fig. 22

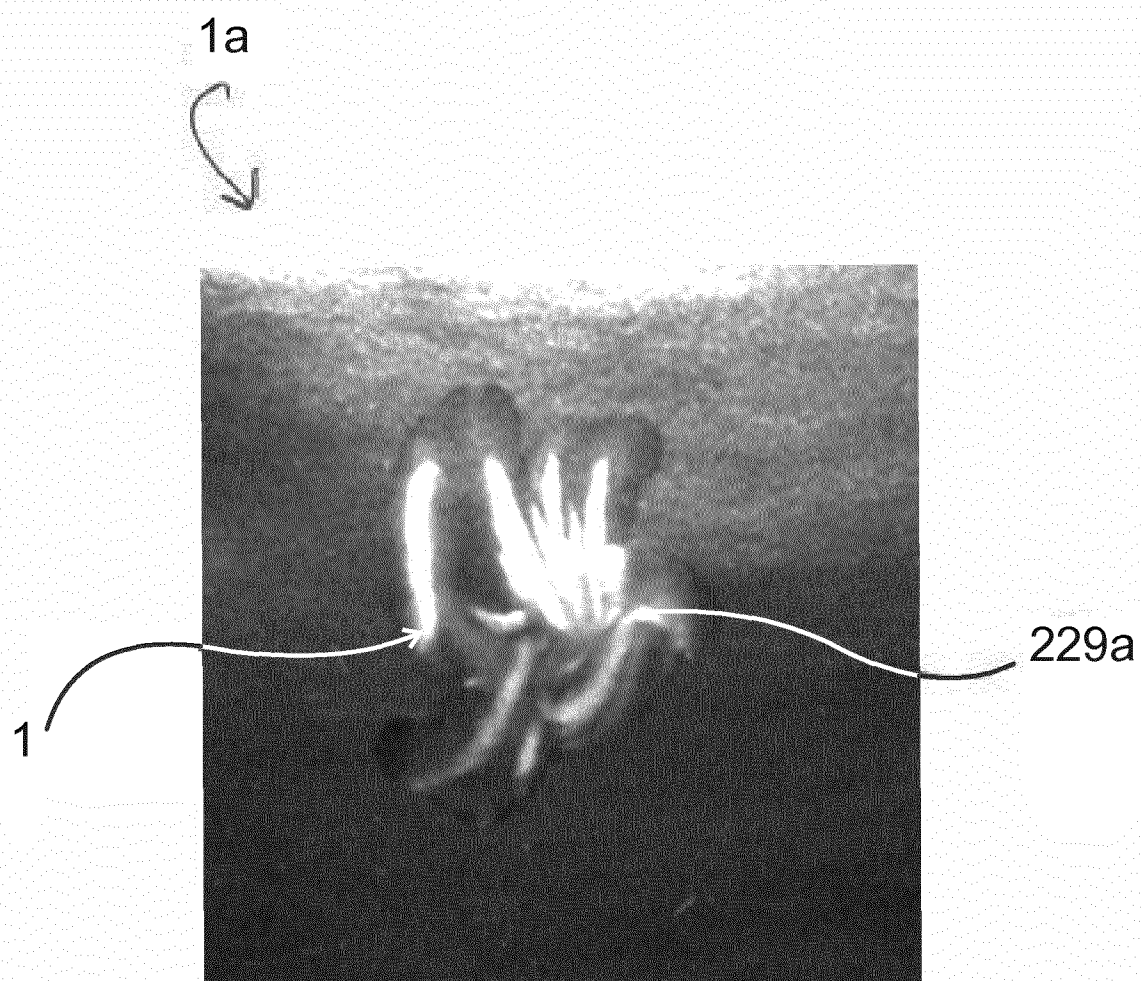


Fig. 23

26/31

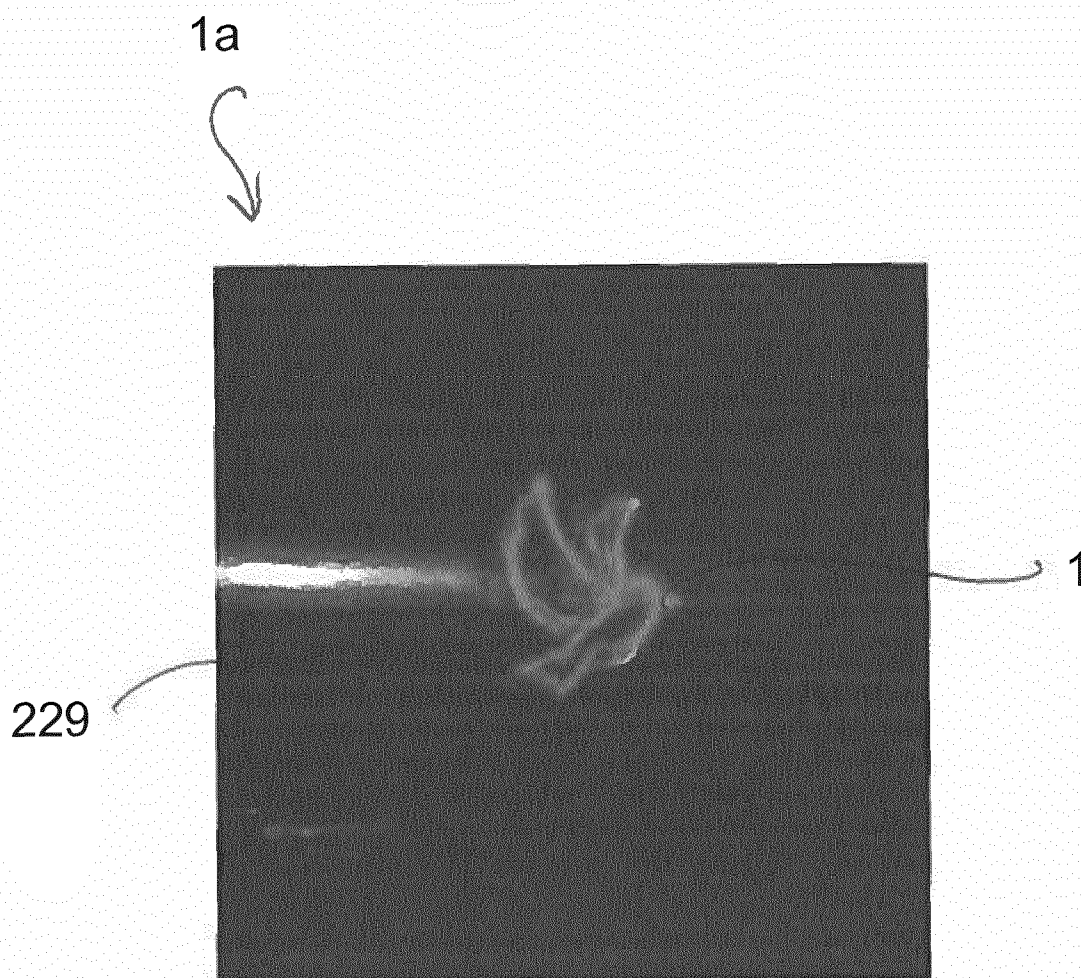


Fig. 24

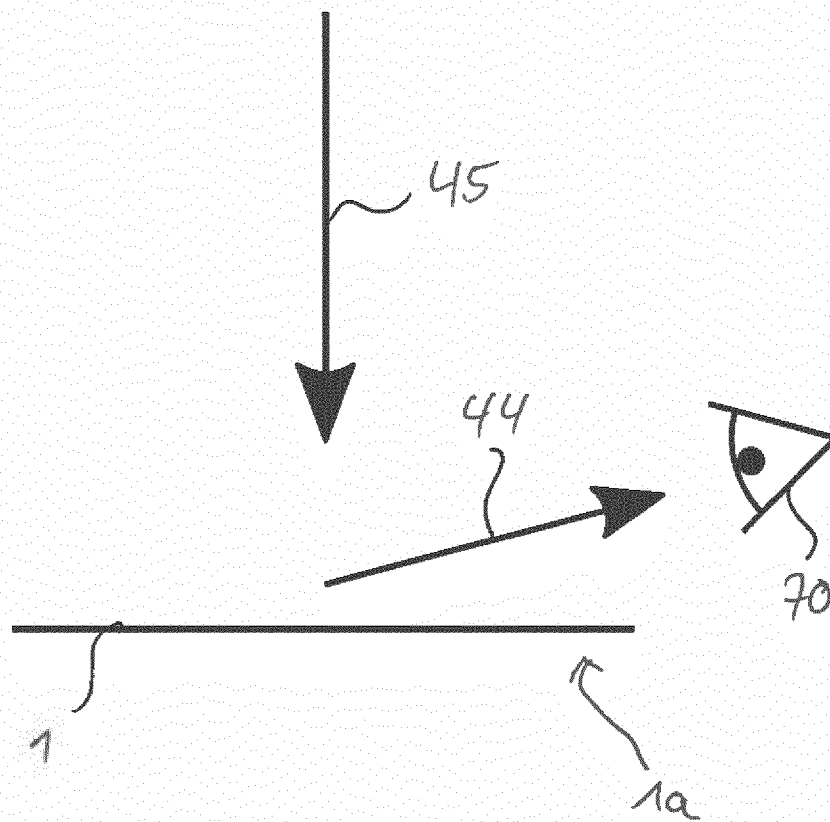
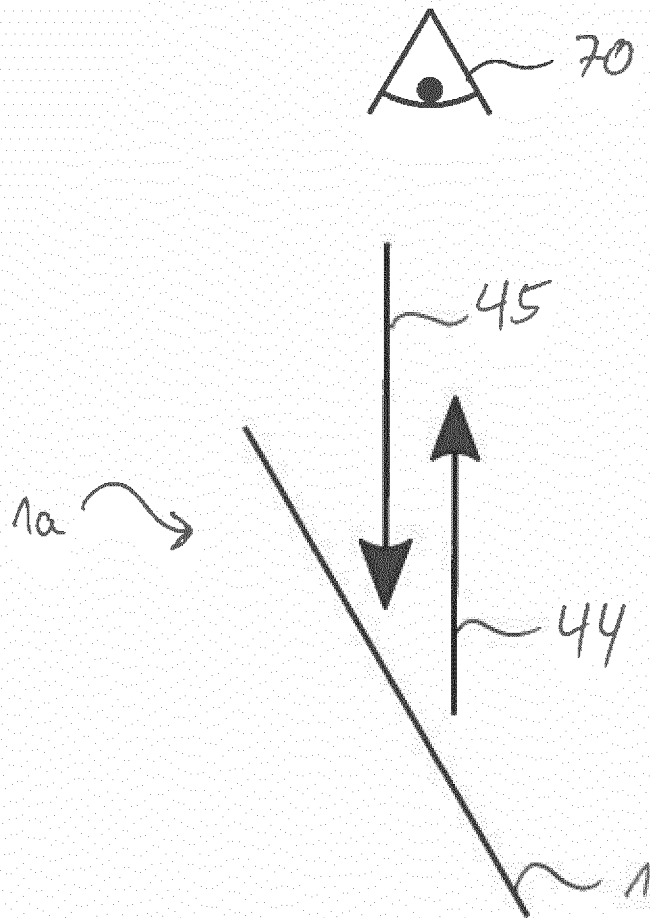
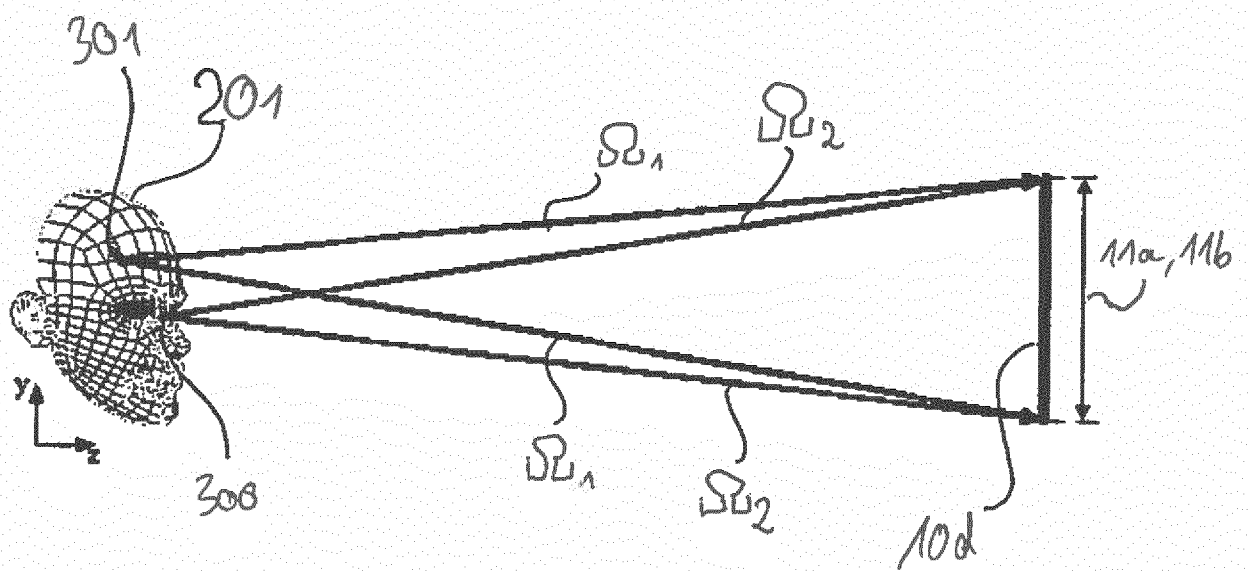


Fig. 25

**Fig. 26**

**Fig. 27**

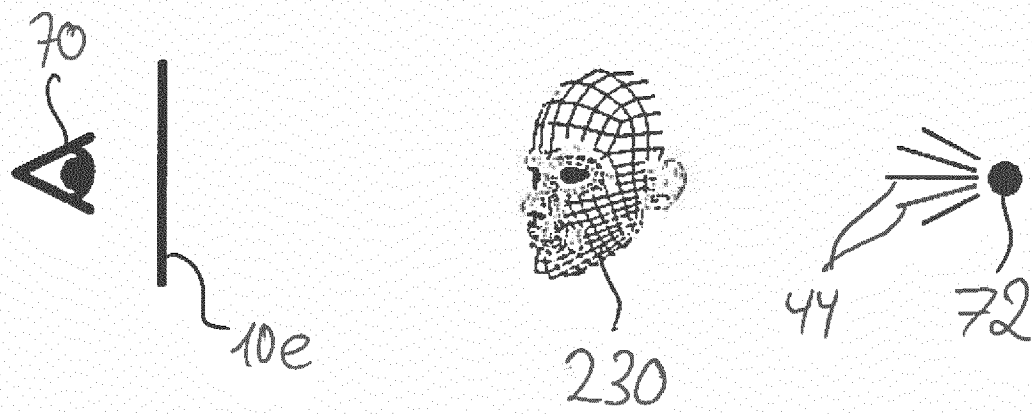
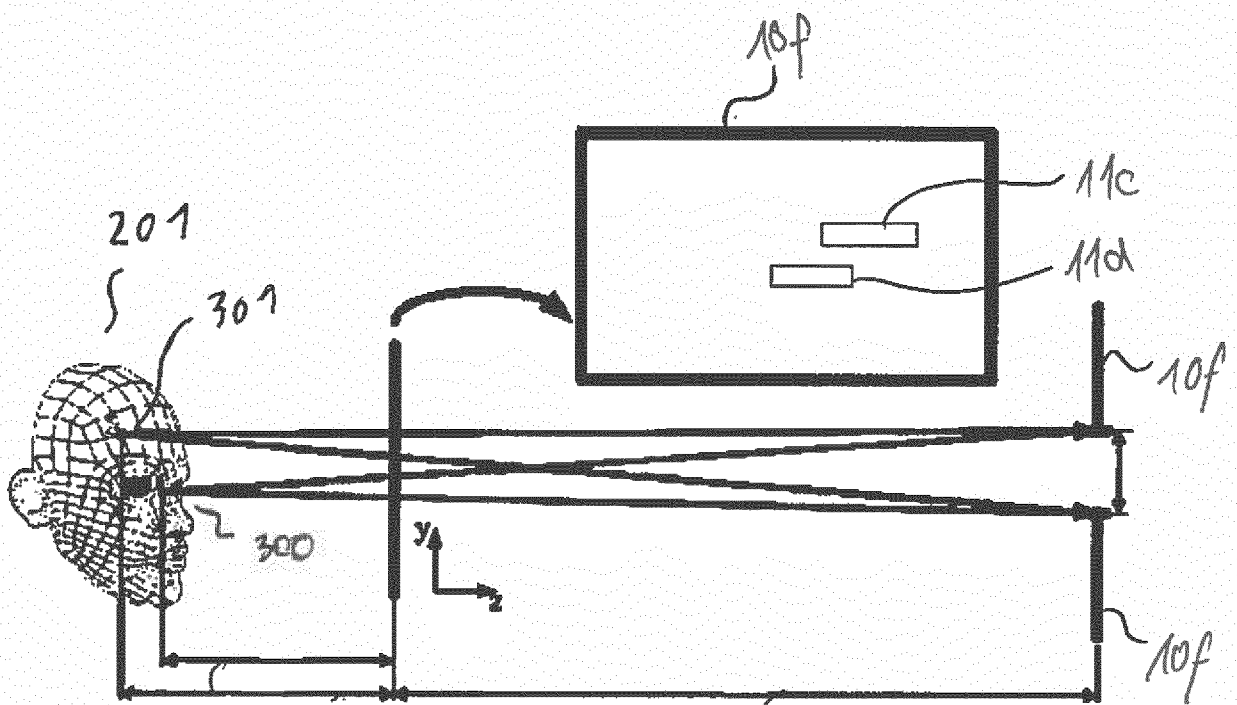


Fig. 28

**Fig. 29**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/073904

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03H 1/08(2006.01)i; **G03H 1/02**(2006.01)i; **G03H 1/20**(2006.01)i; **G03H 1/10**(2006.01)i; **G03H 1/22**(2006.01)i;
G03H 1/24(2006.01)i; **G03H 1/28**(2006.01)i; **G03H 1/26**(2006.01)i; **G03H 1/30**(2006.01)i; **G03H 1/00**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1484652 A1 (DAINIPPON PRINTING CO LTD [JP]) 08 December 2004 (2004-12-08)	1-11,14,16-21,32,35-42,48,50-55,58,67,68
Y	paragraphs [0001], [0002], [0045] - [0067], [0069] - [0073], [0097] - [0102]; figures 2-12, 23, 24	15,22-30,33,34, 43-47,49,59,63,64
A	ATHANASIA SYMEONIDOU ET AL. "Computer-generated holograms by multiple wavefront recording plane method with occlusion culling" <i>OPTICS EXPRESS</i> , Vol. 23, No. 17, 14 August 2015 (2015-08-14), page 22149 DOI: 10.1364/OE.23.022149 XP055521605 paragraphs 3. and 4.	14,15,18,22-30,59
A	HAO ZHANG ET AL. "Computer-generated hologram with occlusion effect using layer-based processing" <i>APPLIED OPTICS</i> , WASHINGTON, DC; US, Vol. 56, No. 13, 23 March 2017 (2017-03-23), page F138 DOI: 10.1364/AO.56.00F138 ISSN: 0003-6935, XP055393015 Sections 1. to 3.	14,15,18,22-30,59

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 February 2019

Date of mailing of the international search report

08 February 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Lutz, Christoph

Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GILLES ANTONIN ET AL. "Computer generated hologram from Multiview-plus-Depth data considering specular reflections" <i>2016 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMEDIA & EXPO WORKSHOPS (ICMEW), IEEE</i> , 11 July 2016 (2016-07-11), pages 1-6 DOI: 10.1109/ICMEW.2016.7574699 XP032970836 Sections 1. to 4.	14,15,18,22-30,59
Y	DE 10236891 A1 (GIESECKE & DEVRIENT GMBH [DE]) 25 March 2004 (2004-03-25) paragraph [0005] - paragraph [0030]	15,22-30,59
Y	TOMOKI YASUDA ET AL. "Computer simulation of reconstructed image for computer-generated holograms" <i>PROCEEDINGS OF SPIE</i> , 1000 20th St. Bellingham WA 98225-6705 USA, Vol. 7233, 03 February 2009 (2009-02-03), page 72330H DOI: 10.1117/12.809774 ISSN: 0277-786X, ISBN: 978-1-5106-2099-5. XP055550144 the whole document	33,34
Y	DANIELA KARTHAUS ET AL. "Design and Simulation of Computer-generated Volume Holograms for Automotive Headlamps" <i>DGAO-PROCEEDINGS</i> , 05 August 2016 (2016-08-05), pages 1-3 XP055550095 the whole document	33,34
Y	Hiroshi Yoshikawa. "Chapter 8 COMPUTER-GENERATED HOLOGRAMS FOR WHITE LIGHT RECONSTRUCTION" In: <i>Digital Holography and Three-Dimensional Display</i> , Springer Science, pages 235-255, 01 January 2006 (2006-01-01), ISBN: 978-0-387-31340-5. XP055550208 the whole document	33,34
Y	WO 2005038136 A1 (GIESECKE & DEVRIENT GMBH [DE]; HEIM MANFRED [DE]; HOFFMUELLER WINFRIED) 28 April 2005 (2005-04-28) page 1, line 1 - page 23, line 26; figures 1-9	43-47
Y	WO 2016113220 A1 (LEONHARD KURZ STIFTUNG & CO KG [DE]; OVD KINEGRAM AG [CH]) 21 July 2016 (2016-07-21) the whole document	43-47
Y	WO 2008095706 A1 (LEONHARD KURZ STIFTUNG & CO KG [DE]; SCHILLING ANDREAS [CH]) 14 August 2008 (2008-08-14) page 1, line 1 - page 30, line 10; figures 1-5	49
Y	US 2015224809 A1 (TOMPKIN WAYNE ROBERT [CH] ET AL) 13 August 2015 (2015-08-13) the whole document	49
Y	WO 2013023052 A1 (SABIC INNOVATIVE PLASTICS IP [NL]; CHEVERTON MARK [US]; JAIN SUMEET [U]) 14 February 2013 (2013-02-14) paragraph [0001] - paragraph [0060]; figures 1, 2	63,64
Y	EP 2676802 A1 (OVD KINEGRAM AG [CH]) 25 December 2013 (2013-12-25) paragraph [0001] - paragraph [0148]; figures 1-13	63,64

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-11, 14, 16-21, 32, 35-42, 48, 50-55, 58, 67, 68

Algorithm using one or several virtual planes in order to calculate a phase hologram. The phase hologram is used for producing a security feature of a surface hologram.

1.1. claims: 3-5

Intensity and solid angle distribution of the light of the virtual light sources.

1.2. claims: 6-8

Virtual point light sources.

1.3. claims: 9-11

Periodic and/or random arrangement of the virtual light sources on a grid.

1.4. claims: 14, 16-21

Several virtual planes, several virtual models and several zones on the virtual planes, which can overlap.

1.5. claim: 32

Virtual reference light source.

1.6. claim: 35

Solid angle regions arranged about the surface normal.

1.7. claims: 36-39

Superimposition or rasterization of the elevation profiles for or in the substrate and minimum and maximum elevation values.

1.8. claims: 40-42

Usual methods for producing surface holograms.

1.9. claim: 48

Opaque substrate.

1.10. claim: 50

Volume hologram.

1.11. claims: 51-54

Combination of security elements.

1.12. claim: 67

Selection of special motives.

2. claims: 12, 13

Virtual light sources in the form of microsymbols.

3. claims: 15, 22-30, 59

Different alignment and/or curvature of the virtual hologram planes.

4. claims: 31, 56, 60-62

Tilting and/or rotation of the substrate of the real hologram leads to a sequence of several virtual models or motives for the observer in the form of a parallaxic or ortho-parallaxic movement effect.

5. claims: 33, 34

Special virtual reference fields which simulate a non-isotropic illumination of the virtual 2D or 3D model, and/or special angles with respect to the surface normal of the virtual hologram planes or special aperture angles.

6. claims: 43-47

Production of elevation profiles in a thin-film structure, such as a Fabry-Perot layer structure with semi-transparent absorber layers and/or an opaque reflection layer.

7. claim: 49

Arrangement of produced surface holograms on a window region of a product to be seen in transmitted light.

8. claim: 57

Three-dimensional barcode, the parts of which are visible in different observation directions.

9. claims: 63, 64

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/073904

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

Combination of white light reconstructions with angle and color multiplexing.

10. claims: 65, 66

Generation of a true color image by superimposition of the reconstructions of virtual motives having different colors.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☒ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.: **1-11, 14-30, 32-55, 58, 59, 63, 64, 67, 68**
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/073904

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	1484652	A1	08 December 2004	EP	1484652	A1	08 December 2004
				EP	1777596	A2	25 April 2007
				EP	1777597	A2	25 April 2007
DE	10236891	A1	25 March 2004	AU	2003266269	A1	29 March 2004
				DE	10236891	A1	25 March 2004
				EP	1532491	A1	25 May 2005
				WO	2004023220	A1	18 March 2004
WO	2005038136	A1	28 April 2005	DE	10349000	A1	19 May 2005
				EP	1682723	A1	26 July 2006
				WO	2005038136	A1	28 April 2005
WO	2016113220	A1	21 July 2016	BR	112017014159	A2	02 January 2018
				CA	2972950	A1	21 July 2016
				CN	107107648	A	29 August 2017
				DE	102015100520	A1	28 July 2016
				EP	3245073	A1	22 November 2017
				JP	2018509313	A	05 April 2018
				US	2017368864	A1	28 December 2017
				WO	2016113220	A1	21 July 2016
WO	2008095706	A1	14 August 2008	AT	502774	T	15 April 2011
				AU	2008213095	A1	14 August 2008
				CA	2677153	A1	14 August 2008
				CN	101678664	A	24 March 2010
				DE	102007057658	A1	04 June 2009
				EP	2121320	A1	25 November 2009
				JP	5350273	B2	27 November 2013
				JP	2010517820	A	27 May 2010
				RU	2009133328	A	20 March 2011
				SI	2121320	T1	31 May 2011
				US	2010084851	A1	08 April 2010
				WO	2008095706	A1	14 August 2008
US	2015224809	A1	13 August 2015	AU	2013310859	A1	19 March 2015
				CA	2882777	A1	06 March 2014
				CN	104797430	A	22 July 2015
				DE	102012108169	A1	28 May 2014
				EP	2892729	A2	15 July 2015
				ES	2667526	T3	11 May 2018
				PT	2892729	T	25 June 2018
				US	2015224809	A1	13 August 2015
				WO	2014033324	A2	06 March 2014
WO	2013023052	A1	14 February 2013	CN	103733143	A	16 April 2014
				EP	2742389	A1	18 June 2014
				US	2013038916	A1	14 February 2013
				WO	2013023052	A1	14 February 2013
EP	2676802	A1	25 December 2013	DE	102012105444	A1	24 December 2013
				EP	2676802	A1	25 December 2013

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/073904

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G03H1/08 G03H1/02 G03H1/20 G03H1/10 G03H1/22
G03H1/24 G03H1/28 G03H1/26 G03H1/30 G03H1/00

ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G03H

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EP0-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 484 652 A1 (DAINIPPON PRINTING CO LTD [JP]) 8. Dezember 2004 (2004-12-08)	1-11,14, 16-21, 32, 35-42, 48, 50-55, 58,67,68
Y	Absätze [0001], [0002], [0045] - [0067], [0069] - [0073], [0097] - [0102]; Abbildungen 2-12, 23, 24 ----- -/--	15, 22-30, 33,34, 43-47, 49,59, 63,64



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

1. Februar 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/02/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lutz, Christoph

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>ATHANASIA SYMEONIDOU ET AL: "Computer-generated holograms by multiple wavefront recording plane method with occlusion culling", OPTICS EXPRESS, Bd. 23, Nr. 17, 14. August 2015 (2015-08-14), Seite 22149, XP055521605, DOI: 10.1364/OE.23.022149 Abschnitte 3. und 4.</p> <p>-----</p>	14,15, 18, 22-30,59
A	<p>HAO ZHANG ET AL: "Computer-generated hologram with occlusion effect using layer-based processing", APPLIED OPTICS, Bd. 56, Nr. 13, 23. März 2017 (2017-03-23), Seite F138, XP055393015, WASHINGTON, DC; US ISSN: 0003-6935, DOI: 10.1364/AO.56.00F138 Abschnitte 1. bis 3.</p> <p>-----</p>	14,15, 18, 22-30,59
A	<p>GILLES ANTONIN ET AL: "Computer generated hologram from Multiview-plus-Depth data considering specular reflections", 2016 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMEDIA & EXPO WORKSHOPS (ICMEW), IEEE, 11. Juli 2016 (2016-07-11), Seiten 1-6, XP032970836, DOI: 10.1109/ICMEW.2016.7574699 [gefunden am 2016-09-22] Abschnitte 1. bis 4.</p> <p>-----</p>	14,15, 18, 22-30,59
Y	<p>DE 102 36 891 A1 (GIESECKE & DEVRIENT GMBH [DE]) 25. März 2004 (2004-03-25) Absatz [0005] - Absatz [0030]</p> <p>-----</p>	15, 22-30,59
Y	<p>TOMOKI YASUDA ET AL: "Computer simulation of reconstructed image for computer-generated holograms", PROCEEDINGS OF SPIE, Bd. 7233, 3. Februar 2009 (2009-02-03), Seite 72330H, XP055550144, 1000 20th St. Bellingham WA 98225-6705 USA ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.809774 ISBN: 978-1-5106-2099-5 das ganze Dokument</p> <p>-----</p>	33,34
Y	<p>DANIELA KARTHAUS ET AL: "Design and Simulation of Computer-generated Volume Holograms for Automotive Headlamps", DGAO-PROCEEDINGS, 5. August 2016 (2016-08-05), Seiten 1-3, XP055550095, das ganze Dokument</p> <p>-----</p>	33,34
	----- -/--	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	Hiroshi Yoshikawa: "Chapter 8 COMPUTER-GENERATED HOLOGRAMS FOR WHITE LIGHT RECONSTRUCTION" In: "Digital Holography and Three-Dimensional Display", 1. Januar 2006 (2006-01-01), Springer Science, XP055550208, ISBN: 978-0-387-31340-5 Seiten 235-255, DOI: 10.1007/0-387-31397-4_8, das ganze Dokument	33,34
Y	----- WO 2005/038136 A1 (GIESECKE & DEVRIENT GMBH [DE]; HEIM MANFRED [DE]; HOFFMUELLER WINFRIED) 28. April 2005 (2005-04-28) Seite 1, Zeile 1 - Seite 23, Zeile 26; Abbildungen 1-9	43-47
Y	----- WO 2016/113220 A1 (LEONHARD KURZ STIFTUNG & CO KG [DE]; OVD KINEGRAM AG [CH]) 21. Juli 2016 (2016-07-21) das ganze Dokument	43-47
Y	----- WO 2008/095706 A1 (LEONHARD KURZ STIFTUNG & CO KG [DE]; SCHILLING ANDREAS [CH]) 14. August 2008 (2008-08-14) Seite 1, Zeile 1 - Seite 30, Zeile 10; Abbildungen 1-5	49
Y	----- US 2015/224809 A1 (TOMPKIN WAYNE ROBERT [CH] ET AL) 13. August 2015 (2015-08-13) das ganze Dokument	49
Y	----- WO 2013/023052 A1 (SABIC INNOVATIVE PLASTICS IP [NL]; CHEVERTON MARK [US]; JAIN SUMEET [U]) 14. Februar 2013 (2013-02-14) Absatz [0001] - Absatz [0060]; Abbildungen 1, 2	63,64
Y	----- EP 2 676 802 A1 (OVD KINEGRAM AG [CH]) 25. Dezember 2013 (2013-12-25) Absatz [0001] - Absatz [0148]; Abbildungen 1-13	63,64

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. ☒ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
1-11, 14-30, 32-55, 58, 59, 63, 64, 67, 68

4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- ☐ Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- ☒ Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-11, 14, 16-21, 32, 35-42, 48, 50-55, 58, 67, 68

Algorithmus, der eine oder mehrere virtuelle Ebenen verwendet, um ein Phasenhologramm zu berechnen. Das Phasenhologramm wird zur Erzeugung eines Sicherheitsmerkmals, eines Oberflächenhologramms verwendet.

1.1. Ansprüche: 3-5

Intensität und Raumwinkelverteilung des Lichts der virtuellen Lichtquellen

1.2. Ansprüche: 6-8

Virtuelle Punktlichtquellen

1.3. Ansprüche: 9-11

Periodische und/oder zufällige Anordnung der virtuellen Lichtquellen auf einen Raster

1.4. Ansprüche: 14, 16-21

Mehrere virtuelle Ebenen, mehrere virtuelle Modelle und mehrere Zonen auf den virtuellen Ebenen, die sich überlappen können

1.5. Anspruch: 32

Virtuelle Referenzlichtquelle

1.6. Anspruch: 35

Raumwinkelbereiche um Flächennormale

1.7. Ansprüche: 36-39

Überlagerung oder Rasterung der Höhenprofile für oder im Substrat und minimale und maximale Höhenwerte

1.8. Ansprüche: 40-42

Übliche Methoden zur Erzeugung von Oberflächenhologrammen

1.9. Anspruch: 48

Opakes Substrat

1.10. Anspruch: 50

Volumenhologramm

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

1.11. Ansprüche: 51-54

Kombination von Sicherheitselementen

1.12. Anspruch: 67

Wahl spezieller Motive

2. Ansprüche: 12, 13

Virtuelle Lichtquellen in der Form von Mikrosymbolen

3. Ansprüche: 15, 22-30, 59

Unterschiedliche Ausrichtung und/oder Krümmung der virtuellen Hologrammebenen

4. Ansprüche: 31, 56, 60-62

Verkipfung und/oder Drehung des Substrats des realen Hologramms führt zu einer Abfolge mehrere virtueller Modelle bzw. Motive für den Betrachter in Form eines parallaktischen oder ortho-parallaktischen Bewegungseffekts

5. Ansprüche: 33, 34

Spezielle virtuelle Referenzfelder , die eine nicht-isotrope Beleuchtung des virtuellen 2D oder 3D-Modells simulieren und/oder spezielle Winkel zu den Flächennormalen der virtuellen Hologrammebenen bzw. spezielle Öffnungswinkel besitzen

6. Ansprüche: 43-47

Erzeugung von Höhenprofilen in einem Dünnschichtaufbau wie in einem Fabry-Perot-Schichtaufbau mit semitransparenten Absorberschichten und/oder einer opaker Reflexionsschicht

7. Anspruch: 49

Anordnung des hergestellten Oberflächenhologramms auf einem Fensterbereich eines Produkts zur Durchlichtbetrachtung

8. Anspruch: 57

Dreidimensionaler Barcode, dessen Teile in unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen sichtbar sind

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

9. Ansprüche: 63, 64

Kombination von Weißlichtrekonstruktionen mit Winkel- und
Farbmultiplexing

10. Ansprüche: 65, 66

Erzeugung eines Echtfarbenbildes durch die Überlagerung der
Rekonstruktionen verschiedenfarbiger virtueller Motive

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/073904

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1484652 A1	08-12-2004	EP 1484652 A1	08-12-2004
		EP 1777596 A2	25-04-2007
		EP 1777597 A2	25-04-2007
DE 10236891 A1	25-03-2004	AU 2003266269 A1	29-03-2004
		DE 10236891 A1	25-03-2004
		EP 1532491 A1	25-05-2005
		WO 2004023220 A1	18-03-2004
WO 2005038136 A1	28-04-2005	DE 10349000 A1	19-05-2005
		EP 1682723 A1	26-07-2006
		WO 2005038136 A1	28-04-2005
WO 2016113220 A1	21-07-2016	BR 112017014159 A2	02-01-2018
		CA 2972950 A1	21-07-2016
		CN 107107648 A	29-08-2017
		DE 102015100520 A1	28-07-2016
		EP 3245073 A1	22-11-2017
		JP 2018509313 A	05-04-2018
		US 2017368864 A1	28-12-2017
		WO 2016113220 A1	21-07-2016
WO 2008095706 A1	14-08-2008	AT 502774 T	15-04-2011
		AU 2008213095 A1	14-08-2008
		CA 2677153 A1	14-08-2008
		CN 101678664 A	24-03-2010
		DE 102007057658 A1	04-06-2009
		EP 2121320 A1	25-11-2009
		JP 5350273 B2	27-11-2013
		JP 2010517820 A	27-05-2010
		RU 2009133328 A	20-03-2011
		SI 2121320 T1	31-05-2011
		US 2010084851 A1	08-04-2010
		WO 2008095706 A1	14-08-2008
US 2015224809 A1	13-08-2015	AU 2013310859 A1	19-03-2015
		CA 2882777 A1	06-03-2014
		CN 104797430 A	22-07-2015
		DE 102012108169 A1	28-05-2014
		EP 2892729 A2	15-07-2015
		ES 2667526 T3	11-05-2018
		PT 2892729 T	25-06-2018
		US 2015224809 A1	13-08-2015
		WO 2014033324 A2	06-03-2014
WO 2013023052 A1	14-02-2013	CN 103733143 A	16-04-2014
		EP 2742389 A1	18-06-2014
		US 2013038916 A1	14-02-2013
		WO 2013023052 A1	14-02-2013
EP 2676802 A1	25-12-2013	DE 102012105444 A1	24-12-2013
		EP 2676802 A1	25-12-2013