

Fälschungssicher mit Holographie

Das Hologramm hat sich als Sicherheitsmerkmal bewährt und findet sich mittlerweile in fast jeder Tasche – sei es auf der Kreditkarte, den Banknoten, dem Pass oder Führerschein.



Abb. 1: Auf dem EU-Führerschein finden sich eine Fülle von holographischen Sicherheitsmerkmalen, z. B. erscheint je nach Kippung der Karte der Schriftzug Bundesrepublik Deutschland in verschiedenen Farben. (Mit freundlicher Genehmigung der Bundesdruckerei)



Betrachtet man den neuen EU-Führerschein (Abb. 1) einmal genauer, so lassen sich dort je nach Lichteinfall erstaunliche Details erblicken: Auf der gesamten Vorderseite sind ein stilisiertes Straßensystem mit Fahrzeugen, Ampelsystem und Verkehrszeichen sowie der Schriftzug Bundesrepublik Deutschland zu erkennen. Je nach Kippung der Karte erscheinen oder verschwinden einige von diesen in den Regenbogenfarben schimmernden Abbildungen.

Die Holographie, 1948 von Dennis Gabor begründet, beruht darauf, dass mit Hilfe der Interferenz, also der konstruktiven und destruktiven Überlagerung von Lichtwellen, die Form der Phasenfront einer Welle als Intensitätsmuster sichtbar gemacht werden kann. Denn im Gegensatz zur Fotografie, bei der lediglich die Intensitäten – also die Amplituden – einer Lichtwelle auf einem fotografischen Film registriert werden, wird bei der Holographie zusätzlich auch die räumliche Tiefe im Interferenzmuster auf dem holographischen Material aufgezeichnet. Die Aufnahme eines Hologramms setzt kohärentes Licht voraus, wie es der Laser liefert.

1) Wichtig ist, dass der optische Aufbau während der Aufnahme eines Hologramms mechanisch stabil ist, da schon geringe Vibrationen von einem Bruchteil der Wellenlänge das Interferenzmuster verwaschen und damit die Bildqualität reduzieren.

Abhängig von der Entwicklung des Filmmaterials lassen sich zwei Hologrammtypen unterscheiden: Wird ein absorbierendes Aufzeichnungsmaterial verwendet, in dem das Interferenzmuster in Form von unterschiedlichen Schwärzungen gespeichert ist, so wird das Hologramm – da beim Lesen die Beugung durch eine räumliche Modulation der Amplituden der Lichtwellen stattfindet – als Amplitudenhologramm bezeichnet. Beim Phasenhologramm dagegen handelt es sich um ein deutlich helleres Hologramm, bei dem so gut wie keine Absorption stattfindet und das Muster als Oberflächenrelief ausgebildet ist. Dieses beeinflusst dann mittels eines variierenden Brechungsindex die Phasen des einfallenden Lichtes.

An das Aufnahmematerial werden besonders in Hinsicht auf sein Auflösungsvermögen hohe Ansprüche gestellt: Bei Hologrammaufnahmen mit sichtbarem Licht liegen die Periodenlängen der Interferenzmuster im mm-Bereich und das Material hat eine Auflösung von 5000 Linien/mm (zum Vergleich: ein Foto-Schwarz-Weißfilm hat ein Auflösungsvermögen von etwa 100 Linien/mm). Neben speziellen Silber-Halogenid-Emulsionen mit besonders kleinen Kristalliten bieten sich auch Fotopolymere als Aufnahmematerial an. Ihr Prinzip beruht darauf, dass monomere Substanzen durch Lichteinfluss polymerisiert und damit unlöslicher werden. Die verbleibenden Monomere lassen sich dann auswaschen und zurück bleibt ein Dichte- und Brechungsindexmuster.

Sicherheits-Hologramme

Die Hologramme als Sicherheitsmerkmal unterscheiden sich von den eigentlichen, meist grünlich schimmernden Hologrammen dadurch, dass sie auch unter normalem Licht betrachtet werden können und die Objekte je nach Lichteinfall in den verschiedenen Farben schimmern. Allerdings erscheint in ihnen das rekonstruierte Bild nur unter

bestimmten Blickwinkeln räumlich. Nichtsdestotrotz sind auch diese „reduzierten“ Hologramme selbst für gewiefte Fälscher schwierig zu kopieren. Denn es handelt sich hierbei ebenfalls um Mikrostrukturen mit makroskopischen Ausdehnungen, deren Herstellung neben dem nötigen Know-How auch einen immensen Apparatenaufwand mit u. a. hochwertigen Lasern erfordert. Um holographische Aufnahmen in Massen herzustellen, muss aber nicht jedesmal ein einzelnes Hologramm aufgezeichnet werden, vielmehr genügt es im Regenbogenhologramm-Verfahren, ein Hologramm aufzuzeichnen, von dem dann ein Abdruck genommen wird, der zur Prägung genutzt wird.

Regenbogenhologramme

Bei dem 1969 von Steven Benton entwickeltem Regenbogenhologramm-Verfahren wird zunächst ein Masterhologramm des Objektes nach der Seitenbandmethode angefertigt. Grundsätzlich wird zum Schreiben eines Hologramms mit Hilfe eines Lasers eine kohärente, monochromatische Lichtwelle erzeugt, die mit einem Strahlteiler in Objekt- und Referenzwelle geteilt wird (Abb. 2a). Erstere wird vom Objekt gestreut und mit der ungestreuten Referenzwelle auf dem zu belichtenden holographischen Material zur Interferenz gebracht. In den Gangunterschieden bzw. Phasenbeziehungen zwischen Objekt- und Referenzwelle ist die räumliche Tiefeninformation verschlüsselt. Jeder Punkt des Hologramms stellt dabei gewissermaßen einen Beobachter dar und die Summe, die alle Beobachter sehen, wird im Interferenzmuster gespeichert.

Bei der Seitenbandmethode fällt das Licht der Referenzwelle unter dem Brewster-Winkel auf die holographische Platte: Das einfallende Licht ist also vollständig polarisiert, und unerwünschte Interferenzlinien im Hologramm aufgrund von Reflexionen in der holographischen Platte werden unterbunden.¹⁾

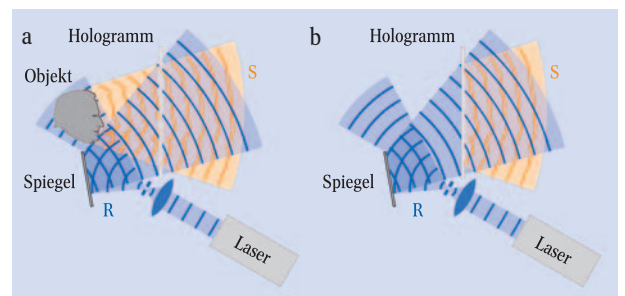


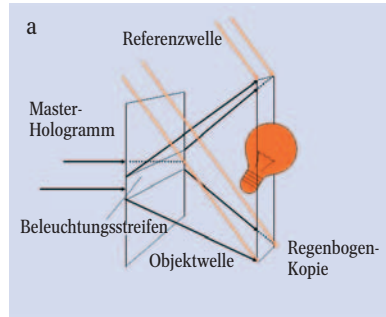
Abb. 2: Die Aufnahme (a) und Rekonstruktion (b) eines Hologramms.

Während bei der Hologrammaufnahme das Phänomen der Interferenz genutzt wird, ist bei der Rekonstruktion des Objektbündels die Lichtbeugung der entscheidende Vorgang. Wird das Hologramm nach der Entwicklung mit einer identischen Referenzwelle bestrahlt, so wird das Licht an den mikroskopischen Strukturen des aufgezeichneten Interferenzmusters derart gebeugt und beeinflusst, dass sich aus dem im Hologramm gespeicherten Interferenzmuster das ursprüngliche Wellenfeld und damit das dreidimensionale Objekt rekonstruieren lässt (Abb. 2b). Es entstehen zwei Bilder, ein reelles, das auf einem Schirm aufgefangen werden kann, und ein virtuelles, das man sieht, wenn man dem Licht entgegen durch das Hologramm blickt.

Da die Rekonstruktion eines Seitenband-Hologramms nur mit monochromatischem Licht und nicht mit Weißlicht möglich ist, wird das im Seitenbandverfahren hergestellte Master-Hologramm im Regenbogenmodus kopiert und dazu bis auf einen schmalen horizontalen Streifen abgedeckt (Abb. 3a). Durch den Streifen werden die Strahlen des Hologramms, die das Objekt rekonstruieren, auf ein schmales Band reduziert. Damit das rekonstruierte reelle Objekt wieder an der Stelle des ursprünglich abgebildeten Objektes liegt, muss die Objektwelle die gleiche Wellenlänge wie die ursprüngliche besitzen, aber in entgegengesetzter Richtung eingestrahlt werden. Am Ort des entstehenden reellen Bildes wird dann eine zweite holographische Platte für die zu erstellende Kopie positioniert. Die rekonstruierte Wellenfront, die keilförmig vom Master ausgeht, lässt man nun auf der zu erstellenden Kopie mit einem von oben kommenden Referenzstrahl der gleichen Wellenlänge interferieren, wodurch das Regenbogenhologramm als Kopie entsteht.

Wird die entwickelte Kopie wie in Abb. 3b mit einer zur Referenzwelle konjugierten, monochromatischen Welle beleuchtet, entsteht das Bild des ursprünglichen Objektes und zusätzlich vor dem Hologramm ein Bild des horizontalen Streifens. Um das Bild sehen zu können, muss man ähnlich wie beim Briefkastenschlitz durch das Bild des Streifens schauen. Da aber jeder Punkt des aufgezeichneten Objektes das gesamte Interferenzmuster beeinflusst, lassen sich auch

mit nur teilweise beleuchteten Hologrammen (wie hier durch den horizontalen Schlitz geschehen) noch Bilder mit holographischer Wirkung (hier in horizontaler Richtung) rekonstruieren. Die Regenbogenholographie nutzt also die Tatsache aus, dass ein Betrachter eher horizontal als vertikal seinen Standpunkt und damit seine Perspektive ändert, d. h. die vertikale Parallaxe spielt



bei der Betrachtung von Objekten eine geringere Rolle.

Eine Beleuchtung dieser Kopie mit Weißlicht entspricht dann gewissermaßen der gleichzeitigen Beleuchtung durch viele verschiedenfarbige Lichtquellen. Entsprechend entstehen, wie Abb. 3c zeigt, gleichzeitig viele unterschiedlich gefärbte Schlitzbilder, die auf unterschiedlichen Höhen liegen und ineinander übergehen. Bewegt der Betrachter seinen Kopf in vertikaler Richtung, sieht er das rekonstruierte Bild durch die jeweiligen Streifen nacheinander in rot, orange, gelb, grün und blau, d. h. in den Spektralfarben oder den Farben des Regenbogens.

Die Prägung

Bei der Massenfertigung von Regenbogenhologrammen belichtet man einen lichtempfindlichen Kunststoff (Fotoresist). Dieses Material hat den Vorteil, dass sich die mikrofeine holographische Interferenzstruktur zu einem Oberflächenrelief entwickeln lässt: die belichteten Stellen werden weggeätzt und es entsteht ein Reliefmuster, das mit einer Metallschicht bedampft und in einem Galvanisierungsbad mit einer Nickelschicht überzogen wird. Der vom Fotoresist abgetrennte Nickelbezug dient dann als Stempel, der alle Informationen des Hologramms als Oberflächenrelief enthält und in den Prägemaschinen mittels Hitze und Druck in eine mit Silber oder Aluminium beschichtete Kunststoffolie geprägt wird. Die Metallschichtung sorgt dafür, dass auch

Transmissionshologramme, wenn sie auf lichtundurchlässige Träger aufgebracht werden, in Reflexion betrachtet werden können. Spezielle Klebstoffe sorgen dafür, dass die Prägehologramme vom Träger nicht zerstörungsfrei abgetrennt werden können.

Um die Fälschungssicherheit der aktuellen Personalausweise und Pässe weiter zu erhöhen, wird das

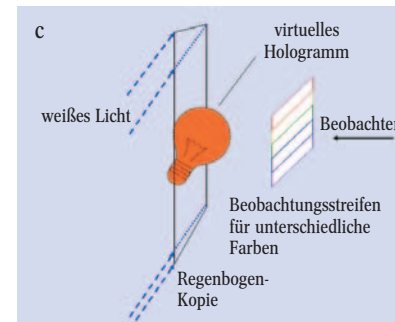
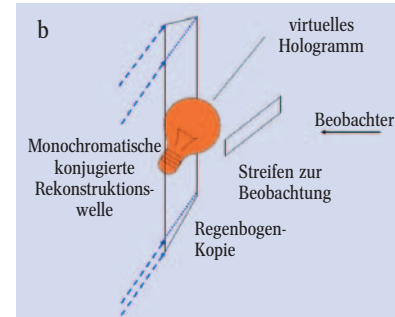


Foto des Passinhabers ein zweites Mal als Hologramm auf den Ausweis aufgebracht. Dazu wird das Foto holographisch in einer Polymerschicht gespeichert, deren Dicke größer ist als die Lichtwellenlänge. Bei diesen so genannten dicken Hologrammen hängt die Beugungseffizienz und damit die Rekonstruktion des Bildes stark von der Wellenlänge und dem Einfallswinkel des Referenzlichtes ab (Bragg-Bedingung). Aus diesem Grund erscheint das „Hologramm“ des Passinhabers nur in einem sehr begrenztem Winkelbereich als stilisierte Hell-Dunkel-Wiedergabe rechts neben seinem Foto.

Neuerdings markieren auch immer mehr Unternehmen ihre Produkte mit den kleinen silbrig-glänzenden Bildern, um sich vor Produktfälschungen zu schützen.²⁾ Doch eins ist klar: Solche aufwändigen Sicherheitsmerkmale nützen natürlich nur dann, wenn sie auch tatsächlich kontrolliert werden.

KATJA BÄMMEL

Abb. 3:
 ▶ a) Das im Seitenbandverfahren aufgenommene Master-Hologramm wird im Regenbogenmodus kopiert.
 ▶ b) Die Rekonstruktion erfolgt mit monochromatischem Licht oder
 ▶ c) im Weißlicht.

2) Allein in Deutschland, so der Deutsche Industrie- und Handelstag (DIHT), entsteht durch Fälschungen und Produktpiraterie jährlich ein Schaden von rund 30 Milliarden Euro, Tendenz steigend.

Dr. Katja Bammel,
 science & more
 redaktionsbüro,
 E-Mail: kb@science-
 and-more.de