HOLOGRAMME

Die Laser-Waffe gegen Fälscher

Geldscheine und Mikrochips, Ausweise und Scheckkarten, Uhren und Ferraris: Immer mehr Produkte tragen ein Sicherheitshologramm, das vor Fälschung schützen soll. Wie funktionieren die 3-D-Bilder, und wie sicher sind sie?

Großes Bild: eine lichtempfindliche Folie, in die ein Laserstrahl Dutzende von kleinen Hologrammen gefräst hat. Die dreidimensionalen Muster sollten verhindern, dass die Tickets der Fußball-WM 1998 (oben rechts) nachgeahmt werden. Oben links: Die in den Regenbogenfarben schillernde Hologramm-Taube macht Kreditkarten fälschungssicher

PASCAL GOETGHELUCK (T.I)

Hologramme: Die Laser-Technik kann Menschenleben retten

Von Hansjörg Heinrich

Es sollte der größte Softwarefälschungs-Coup des Jahrhunderts werden. Die sechs jungen Männer aus Los Angeles hatten fast alles, was sie brauchten: Disketten-Duplizierer, Farbkopierer, selbstklebende Abzieh-Labels. Ihr verbrecherisches Ziel: gefälschte Computerprogramme des Software-Giganten Microsoft in Umlauf bringen – zum Originalpreis bei geringsten Stückkosten.

Software im Wert von fünf Millionen Dollar hatten sie bereits gefälscht. Jetzt wollten sie auf den Markt. Nur eines hatten sie noch nicht – ein Hologramm. Und das brach ihnen das Genick. Denn Microsoft schützt seine Produkte, wie andere Hersteller auch, gegen Fälschung: mit kleinen Siegeln, die ein Objekt dreidimensional darstellen. Und die kann man nicht mal eben mit einem zweidimensional arbeitenden Farbkopierer reproduzieren. Die Software-Piraten mussten also einen Hologramm-Experten bitten, ihnen das Microsoft-3-D-Siegel nachzumachen. Der roch den Braten, rief bei Microsoft an, Microsoft beim FBI – aus der Traum.

»Jeder Affe kann heute eine Computerdiskette duplizieren«, sagt US-Staatsanwalt Larry Morrison, der den Microsoft-Fall verfolgte. »Aber das entscheidende Sicherheitsmerkmal sind diese kleinen Hologramm-Siegel. Erst sie machen ein Produkt wirklich zum Original.«

Und das nicht nur bei Software. Längst hat die Produktpiraterie weltweit epidemische Ausmaße angenommen. Peter Lowe vom Counterfeiting Intelligence Bureau der Internationalen Handelskammer im englischen Essex: »Produktfälschung ist die Wirtschaftsplage des 20. Jahrhunderts« – sie zählt zu den Wirtschaftsverbrechen mit den weltweit größten Zuwachsraten. Die Produktpiraten setzen jährlich 500 Milliarden Mark um – das entspricht fünf Prozent des Welthandels.

Ob Mikroprozessoren oder CDs, Scheckkarten oder Konzerttickets, Rolex-Uhren oder Ferraris – nichts ist heute mehr vor Fälschung sicher. Lowe: »Die Profite sind höher als beim Drogenhandel, die Risiken minimal.« Deshalb greifen immer mehr Firmen zu Sicherheitshologrammen – jenen kleinen, in allen Regenbogenfarben schillernden 3-D-Bildchen, die heute von jeder EC-Karte leuchten. Denn Hologramme sind auf Grund ihres Herstellungsprozesses extrem schwer zu fälschen.

Das erste Hologramm (holos, griech. »das Ganze«) erdachte 1948 der ungarisch-britische Physiker Dennis Gabor. Er suchte nach einer Möglichkeit, Objekte in allen drei Dimensionen aufzunehmen – bisher konnte die Fotografie Gegenstände nur zweidimensional wiedergeben. Aber wie ließ sich räumliche Tiefe abbilden?

Auf die Lösung kam Gabor durch die bekannte Tatsache, dass die von einem dreidimensionalen Objekt zurückgeworfenen Lichtstrahlen einen Aufnahmefilm zu unterschiedlichen Zeitpunkten erreichen: Einige haben einen kürzeren Weg zum Film, andere einen längeren, je nach Beschaffenheit des Objekts. Die Physiker sagen: Die Wellen treffen mit einer »Phasenverschiebung« ein. Weil die unterschiedlichen Ankunftszeiten der Lichtwellen im Zusammenhang mit der dreidimensionalen Form des Gegenstands stehen, kam Gabor auf die Idee: Die räumliche Ausdehnung eines Objekts lässt sich als Phasenunterschiede der reflektierten Lichtwellen ausdrücken.

Aber weil die zeitlichen Unterschiede für das Auge nicht zu erkennen sind, musste man sie in etwas umwandeln, was wir wahrnehmen können – z. B. in Unterschiede der Helligkeit. Das gelang mit einem Trick: Die von der Oberfläche des Objekts reflektierten, also »gestörten« Wellen wurden mit »ungestörten« überlagert. Bei dieser »Interferenz« verstärken sich aufeinander treffende Wellenberge – Helligkeit entsteht; wo Wellenberge auf Wellentäler stoßen, löschen sie sich gegenseitig aus – Dunkelheit entsteht. So bilden die überlagerten Wellen das typische Interferenzmuster von vielen hauchdünnen Linien aus, das man auf eine Fotoplatte bannen kann – das Hologramm. Es enthält alle räumlichen Informationen des aufgenommenen Gegenstands.

Um möglichst viele Interferenzen und damit eine präzise dreidimensionale Information zu erhalten, braucht man Licht gleicher Wellenlänge und Phase. Mit gewöhnlichem Tages- oder Kunstlicht funktioniert das nicht: Es besteht aus vielen Wellenlängen – vom kurzwelligen blauen bis zum langwelligen roten Licht; und diese Lichtanteile sind beliebig phasenverschoben. Damit sind definierte Überlagerungen kaum möglich. Dennis Gabor experimentierte bereits mit Licht aus einer Quecksilberdampflampe, das er durch eine Blende zu einem sehr dünnen Strahl bündelte. Doch die Gleichlaufeigenschaften dieses Lichtstrahls waren unbefriedigend, die Hologramme winzig klein und kaum plastisch.

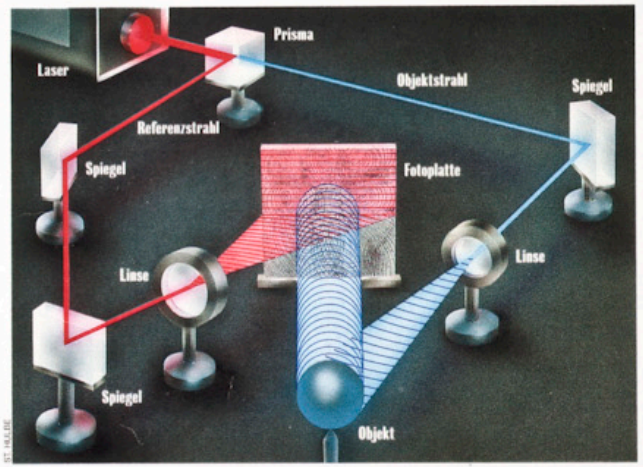
Die Rettung kam zwölf Jahre nach Gabors bahnbrechender Idee, als US-Forscher 1960 in den Bell-Laboratorien den ersten Laser* entwickelten. Hier haben al-

*) Laser: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlungsemission)

2 Im Labor (hier eine Teilansicht) »graviert« der Laser das dreidimensionale Objekt in eine fotosensitive Platte. Deutlich zu erkennen sind der »Objektstrahl« (l.) und der »Referenzstrahl« (r.)

1 Bei der industriellen Herstellung von Hologrammen wird das Objekt, hier eine Statuette, zuerst mit einer Digitalkamera aus vielen Winkeln fotografiert (r.). Durch die Kombination aller Einzelaufnahmen am Computer entsteht eine dreidimensionale Vorlage

3 Das in die Fotoplatte »eingravierte« Bild wird durch Elektrolyse galvanisch auf eine Nickelmatrize übertragen. Diese dient als Prägewerkzeug für die maschinelle Vervielfältigung des Hologramms



So entsteht ein Hologramm:
Ein Laser sendet einen Strahl aus, den ein Prisma in zwei Strahlen mit parallelen Lichtwellen aufspaltet. Der »Objektstrahl« trifft auf das Objekt und wird auf die Fotoplatte reflektiert. Überlagert man ihn mit einem zweiten »Referenzstrahl«, entsteht ein mikrofeines Interferenzmuster aus dunklen und hellen Linien – insgesamt etwa 1500 Linien pro Millimeter. Dieses Muster enthält alle räumlichen Informationen des Objekts. Das fertige Hologramm kann fotochemisch und galvanisch beliebig oft vervielfältigt werden (s. Fotos oben)

Die Mafia hat dazugelernt: Sie fälscht sogar Hologramme

le emittierten Lichtwellen, wie es für die Holographie erforderlich ist, eine definierte Lage zueinander und dieselbe Wellenlänge. Jetzt stand eine geeignete Lichtquelle zur Verfügung, die das Objekt beleuchtet (»Objektstrahl«) und gleichzeitig die reflektierten, »gestörten« Wellen mit »ungestörten« Wellen (»Referenzstrahl«) überlagert. So erscheinen auf der Fotoplatte plastische holographische Muster.

Dennis Gabors Theorie wurde durch den Einsatz des Lasers glänzend bestätigt, Gabor erhielt 1971 für die Erfindung der Holographie den Physik-Nobelpreis.

Die Massenherstellung von Hologrammen erfordert allerdings noch komplizierte Zwischenschritte. So muss das Hologramm, wenn es als Sicherheitssiegel dienen soll, auch bei gewöhnlichem Tageslicht sichtbar sein – nicht jeder hat zufällig einen Laser bei sich, der das Hologramm reproduziert.

Steven Benton fand 1969 einen Weg, wie man Hologramme auch mit weißem Licht herstellen kann. Dabei wird ein »Master-Hologramm« mit einer dünnen Schicht aus vielen Mikroschlitzen maskiert und holographisch kopiert. Die Schlitzmaske bewirkt eine Aufspaltung des weißen Lichts in die Spektralfarben, ähnlich einem Prisma. Durch die Beugung an den Schlitzen werden die Farben in verschiedene Richtungen gelenkt, sodass in jedem Schlitz das Licht einer einzigen, bestimmten Wellenlänge vorliegt – Voraussetzung für die Interferenz und damit für Hologramme. So entstehen sehr helle Rekonstruktionen des Objektes in den Regenbogenfarben, die je nach Betrachtungswinkel verschieden leuchten.

Der größte Vorteil dieser Regenbogen-Hologramme liegt darin, dass sie sich durch Prägetechniken maschinell vervielfältigen lassen. Dabei wird die Regenbogenkopie auf ein spezielles Aufnahmematerial belichtet, den Fotoresistlack. In diesem hochauflösenden Material – es findet auch in der Mikrolithographie zur Aufzeichnung von Mikrochip-Strukturen Anwendung – bildet sich die feine holographische Interferenzstruktur auf fotochemischem Weg als Oberflächen-Relief aus. Dieses Relief lässt sich mittels Elektrolyse galvanisch auf eine Nickelmatrize übertragen, die als Prägewerkzeug für die massenhafte Hologramm-Herstellung dient: Unter Hitze und Druck werden die Strukturen, die eine Reliefiefe von weniger als 0,5 tausendstel Millimeter haben, in eine metallisierte Folie eingestanzt. So lassen sich beliebig viele kopierte Hologramme herstellen, die bei Lichteinfall durch die Lichtbrechung das ursprünglich holographierte Objekt rekonstruieren. Die Herstellung dieser Regenbogen-Hologramme ist überaus billig: Ein Folienbild kostet nur ein paar Pfennig.

Penibler Blick: Mit einem Vergrößerungsglas werden die Mikrostrukturen des Hologramms (Reliefiefe: weniger als 0,5 tausendstel Millimeter) auf Fehler untersucht

Alternativ-Verfahren zur Heißprägetechnik: Hier wird das Hologramm durch Druck von der Matrize in die Metallfolie gestanzt. Die fertigen Folienbilder kosten nur Pfennige

Heißprägetechnik: Die Hologramme werden durch Wärme von der Nickelmatrize auf dünne Metallfolien übertragen

Sicherheitshologramme schützen auch die Jetons der Spielbank in Monte Carlo (oben) und die Personalausweise in China (unten) gegen Nachahmung. Wie gut das Hologramm mit dem bloßen Auge zu erkennen ist, hängt vom Winkel des einfallenden Lichtes ab

Die Entwicklung solcher Sicherheitshologramme liegt einerseits im Interesse von Firmen; andererseits kann die Produktfälschung heute jeden treffen, sogar an Leib und Leben. Denn Produktfälscher gehen notfalls auch über Leichen. Eine erschreckende Fälschungsbilanz der letzten zwei Jahrzehnte legte jüngst die Internationale Handelskammer vor:

★ 1976 wurden gefälschte Transistoren in US-Spaceshuttles entdeckt.

★ 1977 fand die US-Luftfahrtbehörde gefälschte Feuermeldesysteme in mehr als 100 Boeing-737-Maschinen.

★ 1978 musste die US-Gesundheitsbehörde Herzpumpen aus 266 Krankenhäusern zurückrufen, nachdem gefälschte Klappen entdeckt worden waren.

★ 1979 wurde Kenias Kaffee-Ernte zum großen Teil vernichtet: Man hatte herausgefunden, dass gefälschtes »Chevron«-Insektizid gesprüht worden war.

★ Anfang der 80er Jahre gelangten mehr als eine Million gefälschte Antibabypillen in Umlauf. Die Folge: zahlreiche ungewollte Schwangerschaften.

★ 1989 stürzte eine norwegische Convair 580 ab. 55 Passagiere und die Crew starben. Die Absturzursache: ein gefälschter Bolzen im Leitwerk des Flugzeugs.

★ 1990 starben 109 Kinder in Nigeria an einem gefälschten Medikamentencocktail aus Paracetamol und Lösungsmitteln.

★ 1994 wurde in England gefälschtes Waschpulver mit Ätzkalk versetzt, das Hautverbrennungen verursachte.

★ 1996 starben mehr als 3000 Menschen in Niger an einem gefälschten Impfstoff gegen Meningitis.

Die Produktpiraterie ist längst eine Form des organisierten Verbrechens geworden. So beteiligt sich die italienische Mafia unter anderem an Software- und CD-Fälschungen. In Mailand hoben Fahnder eine Fabrik aus, die jährlich 24 Millionen gefälschte CDs herstellte und in ganz Europa vertrieb – auch über die irische Untergrundorganisation IRA, die sie nach Irland importierte und sich so finanzierte.

»Das Fälschen eines Hologramms erfordert einen immensen Apparateaufwand«, sagt Thomas Lesemann vom deutschen Hologramm-Anbieter topac in Gütersloh. Neben hochwertigen Lasern braucht man Präzisionsoptiken, extrem schwingungsfreie Labortische, spezielle Prägefolien und Prägemaschinen; außerdem muss man die Techniken der fotochemischen Entwicklung sowie der Galvanik zum Abformen der Prägewerkzeuge beherrschen. »Diese Ausrüstung, gepaart mit dem Know-how der Techniker«, so Lesemann, »ist weltweit nur in ganz wenigen Labors vorhanden.«

Um das Fälschen noch schwieriger zu machen, lassen sich weitere Sicherheitsmerkmale einbauen. Dazu zählen Wechselbild-Effekte, wie sie etwa in das Sicherheitshologramm des Hundertmarkscheins eingeprägt sind, das Verknüpfen mehrerer holographischer Techniken oder zusätzliche Informationen, die sich offen oder versteckt auf dem Hologramm unterbringen lassen. Bei den astronomischen Gewinnen durch professionelle Produktfälschung In Kalifornien schnappte das FBI chinesische Gangster, die einer Hongkong-Triade angehörten und gefälschte Kreditkarten und Software verhökern wollten – sogar inklusive der Sicherheitshologramme.

lohnt sich für das organisierte Verbrechen sogar die Anschaffung teurer Hologramm-Apparaturen. Deshalb arbeiten die Forscher an Konzepten, die Fälschungssicherheit weiter zu verbessern. So lassen sich spezielle Polymere in der Trägerschicht des Hologramms in ihren optischen Eigenschaften so gezielt designen, »dass eine Reproduktion ohne Kenntnis der Ausgangsbedingungen selbst für Wissenschaftler in Hightech-Labors praktisch unmöglich ist«, weiß Ralf Hildebrandt vom Laserlaboratorium Göttingen.

Und was tut der einfache Verbraucher, wenn er zweifelt, ob ein Sicherheitshologramm und damit die gekaufte Ware echt ist? »Niemand kann aufgrund des komplizierten Herstellungsprozesses ohne weiteres ein Hologramm fälschen«, sagt Hildebrandt. »Auch der Laie kann deshalb ein schlechtes Hologramm erkennen – es sieht aus wie ein simples Folienbild ohne Tiefenwirkung.« ★

Internet-Adressen

Herstellung Sicherheitshologramme:
http://members.aol.com/tophol/hhome_d.htm

Produktpiraterie:
http://193.123.144.14/interpol.com/keynote/Lowe.htm

Bekämpfung von Fälschungen:
http://europa.eu.int/comm/dg15/de/intprop/indprop/922.htm