

Dr. Hans Tiziani, dipl.Ing.

Institut für Technische Physik ETH, Zürich, Schweiz

Z u k u n f t d e r - O p t i k

Die Optik hat in den letzten Jahren neuen Aufschwung genommen. Mitverantwortlich für diese Entwicklung sind sowohl die Anwendung von leistungsfähigen Computern als auch die Nachfrage nach immer besserer Auflösung und Bildqualität. Besonders positiv haben sich die Entwicklungen des Laser (1960) und der Holographie ausgewirkt. Immer neue Applikationen des gebündelten, kohärenten Laserlichtes werden erschlossen, doch will ich mich in diesem Zusammenhang auf die mögliche Weiterentwicklung der erwähnten Gebiete beschränken.

I. Anwendung der optischen Uebertragungsfunktion

Die Abbildungseigenschaften eines optischen Systems lassen sich durch die optische Uebertragungsfunktion (ÖUF) ausdrücken. Die ÖUF eines Systems ist eine mathematische Beschreibung der Abbildung eines Objektes in der Bildebene. Der Betrag und die Phase der ÖUF sind vielfach graphisch aufgetragen als Funktion der räumlichen Frequenz (Linien pro Millimeter auf der Abszissenachse). Der Betrag der normierten ÖUF ist eine Zahl zwischen 0 und 1 und gibt ein objektives Mass für die Abbildungseigenschaften des optischen Systems bei den verschiedenen Ortsfrequenzen. Das Konzept der Uebertragungsfunktion lässt sich auch auf komplexe Systeme, welche den Empfänger miteinschliessen, anwenden.

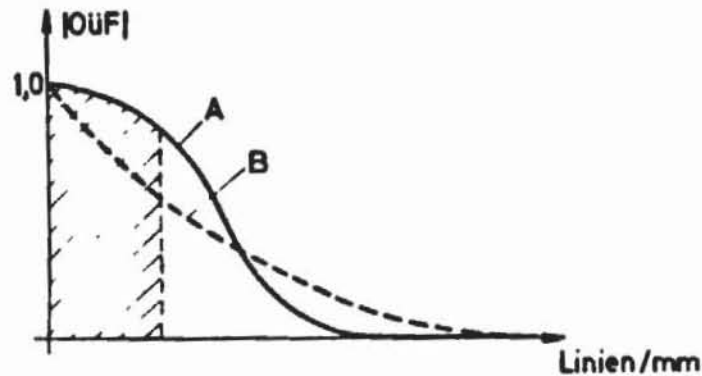


Abbildung 1 Modulationsübertragungsfunktion von zwei Objektiven

Vergleichen wir die Kurven in Abbildung 1, die den Betrag der OUF von zwei Objektivtypen bei inkohärenter Beleuchtung wiedergeben, so ist es naheliegend, dass das optische System (A) als Fernsehobjektiv besser geeignet ist als das Objektiv (B), obwohl (B) eine grössere Auflösung zeigt. Im angeführten einfachen Beispiel ist es der Empfänger (Elektronik), welcher den nutzbaren Frequenzbereich begrenzt. Die Fläche unter der OUF (schraffiert) gibt uns ein Mass der Qualität des optischen Systems.

Gegenwärtig werden Anstrengungen unternommen, die Qualität optischer Systeme mit der OUF zu beschreiben. Um zu international anerkannten und reproduzierbaren Ergebnissen zu gelangen, muss noch einiges gearbeitet werden. Obwohl die OUF als objektives Qualitätsmass für die meisten Bildempfänger gültig ist und sich nur mit den Abbildungseigenschaften des optischen Systems ändert, treten schon in der Berechnung der OUF Unterschiede in den Ergebnissen der verschiedenen Rechenmethoden auf, die aber bereinigt werden können. Die Behebung der Messresultat-Abweichungen diverser internationaler Prüfstellen, welche verschiedene Messmethoden anwenden, dürfte etwas länger dauern. Die Messresultate eines spezifischen Objectives, welches zur Messung der OUF an Laboratorien mehrerer Länder gesandt wurde, streuen noch, und das Vertrauen in die neue Prüftechnik ist noch nicht überall etabliert. Gegenwärtig werden die Ursachen der Abweichungen abgeklärt, und die geforderte Uebereinstimmung (ca. 5%) der Messresultate dürfte in absehbarer Zeit erreicht sein.

Es ist zu erwarten, dass sich die OUF als objektives Qualitätskriterium in Zukunft einbürgern wird, und optische Systeme auch nach diesem Gesichtspunkt berechnet werden. Eine Optimierung der Bildqualität für vorgegebene Raumbfrequenzen kann schon im Entwicklungsstadium vorgenommen werden. Der Aufwand für solche Berechnungen ist allerdings sehr gross, doch werden immer leistungsfähigere Computer auf den Markt gebracht.

Die automatische Korrektur der Aberrationen optischer Systeme hat sich schon teilweise eingebürgert, wird sich aber noch weiter entwickeln. Für ein gegebenes optisches System kann die Perfektion bereits sehr weit getrieben werden. Die Bildqualität der produzierten optischen Systeme bleibt aber vielfach unter den Erwartungen. Dafür sind besonders Fabrikationsfehler der einzelnen Elemente sowie Zentrierfehler und auftretendes Streulicht verantwortlich. Neue Prüf- und Fabrikationsmethoden werden noch erforderlich sein. Auch dürfte in Zukunft die Anzahl der verwendeten Linsen durch die Einführung asphärischer Flächen etwas reduziert werden. Die Herstellung asphärischer Linsenflächen stellt grosse Anforderungen. Weitere Fortschritte in der Prüfung asphärischer Flächen werden erwartet. Die Anwendung synthetischer Hologramme, welche später noch kurz beschrieben werden, können für diese Aufgabe Verwendung finden.

II. Anwendung des Lasers

Seit der aufsehenerregenden Entwicklung des ersten Lasers vor 10 Jahren wurden viele neue Typen für den sichtbaren und infraroten Spektralbereich konstruiert. Inzwischen ist der Laser sehr populär geworden, und es haben sich interessante Möglichkeiten ergeben. In diesen kurzen Betrachtungen werden einige Anwendungen der kohärenten, monochromatischen und gebündelten Lichtquelle im sichtbaren und infraroten Spektralbereich erläutert.

Da die Laserenergie auf sehr kleine Flächen konzentriert werden kann, ergeben sich stets neue Einsatzgebiete. So wird beispielsweise mit Laser Metall geschweisst und Netzhautablösungen damit behoben. In der Uhrenindustrie hat der Laser zur Materialverarbeitung und Anfertigung von Bohrungen kleinster Durchmesser

(einige μm) ebenfalls eine wirtschaftliche Anwendung gefunden, die sich noch entwickeln wird. Weitere Applikationsmöglichkeiten sind in der Chirurgie zu erwarten.

Der Laserstrahl lässt sich leicht modulieren. Er dürfte vermehrt zur Distanzmessung und in der Uebertragungstechnik Verwendung finden, hat man doch damit einen enormen Informationsträger zur Verfügung.

Die Einführung des Lasers für Messzwecke in Laboratorien und in der Industrie erschliesst neue Möglichkeiten. Denken wir nur an eine Anwendung in der automatischen Positionierung von Komponenten und an die Steuerung von Maschinen. Neue Laser-Interferometer mit automatischer Streifenzeichnung und digitaler Auswertung der Interferenzmuster werden zur Längenmessung sowie zur Steuerung und Präzisionskontrolle entwickelt.

Auch in der Computer-Industrie, die den Bau von stets leistungsfähigeren Maschinen anstrebt, dürften in den nächsten 10 Jahren Neuerungen zu erwarten sein. Trotz den enormen technologischen Fortschritten zur Kapazitätserhöhung hat man die Grenzen, welche durch die herkömmliche elektrisch-magnetische Aufspeicherung gesetzt sind, erreicht. Bedenkt man aber, dass die Laserenergie auf einen Durchmesser von weniger als $5 \mu\text{m}$ konzentriert werden kann, so lassen sich auf einer Fläche von 1 cm^2 $10^6 - 10^8$ digitale Informationen speichern. Das Speicher-Medium ist z.B. ein magnetischer Film, welcher gute magnetisch-optische und magnetisch-thermische Eigenschaften aufweist. Bei lokaler Erwärmung von geeigneten dünnen Schichten wird es möglich, eine lokale Magnetisierung zu erzeugen, die aber mit einem zusätzlich angelegten Feld sofort wieder ausgelöscht werden kann. Trotz grosser Anstrengungen wurden noch keine befriedigende analoge und digitale Strahlableiter zur Plazierung der Lichtpunkte entwickelt. Ueber die holographischen Möglichkeiten der Informationsspeicherung wird im nächsten Abschnitt berichtet.

III. Holographie

Die Holographie wurde ursprünglich vom Erfinder D. Gabor im Jahre 1948 zur Verbesserung der Auflösung im Elektronenmikroskop entwickelt. Obwohl die ersten Erfahrungen und die Ausdehnung der Methode auf die X-Strahlen-Mikroskopie nicht ganz befriedigend waren, kam die Holographie mit der Einführung des Lasers zu neuer Blüte. Die praktischen Anwendungen der Holographie sind zur Zeit noch bescheiden, doch scheint sich eine vielversprechende Zukunft anzubahnen. Die Holographie ist ein im Vergleich zur Photographie junges optisches Aufnahmeverfahren, mit dem dreidimensionale kohärente Wellenfelder auf photographischen Speichermedien aufgenommen und bei Bedarf getreu rekonstruiert werden können, als seien die Wellen durch die Speicherung überhaupt nicht unterbrochen worden, sondern hätten sich unbeeinflusst ausgebreitet. Zur Aufnahme eines Hologramms wird das aufzunehmende Objekt mit der kohärenten Strahlung eines Lasers beleuchtet. Die dabei zurückgeworfenen Objektwellen werden mit einer kohärenten Referenzwelle überlagert und die Interferenzstreifen registriert, beispielsweise auf einer photographischen Platte. In der Uebertragungstechnik finden wir eine Analogie, wird doch der Träger in Amplitude und Phase moduliert. Einer Amplitudenmodulation entspricht der Kontrast und einer Phasenmodulation die Position der Interferenzstreifen. Die Abbildung 2 zeigt schematisch die Registrierung eines Hologramms.

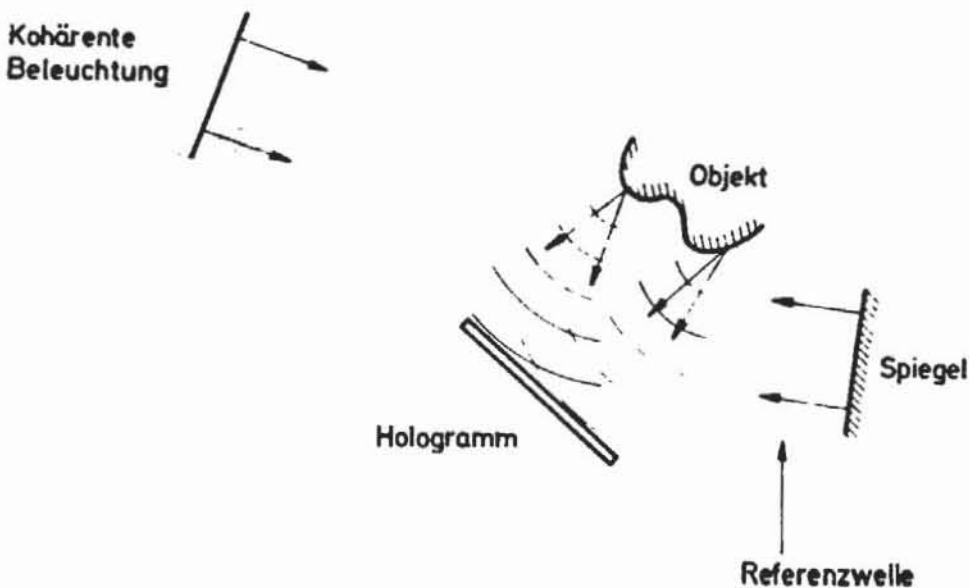


Abbildung 2 Registrierung eines Hologramms

Durch die Ueberlagerung der Referenzwelle mit den vom Objekt gestreuten Wellen wird ein Interferenzbild erzeugt und dann registriert. Dadurch wird die Amplitude und Phase des Objektfeldes aufgespeichert. Zur Rekonstruktion wird das Hologramm mit einer kohärenten Wiedergabewelle beleuchtet, welche beispielsweise dieselbe geometrische Anordnung und Wellenlänge hat wie die Referenzwelle bei der Aufnahme. Bei der Rekonstruktion interessiert man sich meistens nur für die Objektwelle, welche das ursprüngliche Objekt getreu wiedergibt. Da die Amplitude und Phase des Objektfeldes im Hologramm aufgespeichert werden, erscheint das Bild dreidimensional. Wir werden uns nur mit einigen Anwendungen und den voraussehbaren Zukunftsaussichten befassen.

IV. Einige mögliche Anwendungen der Holographie

Zur holographischen Speicherung digitaler Informationen wird jedem Bit eine Objekt-Kugelwelle und damit ein Interferenzmuster zugeteilt. Dabei sind vor allem zwei Eigenschaften der holographischen Aufnahme von Bedeutung, nämlich die Ueberlagerung von vielen verschiedenen Interferenzfeldern auf derselben Speicherplatte, die bei der Wiedergabe wieder voneinander getrennt werden können. Theoretische Speicherdichten bis zu 10^6 Bit/mm² können dadurch erreicht werden. Auftretende Störungen auf der Speicherplatte, wie Staubkörner oder Fehler der lichtempfindlichen Schicht beeinflussen die Informationswiedergabe nur unwesentlich, solange die Störungsflächen gegenüber der Hologrammfläche klein sind.

Diese Eigenheiten sind Voraussetzungen für die Verwirklichung von Festwert-Grossspeichern, für die sich ein ständig steigender Bedarf bemerkbar macht. Grossspeicher werden u.a. Verwendung finden zur Aufnahme von Programmbibliotheken, Sammlungen von Fingerabdrücken, Zeichnungs- und Bildarchiven und für künftige Informationsbanken. Auch zur serienmässigen Reproduktion integrierter Schaltungen dürfte die holographische Aufspeicherung noch Zukunft haben. Vorläufig befindet sich die Entwicklung holographischer Speicher im Stadium grundlegender Laboratoriumsarbeiten.

Die Aufspeicherung der Information geschieht nun sowohl auf Flächenhologrammen, wo die lichtempfindliche Schichtdicke sehr klein und somit für die Wiedergabe belanglos ist, oder aber durch Volumenhologramme, bei welchen die Schichtdicke zur vermehrten Aufspeicherung Verwendung findet. Die Volumenhologramme dürften für die zweite Generation holographischer Speicher in Frage kommen.

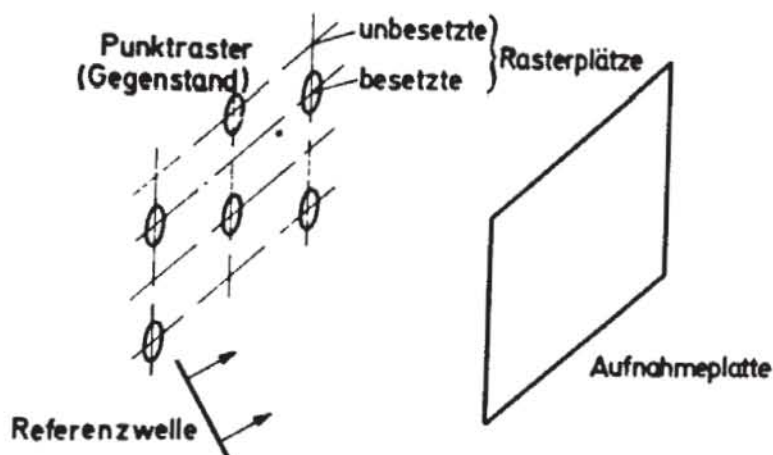


Abbildung 3 Prinzip der Speicherhologramm-Aufzeichnung

Das Prinzip vom "Schreiben" eines Speicherhologramms ist in Abbildung 3 dargestellt. Jedem Bit ist ein Punkt im Raum zugeordnet, von dem eine zur Referenzwelle kohärente Kugelwelle ausgeht und auf die photographische Platte fällt, wo sie, mit dem Referenzbild überlagert, ein Interferenzbild erzeugt. Vorhandensein oder Fehlen der Lichterregung in den Punkten entspricht den binären Werten 1 oder 0. Die Punkte werden als regelmässiges Raster im Raum angeordnet. Technisch lässt sich ein solches Lichtpunktraster auf verschiedene Weise herstellen. Es seien hier nur einige Möglichkeiten angezeigt. Die Richtungs-schwenkung des Laserstrahles könnte mittels Drehspiegelsystemen oder mit elektro-optischen Kristallen mit gleichzeitiger Amplitudenmodulation ausgeführt werden. Ein elektro-optischer Lichtmodulator, z.B. das "Eidophor" oder "Elmikon", wäre voraussichtlich für diese Anwendung geeignet.

Beim "Lesen" des Speicherhologramms wird ein kohärenter Lichtstrahl verwendet, der unter dem gleichen Winkel, aber in genau

entgegengesetzter Richtung wie die Bezugswelle bei der Aufnahme auf das Hologramm fällt, wie dies schematisch in Abbildung 4 gezeigt wird. Dadurch werden die ursprünglichen Rasterpunkte rekonstruiert.

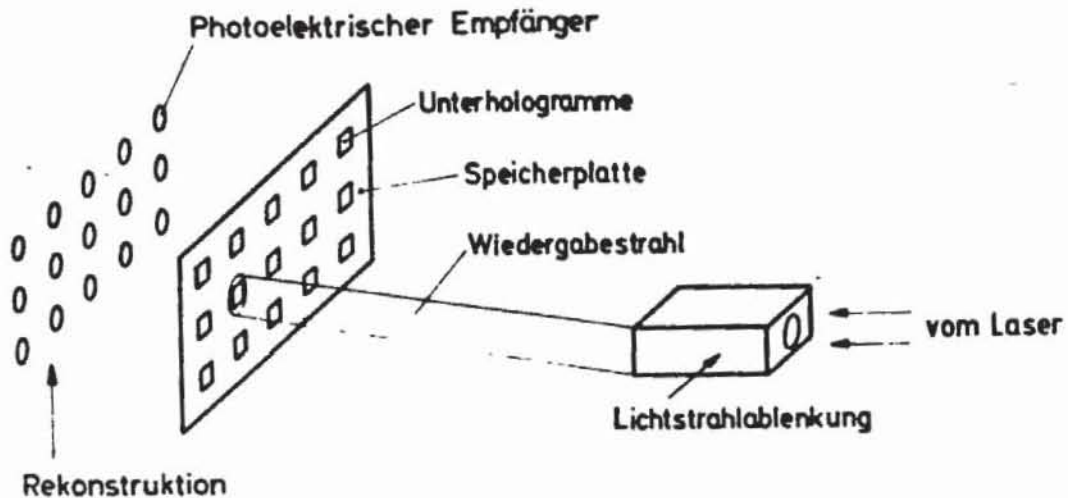


Abbildung 4 Anordnung zum "Lesen" eines Speicherhologramms

In der Bildebene werden photo-elektrische Bauelemente (Photodioden oder -Transistoren) angebracht, die sich mit dem ursprünglichen Raster decken. Die Photodioden werden die optische Information in die elektrische Form umwandeln. Zur Begrenzung des technischen Aufwandes kann eine Speicherfläche in kleine Unterhologramme eingeteilt werden. Beim "Lesen" wird jeweils nur ein Unterhologramm zur gleichen Zeit rekonstruiert, indem es durch einen Wiedergabestrahl vom Querschnitt eines Unterhologramms beleuchtet wird.

Auf dem Gebiet der elektro-optischen Lichtablenker und Speichermedien sind in den nächsten Jahren bedeutende Fortschritte zu erwarten. Bereits wird an verschiedenen Methoden der Lichtablenkung (z.B. akustische und elektro-optische) experimentiert. Bei den Ablenkkrystallen wird die optische Güte gesteigert und die Steuerspannung verringert, so dass es möglich wird, mehr Einzelelemente als bisher hintereinander zu schalten. Damit wird eine grössere Zahl verschiedener Strahlrichtungen erzielt und die Steuerung mit Halbleiterverstärkern ausgeführt.

Bei Speichermedien wird neben der Vervollkommnung photographischer Emulsionen für Festwertspeicher die Entwicklung spezieller Materialien für Phasenhologramme vorangetrieben. Es wird

ein Medium angestrebt, das reversibel arbeitet, beliebig oft beschrieben und gelöscht werden kann. Damit wäre ein Prinzip für löschrare, zerstörungsfreie und lesbare Grossspeicher mit Zugriffzeiten im Nanosekunden-Bereich gegeben, was die Konzeption zukünftiger Datenverarbeitungsanlagen entscheidend beeinflussen könnte. Bis zu diesem Zeitpunkt ist noch ein weiter Weg zu beschreiten.

Eine andere mögliche Anwendung der Holographie erwarten wir in der Filmindustrie, wo stereoskopische Effekte erzeugt werden können. Dreidimensionale Filme sind bis jetzt unpopulär geblieben, weil der Beobachter die Augen nicht mit speziellen Gläsern belasten möchte. Die Holographie könnte sich in absehbarer Zeit für diese Anwendung durchsetzen. Voraussichtlich muss mit 2 Projektoren und speziellen Bildschirmen gearbeitet werden, die getrennte Bilder für das rechte und linke Auge des Zuschauers reflektieren. Auch in der Fernsehtechnik könnten wir durch die Anwendung der Holographie einige Ueberraschungen erleben, obwohl die Anforderungen an die Bandbreite noch gross sind.

Bei synthetischen Hologrammen wird der Zusammenhang zwischen der Helligkeitsverteilung einer Gegenstandsfläche und der Transmissionsverteilung des dazugehörenden Hologramms programmiert und letztere numerisch berechnet. Auf diese Weise gewinnt man künstliche "synthetische" Hologramme, die dreidimensionale Bilder physisch nicht vorhandener Gegenstände erzeugen. Dieses Erkenntnis bietet grundsätzlich den Weg, von Werkzeugzeichnungen oder Bauplänen rasch zu plastischen Bildern der dargestellten Maschinenteile, Gebäude oder Brücken zu gelangen, ohne dass Modelle angefertigt werden müssen. Synthetische Hologramme von asphärischen Flächen könnten zu Prüfzwecken sehr bedeutend werden.

Eine weitere künftige Anwendung der Holographie dürfte in der angestrebten blinden Landung von Flugzeugen liegen. Eine grosse Anzahl Hologramme vom Modell des Flugplatzes mit den Landepisten müsste hergestellt werden. Jedes Hologramm sollte einen Teil des Landungsstreifens wiedergeben und zwar wie es von Piloten gesehen wird. Der Radio-Operator wird die genaue Position des Flugzeuges zum Landungsstreifen feststellen, und ein Computer wird das entsprechende Hologramm wählen. Dies gibt

dem Pilot die Möglichkeit, sich mit Hilfe des Hologrammes dreidimensional zu orientieren. Somit würde eine blinde Landung bei schlechten Witterungsbedingungen ermöglicht.

Holographie lässt sich nicht nur mit Licht, sondern mit jeder Art kohärenter Wellen durchführen. Hologramme lassen sich beispielsweise auch mit Mikro- und Schall-Wellenfeldern herstellen. Das mit einer kohärenten Referenzwelle überlagerte Wellenfeld des Objektes wird, z.B. durch eine kleine Antenne, in einer vorgegebenen Ebene zeilenweise abgetastet. Die Empfangsspannung wird verstärkt, gleichgerichtet und in ein Lämpchen in der Antennenmitte eingespeist. Während der Abtastbewegung wechselt die Helligkeit des Lämpchens entsprechend der lokalen Intensität. Diese Helligkeitsschwankungen werden auf eine lichtempfindliche Schicht zeilenweise übertragen und beschreiben ein rekonstruierbares Hologramm. Der Einsatz der Holographie mit Dezimeterwellen könnte interessante Anwendungen dieser Technik in der Raumforschung bringen

Akustische Wellenfelder können beispielsweise in Wasser über die von ihnen erzeugten Oberflächenwellen sowie über die in einer piezoelektrischen Quarzplatte angeregten Spannungsverteilung registriert werden. Die verschiedenen Verfahren stecken allerdings noch in den Kinderschuhen, doch dürfte in den nächsten Jahren mit einer erheblichen Verbesserung der Technik zu rechnen sein.

Mit Hilfe der akustischen Holographie könnten neue, interessante Applikationsgebiete erschlossen werden. Eine mögliche Anwendung liegt in der Untersuchung und Aufzeichnung des Meeresgrundes, wofür Lichtwellen bekanntlich nicht geeignet sind. Beispielsweise könnten gesunkene Schiffe und unterseeische Vulkane erkannt und geortet werden. Weiter wird es prinzipiell möglich, in der Erdrinde geologische Formationen und Lagerstätten von Bodenschätzen in grösseren Tiefen sichtbar zu machen. Eine andere künftige Anwendung der akustischen Holographie dürfte in der medizinischen Diagnostik zu erwarten sein. Ultraschallwellen haben im Vergleich zu Röntgenstrahlen viel geringere schädliche Einflüsse auf lebendes Gewebe. Die so erhaltene plastische Abbildung der inneren Körperorgane kann deshalb eine wertvolle Ergänzung zur Rönt-

gendiagnostik werden.

Eine sehr vielversprechende Applikation der Holographie liegt in der holographischen Interferometrie. Durch die Integrations-eigenschaften optischer Speichermedien ist es möglich, in einem Hologramm durch Mehrfachbelichtung mehrere kohärente Wellenfronten beliebiger Gestalt zu speichern, die zu verschiedenen Zeiten unter verschiedenen Bedingungen auftreten. Bei der Wiedergabe werden alle diese Wellenfronten gleichzeitig rekonstruiert und interferieren miteinander. Daraus ergeben sich interessante Aspekte für die Präzisionsmesstechnik. Kleine Deformationen zwischen Doppelbelichtungen, wie Verschiebungen, Schwingungen und Brechungsindexänderungen, lassen sich auf diese Weise sehr genau bestimmen.

Die holographische Interferometrie wird in der Messtechnik sehr an Bedeutung gewinnen und Messprobleme bewältigen, die mit konventionellen Methoden kaum lösbar wären. Auch in der Strömungsmechanik lassen sich Druckwellen interferometrisch darstellen und vermessen. Durch Druckänderungen treten Variationen des Brechungsindex auf, welche in zwei aufeinanderfolgenden Momenten auf dem gleichen Hologramm festgehalten werden können.

V. Automatische Formerkennung

Der optischen Formerkennung und automatischen Analyse wurde in den letzten Jahren grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Optische Filtrier- und Korrelationsmethoden werden auf ihre Anwendbarkeit untersucht. Auch die photo-elektrische Abtastung des Fraunhofer-Spektrums mit anschliessender Auswertung, z.B. im Computer, wird sich noch weiter entwickeln.

Allgemein muss aber festgestellt werden, dass die Konstruktion eines automatischen Formerkennungsgerätes sehr stark von der spezifischen Anwendung abhängen wird. Es wird aber nicht leicht sein, den Erkennungssinn des Menschen durch ein optisches Gerät zu ersetzen. Viel werden wir auch vom Menschen lernen müssen, bevor wir die automatischen Erkennungssysteme konstruieren. So wird das Auge zuerst eine Vorlage nach den gesuchten oder ähnlichen Objekten abtasten und erst nachher Details untersuchen.

Bereits gibt es verschiedene optische Filtriermethoden (kohärent und inkohärent). Die optische Filtrierertechnik ist aber noch im Entwicklungsstadium begriffen, doch dürfen wir in den nächsten Jahren mit neuen praktischen Anwendungen rechnen.

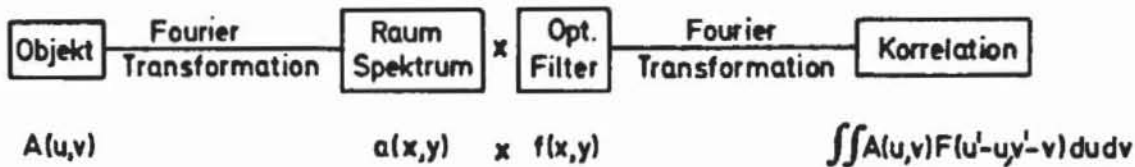


Abbildung 5 Kohärente optische Filtrierertechnik

Das Prinzip einer kohärenten optischen Filtriermethode ist in Abbildung 5 wiedergegeben. Das Objekt wird mit kohärentem Licht (Laser) beleuchtet, und in der Brennebene einer Linse erscheint die zweidimensionale Fourier-Transformation. Bei der kohärenten optischen Filtrierertechnik wird ein komplexes optisches Filter in die Spektrumsebene gebracht. Durch nochmalige Fourier-Transformation vom Produkt des Spektrums mit der Filterfunktion erhalten wir in der Bildebene eine Korrelationsfunktion vom Objekt mit der Referenzvorlage von der das Filter hergestellt wurde. Bei einer Übereinstimmung erscheint ein maximales Signal dort, wo ohne Filter die Abbildung des Objektes erscheinen würde.

In absehbarer Zeit sollten sich Anwendungen auf dem Gebiet der automatischen Schrift- und Zeichenerkennung einbürgern. Noch müssen weitere Studien in Angriff genommen werden, um möglicherweise auch zu teilweise kohärenten Zeichenerkennungsmethoden zu gelangen.

Die elektro-optische Formerkennung wird für gewisse Applikationen Zukunft haben. Eine Methode, die wir am Institut für Technische Physik der ETH in Zürich entwickeln, sei hier kurz erwähnt. In diesem Zusammenhang soll nur die Methode

und keine detaillierte Beschreibung zur Lösung dieses speziellen Problems angegeben werden.



Abbildung 6 Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Emulsionsprobe

Die Abbildung 6 zeigt eine elektronenmikroskopische Aufnahme einer speziell präparierten Emulsionsprobe, welche zur Beurteilung der photographischen Schicht herangezogen werden kann. Je nach den Fällungsbedingungen treten Gemische der verschiedenen Kristallformen aus Kuben, Oktaedern sowie dünnen dreieckigen oder sechseckigen Plättchen auf. Da die Kristalle stets mit einer Seitenfläche auf der Substratebene aufliegen, erscheinen die Projektionen als Quadrate, Rhomben, Dreiecke oder Sechsecke. Zur statistischen Auswertung sollte eine grosse Zahl dieser Vorlagen untersucht werden, wozu eine automatische Erkennungsmethode als zweckmässig erscheint. Es handelt sich hier also um eine eigentliche automatische Formerkennung, welche die Einteilung der Körner in die vier Gruppen anstrebt.

Bekanntlich haben wir die nullte Ordnung im Spektrum immer auf der optischen Achse zentriert, und die Intensität im Zentrum ist proportional zur Fläche des Objektes und gibt somit ein Mass für die Grössenbestimmung. Auch ist die Intensitätsverteilung im Fraunhofer'schen Spektrum von der Position des Objektes unabhängig. Der Grund der dreizähligen Symmetrie des

Spektrums des Dreiecks wird in einer sich in Vorbereitung befindlichen Veröffentlichung erläutert werden.

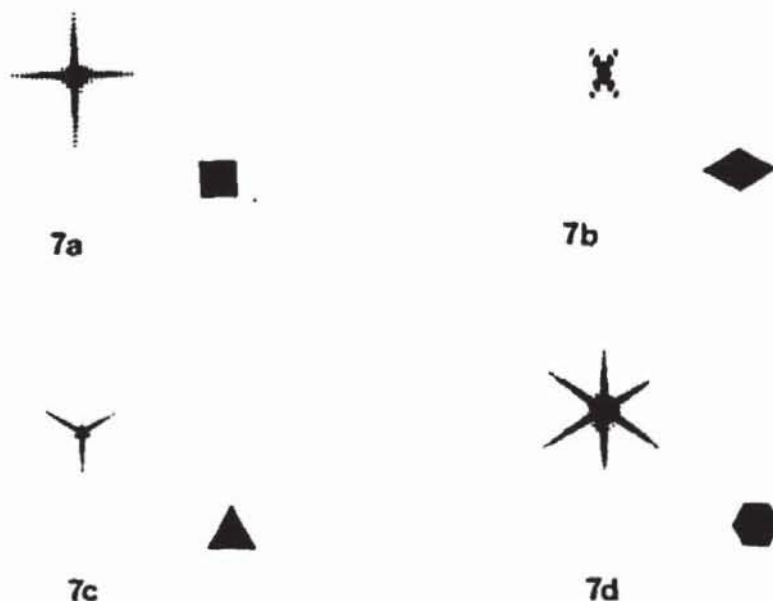
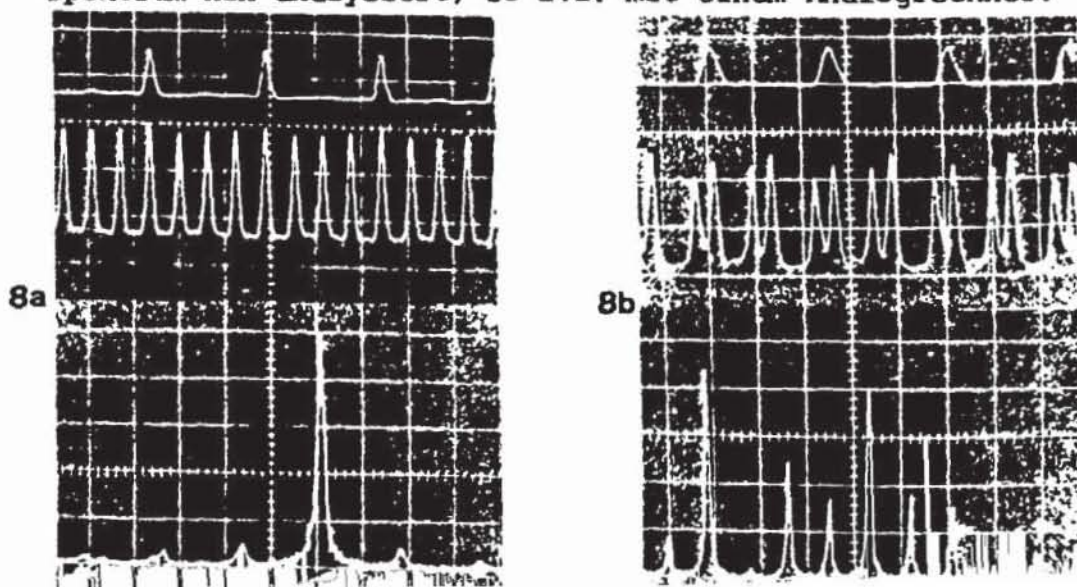


Abbildung 7 Raumfrequenzspektren der vier Grundfiguren
7a) Quadrat, 7b) Rhombus, 7c) Dreieck,
7d) Sechseck

Da sich die Symmetrie der Objekte der vier Gruppen im Beugungsbild deutlich unterscheidet, wie aus Abbildung 7 zu ersehen ist, ist es naheliegend das Spektrum photo-elektrisch, beispielsweise mit Hilfe eines rotierenden Sektors vor der Photokathode eines Photomultipliers, abzutasten. Die so erhaltene Zeitfunktion wird dann elektrisch auf ihr Frequenzspektrum hin analysiert, so z.B. mit einem Analogrechner.



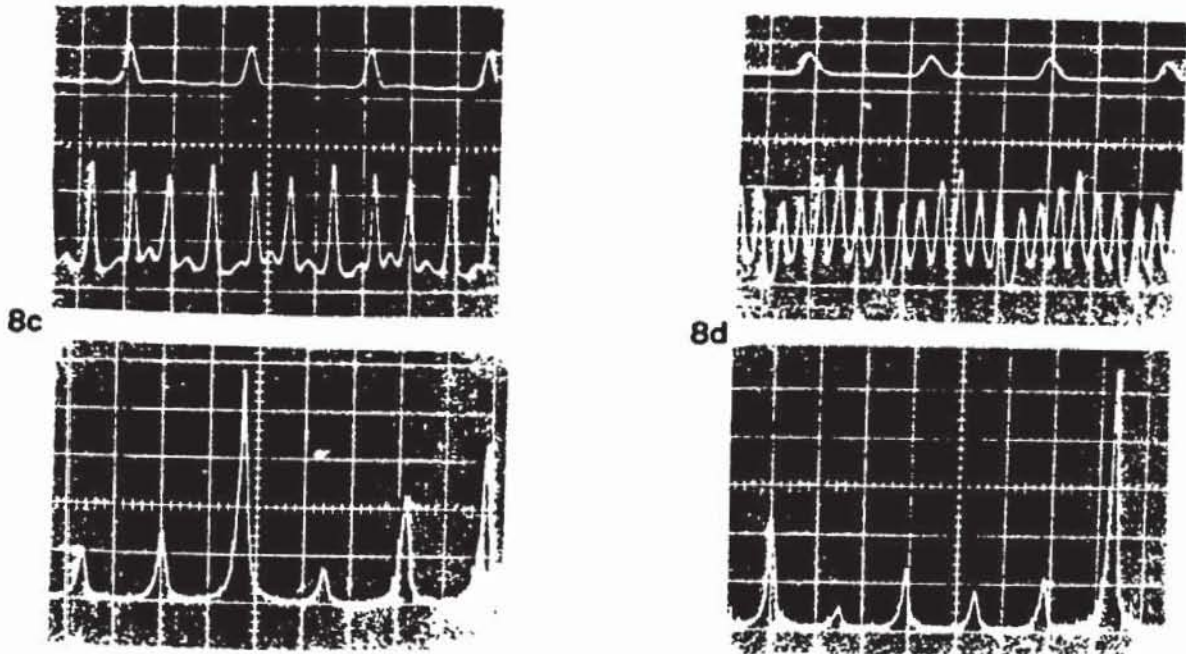


Abbildung 8 Zeitfunktionen und Zeitfrequenzspektren der vier Figurenklassen
8a) Quadrat, 8b) Rhombus, 8c) Dreieck,
8d) Sechseck

In Abbildung 8 sehen wir die durch den rotierenden Abtastspalt erhaltenen Zeitfunktionen und die dazugehörigen Zeitfrequenzspektren.

Die Position der Grundfrequenz ist in den Abbildungen angedeutet. Durch entsprechende Auswertung der photo-elektrischen Signale mit dem Analogrechner lassen sich zusammengesetzte Objekte in einem begrenzten Objektfeld identifizieren. Dies ist nur ein Beispiel der möglichen automatischen elektro-optischen Formerkennung. In nächster Zukunft werden vermehrt Kombinationen zwischen der modernen Optik und der Elektronik sowie auch der Präzisionsmechanik zu erwarten sein. Auch wird der Einsatz von Computern für messtechnische Aufgaben noch aktueller.

Dr. Hans Tiziani, dipl. Ing. wurde am 1. Juli 1936 in St. Gallen/Schweiz geboren. Nach der Berufslehre in Optik und einer Zusatzlehre in Feinmechanik bei der Firma Wild, Heerbrugg, immatrikulierte er am Abendtechnikum St. Gallen, wo er 1960 mit dem Diplom eines Maschinen-Ingenieurs abschloss. Die Arbeitsgebiete bei der Firma Wild während und nach dem Abendstudium umfassten Montage, Arbeitsvorbereitung und Betriebsorganisation. Hierauf folgte ein einjähriger Aufenthalt in der gleichen Firma in Paris. 1961 nahm er das Studium an der "Ecole Supérieure d'Optique" in Paris auf, welches 1963 mit dem Diplom eines Optik-Ingenieurs abgeschlossen wurde.

Von 1964 bis 1967 war er bei Herrn Professor H.H. Hopkins am "Imperial College London" als Assistent tätig, wo ihm 1967 das Diplom "D.I.C." und die Doktorwürde verliehen wurde (PH.D.). Die Dissertation behandelte das Thema: "Some factors affecting image quality when using highly coherent light". 1967 war Dr. Tiziani technischer Berater bei IBM in San Jose, Kalifornien, USA, und befasste sich dort mit Problemen der Lichtablenkung für die Informationsspeicherung. Gleichzeitig wurde ihm die Durchführung des Sommerkurses anvertraut. Seit 1968 beschäftigt er sich mit dem Aufbau einer optischen Gruppe am Institut für Technische Physik der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich/Schweiz.