

Kratzhologramme sind die wahren Weißlichthologramme

E.Frins*, B.Hils, W.Dultz, D.Tierney**, H.Schmitzer**

Universidad de la República, Uruguay[†], Xavier Univ. Cincinnati^{**}, Univ. Frankfurt(Main)

requalivahanus(affenschaukel)t-online.de

Kratzhologramme können als der Grenzfall $\vec{k} \rightarrow \infty$ der geometrische Optik beschrieben werden, in dem sich Photonen wie Sandkörner verhalten. Wir zeigen, daß sich Kratzhologramme prinzipiell durch Weißlichtinterferenz erzeugen und auslesen lassen.

Kratzhologramme bestehen aus einzelnen halbkreisförmigen Kratzern in einer spiegelnden Oberfläche – für jeden Bildpunkt einer – wie sie von jedermann leicht mit einem Stechzirkel auf eine alte CD-Hülle eingeritzt werden können. Abb.1 zeigt als Beispiel ein Fraktur „E“. Betrachtet werden die Hologramme mit einer beliebigen, hellen und halbwegs punktförmigen Lichtquelle. Obwohl Weatstone sie bereits 1838 beschrieb [1], wurden Kratzhologramme erst in den neunziger Jahren durch Arbeiten von Beaty [2] bekannt, ohne aber je die Popularität der Gabor-Hologramme zu erreichen. In dieser Arbeit wollen wir begründen, warum wir Kratzhologramme für echte Weißlichthologramme halten.



Abb.1 Kratzhologramm „E“ im Sonnenlicht

Trifft ein Lichtstrahl auf einen feinen Faden, einen Draht oder einen Kratzer so wird er gebeugt. In einfachster Betrachtungsweise bleibt die Impulskomponente \vec{k}_{\parallel} des Strahls wegen der Homogenität des Raumes parallel zum Kratzer erhalten, während die Komponente \vec{k}_{\perp} ein δ -Potential fühlt und daher auf einer Streuscheibe vom Radius \vec{k}_{\perp} in alle Richtungen senkrecht zum Kratzer verteilt wird. Zusammen ergeben \vec{k}_{\parallel} und die Streuscheibe den bekannten Beugungskegel Abb2, bei dem das Licht entlang einer trichterförmigen Fläche

mit dem Kratzer als Achse verteilt wird.

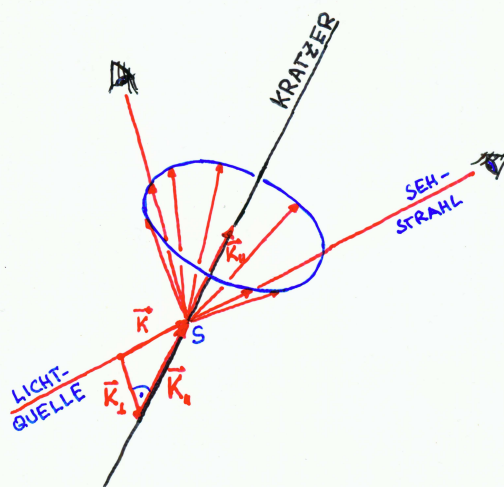


Abb.2 Geometrie der Lichtstreuung an einem Kratzer

Diese Erklärung, die auf der ersten Bornschen Näherung mit der Fouriertransformierten des Wechselwirkungspotentials zwischen Lichtstrahl und Kratzer beruht, gilt auch für den Fall, daß Sandkörner auf einen schräg im Raum stehenden Draht fallen. Um die nullte Ordnung zu reduzieren, verwandten wir einen schräg stehenden Spalt (Babinetsches Prinzip komplementärer Blenden!) in einem Sandstrahlgerät und fanden einen entsprechenden Beugungskegel Abb.3. Als „Photoplatte“ diente



Abb.3 Sandstrahl am schräg stehenden Spalt. Der weiße Fleck in der Mitte des Bogens ist die nullte Ordnung, die ungebeugt durch den 1,57 mm breiten Spalt geht

ein lackiertes Blech. Die Achse des Kegels Abb.2 entspricht dem Spalt und schneidet die Platte etwas unterhalb des oberen Bildrandes im Zentrum des Bogens. Es ist bemerkens-

wert, daß man die Wellentheorie zur Erklärung des Kratzhologramms nicht heranziehen muß!

Üblicherweise werden Kratzhologramme in Reflexion betrachtet, da dann nur ein kleiner Teil des ungebeugten Lichtes ins Auge fällt und weniger stört. Wir nehmen im Folgenden an, daß das Licht parallel zur Mittelsenkrechten des kreisförmigen Kratzers einfällt, Abb.4. Für ein kurzes, beugendes Kreissegment entartet der Konus in Abb.2, zur Streuscheibe in Abb.4 und das Auge (im Unendlichen) beobachtet zwei helle Streupunkte S_R und S_V auf dem Kratzer, deren Verbindungslinie durch den Kreismittelpunkt M geht. Alle Sehstrahlen der Streupunkte des kreisförmigen Kratzers schneiden die Mittelsenkrechte des Kreises und bilden somit eine Kaustik. Diese Schnittpunkte gehören zu der reellen, bzw. virtuelle Bildpunktmenge R, V die sich jeweils dem oberen bzw. dem unteren Halbkreis zuordnen lassen; sie sind die Poissonschen Punkte des Kratzers. Bei einem Kratzhologramm mit vielen Bildpunkten bestimmt diese Aufteilung die orthoskopische bzw pseudoskopische Tiefenwahrnehmung des 3-dimensionalen Bildes. Da bei Hologrammbildern die eine oder die andere Tiefenwahrnehmung gewünscht ist, verwendet man nur den oberen oder den unteren Halbkreisbogen. Grund für die Tiefenwahrnehmung des Bildes sind Scheinbewegungen der Bildpunkte bei Verschiebung des Augenstandpunktes. Um die Tiefenverhältnisse der Kratzhologramme zu untersuchen, verwendet man wie - Weatstone - am besten

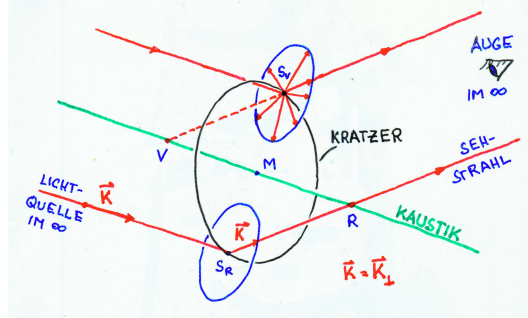


Abb.4 Axiale Beleuchtung eines kreisförmigen Kratzers. Die Punkte R, S_R, V, S_V und M liegen in einer Ebene.

eine größere Anzahl konzentrischer Kratzer, Abb.5, wobei die Kaustik direkt räumlich sichtbar wird, wenn man ein Kratzhologramm nach Abb.5, beidäugig betrachtet.

Wir sehen, daß Kratzhologramme auf der Beugung am Kratzer beruhen. Abb.6 zeigt, daß sich ein kreisförmiger, schmaler Ring durch eine echte Interferenz zwischen zwei „weißen Kugelwellenpaketen“ herstellen läßt. Hier wurde ein Quarzkristallkeil zwischen gekreuzten Polarisatoren mit einer 3mm dicken

Quarzscheibe so überdeckt, daß die Verzögerung in seiner Mitte kompensiert wurde.



Abb.5 Kratzhologramm nach Wheatstone[1]

Als Lichtquelle diente eine Halogenlampe. Die Interferenzfigur entspricht der eines kleinen Ausschnittes aus der Peripherie eines Kreises, der durch die Weißlichtinterferenz zweier unterschiedlicher Kugelwellenpakete entsteht.

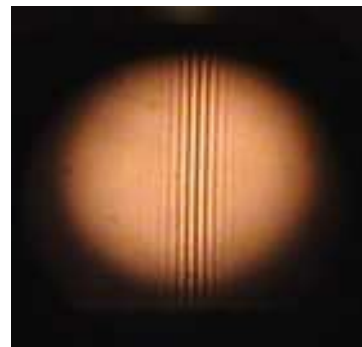


Abb.6 Weißlichtinterferenz am Quarzkeil als Beispiel für die photographische Herstellung eines „Kratzers“

Hätte man echte Weißlichtquellen und Weißlichtsensoren, so würde man nur eine Linie im Zentrum des Gitters sehen. Ein Kratzhologramm läßt sich also wie ein Gabor-Hologramm durch die Interferenz von Objekt- und Referenzwelle herstellen, allerdings mit weißem Licht. Auslesen kann man das Kratzhologramm ebenfalls mit Hilfe einer (weißen) Referenzwelle, so daß damit gezeigt ist, daß das Kratzhologramm der Grenzfall eines Gabor-Hologramms mit weißem Licht ist.

Danksagung

H.Schmitzer was supported by the John Hauck Foundation. E.Frins bedankt sich bei CSIC und PEDECIBA in Uruguay. Wir danken den Tagungsteilnehmern für die Ehre eines zweiten Preises im Posterwettbewerb.

[1] Ch.Wheatstone; Phil.Trans. §8 S.371-394 (1838) oder: Beiträge zur Physiologie der Gesichtswahrnehmung; in M.von Rohr; Oswalds Klassiker Nr.168 S.15 mit zwei Tafeln (Abb.10) Leipzig 1908;

[2] William Beaty; Hand-Drawn Holograms, Drawing Holograms by Hand, Internetz