

Technische Optik 05

1 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Gegen das Wellenmodell des Lichts spricht eigentlich eine wichtige Beobachtung:

Ein Lichtstrahl breitet sich geradlinig aus.

Deshalb stellte sich **Isaac Newton** (1643 – 1727) vor, dass Licht aus schnell geradlinig fliegenden Teilchen bestehen und die Farben des Lichts durch Teilchen verschiedener Masse gebildet werden.

Der niederländische Physiker **Christiaan Huygens** (1629 – 1695) ließ diese Tatsache als Beweis für die Teilchennatur und Widerlegung der Wellennatur nicht gelten und gab eine Begründung, wie auch Wellen eine geradlinige Ausbreitung zeigen können.

Wellen haben den großen Vorteil, die fehlende gegenseitige Beeinflussung von sich kreuzenden Strahlen begreifbar zu machen. (Seit meiner Kindheit möchte ich die Messempfindlichkeit steigern, damit die Beeinflussung von sich kreuzenden Strahlen messbar wird ...)



Technische Optik 05

2 von 29

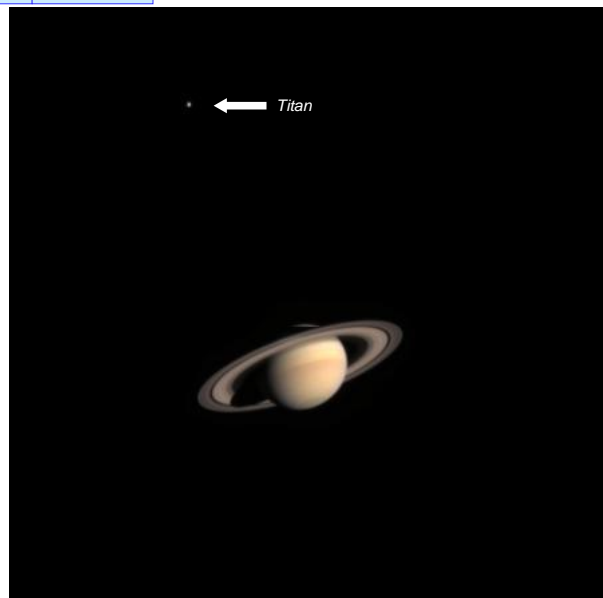
Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Huygens konstruierte eine Linsen-Schleif-Maschine und baute sich eigene Linsen-Fernrohre, die besten seiner Zeit.

Damit entdeckte er den Saturnmond Titan und identifizierte die Ringe dieses rätselhaften und schönen Planeten. Er erkannte sogar die Abplattung durch die schnelle Rotation und leitete die richtige Formel für die Zentrifugalkraft ab.

Bis heute ist nicht geklärt, wie die Ringe entstanden sind und wie alt sie sind. Die Lücken stehen mit den vielen kleineren Monden in Zusammenhang.



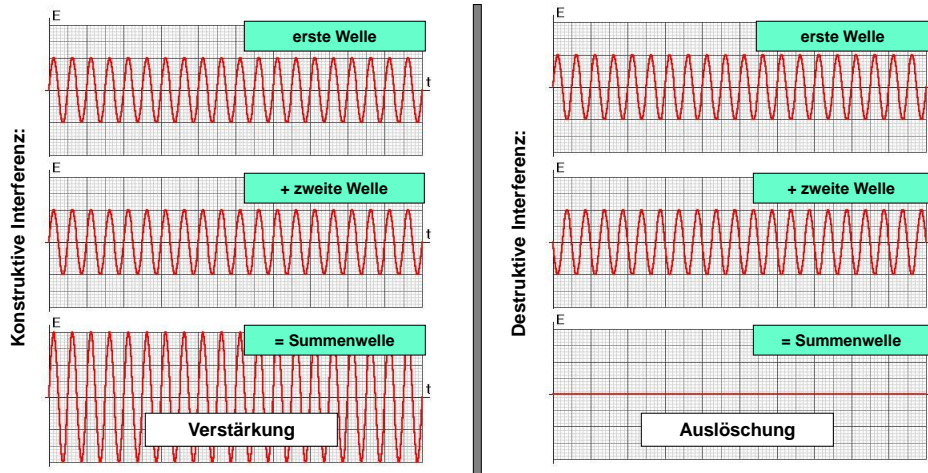
Technische Optik 05

3 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Der Wellencharakter von Licht macht sich in drei Vorgängen besonders bemerkbar. Der erste davon ist die Interferenz. Darunter versteht man die Vorgänge, die bei der Überlagerung von zwei (oder mehreren) kohärenten Wellen entsteht.



Technische Optik 05

4 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Manche behaupten, dass Interferenz nur zwischen Wellen zu beobachten ist, die gleiche Wellenlänge haben. Aber Wellen können auch kohärent sein, wenn ihre Wellenlängen verschieden sind.

Bei der Interferenz zwischen zwei Wellen mit verschiedener Frequenz entsteht eine Schwebung. Die entstehende Feldstärke E als Funktion der Zeit lässt sich durch eine Summe oder als ein Produkt darstellen:

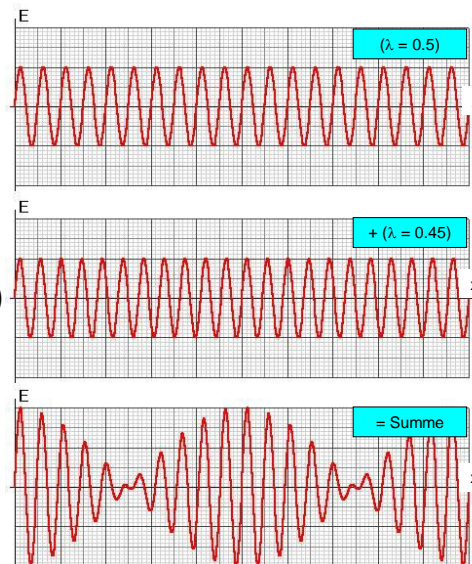
$$E_1(t) = \sin(\omega_1 * t) \quad E_2(t) = \sin(\omega_2 * t)$$

$$E(t) = E_1(t) + E_2(t)$$

$$= \sin(\omega_1 t) + \sin(\omega_2 t)$$

$$= 2 * \sin(\omega * t) * \cos(\Delta\omega * t)$$

$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \quad \Delta\omega = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$$



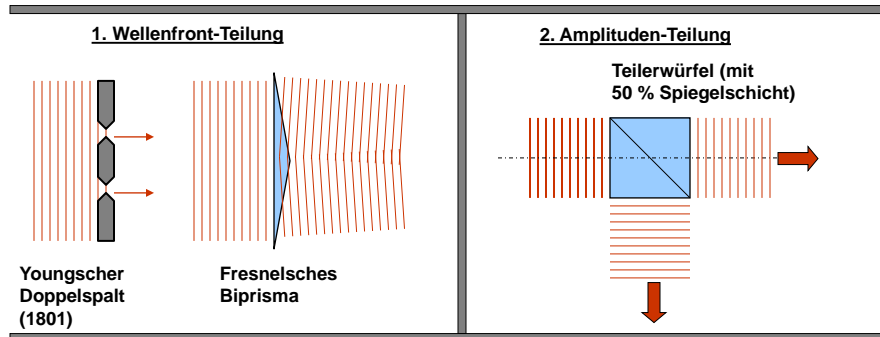
Technische Optik 05

5 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

„Kohärenz“ bedeutet auf Deutsch „Zusammenhang“. Zwei Strahlen sind kohärent, wenn bei ihrer Überlagerung konstruktive und destruktive Interferenz auftreten kann. Licht aus verschiedenen Quellen ist fast immer inkohärent. Es gibt zwei Methoden dafür, aus einem Strahl zwei kohärente zu erhalten:



Bei der Wellenfront-Teilung werden (mindestens) zwei verschiedene Teile der Querschnittsfläche genommen und anschließend überlagert. Die Amplituden-Teilung führt zu einer Zerlegung in zwei Teile an jeder Stelle des Querschnitts.

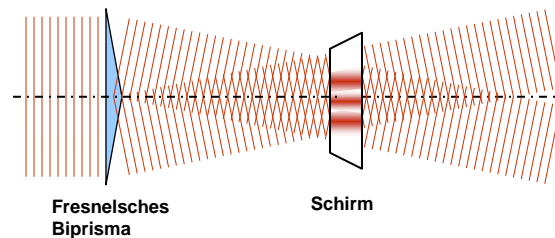
Technische Optik 05

6 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

In der folgenden Darstellung kennzeichnen die roten Linien im Strahl die Positionen, an denen dieselbe Phase zu einem bestimmten Zeitpunkt vorliegt. Lassen Sie uns annehmen: Hier liegt das Maximum der Sinus-Funktion. Dann liegt in der Mitte dazwischen das Minimum. Wenn sich nun zwei kohärente Strahlen mit geringem Winkel durchdringen, entsteht ein Muster, das wir nun interpretieren wollen.



Die kohärenten Strahlen zeigen im Bereich, wo sie sich überlagern, ein Muster: Auf der optischen Achse wechseln sich Maxima genauso ab wie links vom Prisma (konstruktive Interferenz). In gewissem Abstand von ihr treten aber Bereiche auf, wo mitten zwischen zwei Maxima von der einen Welle ein Maximum der anderen Welle liegt. Hier findet destruktive Interferenz statt, die auf einem Schirm beobachtet werden kann.

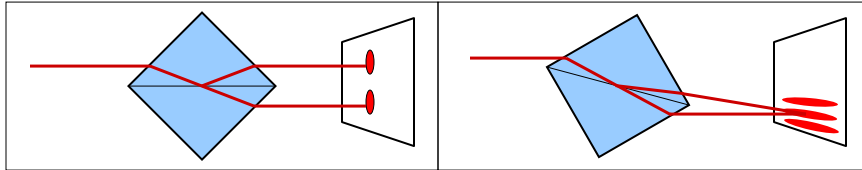
Technische Optik 05

7 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Für Interferenz-Experimente mit Lasern sind häufig Teilerwürfel im Labor verfügbar. Dann kann man folgenden Aufbau versuchen, um Interferenzstreifen sichtbar zu machen:



Auf einem Schirm beobachtet man zwei übereinander liegende Lichtflecke. Sie entstehen aus der Reflexion an der 50%-Teilerschicht im Würfel und aus der durchgelassenen Strahlung.

Der untere der beiden Strahlen bleibt horizontal, auch wenn wir den Würfel um eine Achse senkrecht zur Zeichenebene drehen; ganz anders verhält sich der obere, weil die reflektierende Ebene ihre Lage ändert. Dann wird er nicht unter ϵ_1' auf die zweite Oberfläche einfallen und daher der austretende Strahl nicht parallel zum einfallenden sein.

Dadurch lassen sich die beiden Strahlen auf dem Schirm übereinander legen. Sie bilden zwei kohärente Strahlen, die mit einem Winkelfehler überlagert werden. Das Ergebnis sieht ähnlich aus wie beim Fresnelschen Biprisma.

Technische Optik 05

8 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Die dunklen Streifen entstehen durch destruktive Interferenz. Der Streifenabstand d hängt von der Wellenlänge des Lichts und dem Winkel ab, unter dem die beiden Strahlen überlagert werden.



Aufnahme: U. Sowada, Mai 2009

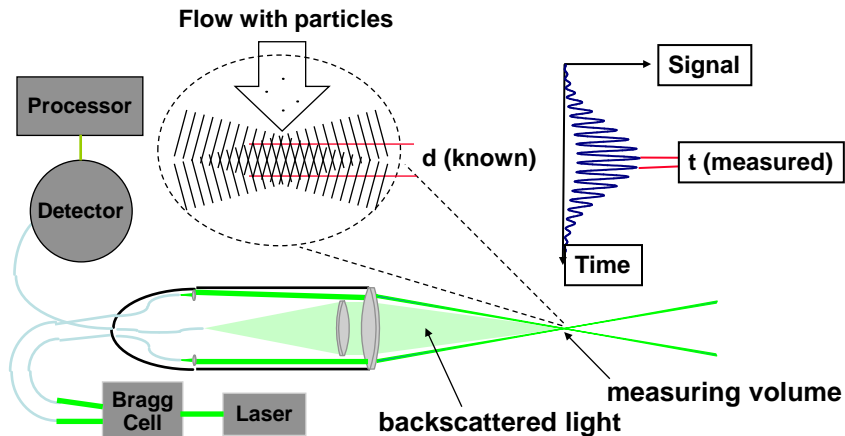
Technische Optik 05

9 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Wenn durch das Streifenmuster ein Staubeilchen fliegt und man das zurück gestreute Licht einfängt, entsteht ein zeitlich modulierte Signal, dessen Frequenz proportional zur Strömungsgeschwindigkeit ist: Laser-Doppler-Anemometrie (LDA).



www.dantec-dynamics.com

Technische Optik 05

10 von 29

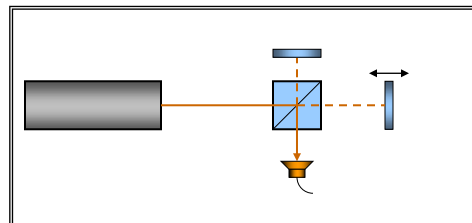
Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

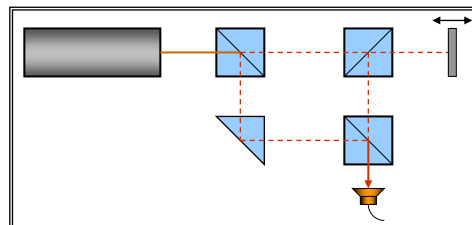
Weil die Wellenlängen von Licht sehr kurz sind, erfordern Messgeräte zur Beobachtung von Interferenzerscheinungen einen sehr hohen Grad an mechanischer Stabilität. Diese Messgeräte nennt man Interferometer.

1. Michelson-Interferometer

Ein Teilerwürfel spaltet den Strahl auf. Die Teilstrahlen werden an demselben Teilerwürfel wieder vereinigt.

2. Mach-Zehnder-Interferometer

Die Strahlwege nach der Aufspaltung werden nur einmal durchlaufen. Dieser Typ Interferometer wird im Laser-Vibrometer benutzt, weil er einen wichtigen Eingriff in den Strahlengang erlaubt.



Technische Optik 05

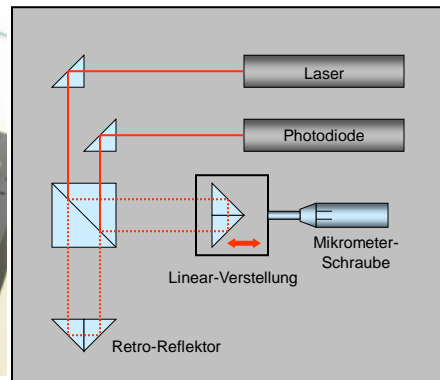
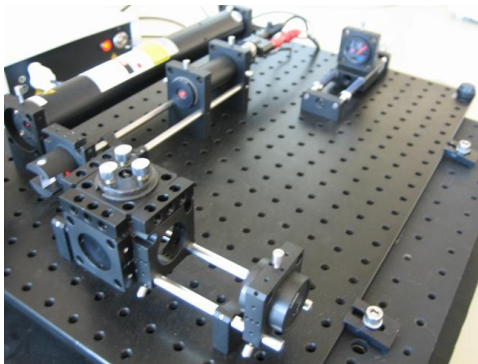
11 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Es hat Vorteile, das Michelson-Interferometer mit zwei Retro-Reflektoren zu betreiben. Wenn der eine fest steht und der andere kontrolliert bewegt wird, ist es möglich, durch Abzählen der Streifendurchgänge die Wellenlänge zu messen.

Dies ist die Funktion des "wavemeters" (Burleigh Instruments).



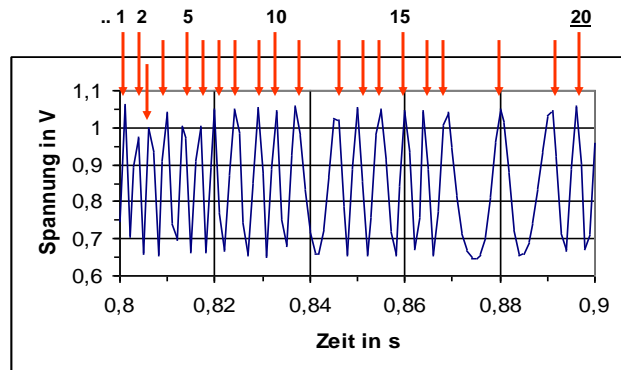
Technische Optik 05

12 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Gibt man das Photodioden-Signal nach Wandlung in eine Spannung (Transimpedanz-Verstärker) auf ein Oszilloskop, dann sind die Streifendurchgänge sichtbar.



In dem Ausschnitt der Dauer einer Zehntel Sekunde sind 20 Streifendurchgänge zu erkennen.- Der starke Untergrund kommt von der Umgebungshelligkeit.

Technische Optik 05

13 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	



Michelson und Einstein

Etwa 20 km südlich von Hannover ist **Geo600** aufgebaut, mit 600 m Armlänge ein recht großes Michelson-Interferometer. Die Aufgabe besteht im Nachweis von Gravitationswellen, deren Existenz Einsteins Theorie erlaubt.



Die Existenz von Gravitationswellen ist bisher nicht direkt nachgewiesen.

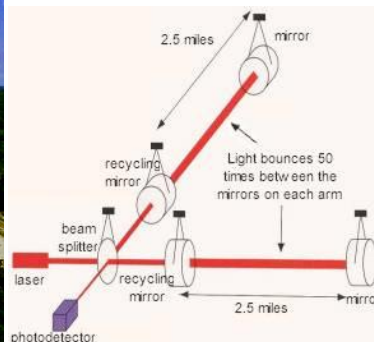
Technische Optik 05

14 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

LIGO (CalTech, MIT, NSF) ist das größte Michelson-Interferometer der Welt mit Armlängen von 4 km. Es steht in Livingston / Louisiana. In den Armen hängen teildurchlässige Spiegel, die den Strahl 50 mal umlaufen lassen, bis er aus einem Arm heraus kommt: $L_{\text{eff}} = 200 \text{ km}$.



Eine gleichartige Anlage ist in Hanford im Staat Washington am Pazifik aufgebaut worden. Bisher sind keine sicheren Signale als Ergebnis von Gravitationswellen nachgewiesen worden.

Technische Optik 05

15 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

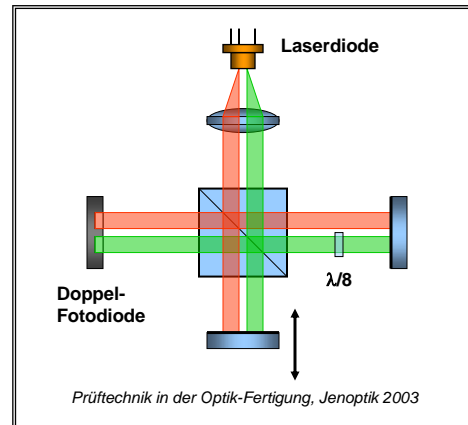
1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Laserinterferometrische Feintaster werden in der Messtechnik eingesetzt. Auch sie beruhen auf dem Prinzip des Michelson-Interferometers.

Wegen der kurzen Wellenlänge des Lichts sind Auflösungen im Nanometer-Bereich erreichbar. Es werden zwei verschiedene Bauformen eingesetzt.

1.) Doppelstrahl mit Richtungserkennung

Bei zweifachem Durchgang durch ein Plättchen mit einer Phasenverschiebung um $\lambda/8$ werden die Streifen der einen Hälfte des Strahls gegen die andere Hälfte um $1/4$ Wellenlänge verschoben. Dadurch wird die Richtung der Bewegung des beweglichen Spiegels (unten) erkennbar.



Technische Optik 05

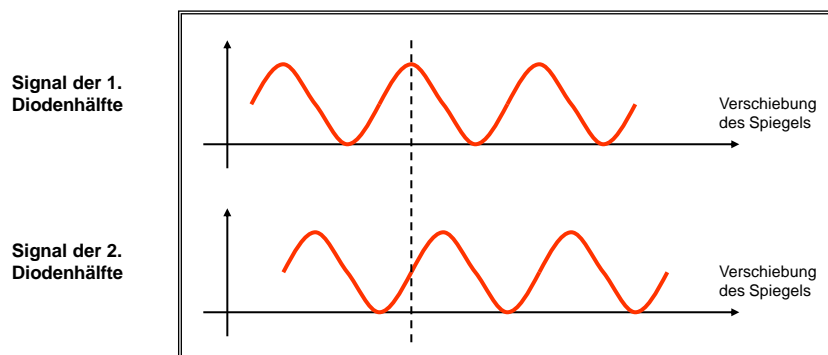
16 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

An den beiden Diodenhälften der Doppel-Diode werden um $1/4$ Wellenlänge (= 90 Grad in der Phase) gegeneinander verschobene Interferenzstreifen nachgewiesen.

Sei die Anzeige der ersten Diodenhälfte maximal; durch Bewegung des Spiegels nach links fällt die 1. Helligkeit ab, genau wie auch die 2. Helligkeit; bei Bewegung nach rechts fällt die 1. Helligkeit ab, aber die 2. steigt.



Technische Optik 05

17 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

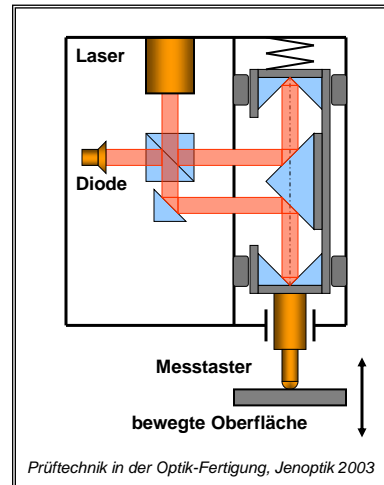
1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

2.) Empfindlichkeits-Verdoppelung

Ein aufgeweiteter Strahl fällt auf den Teilerwürfel.

Die Bewegung des Messtasters bewirkt die Verlängerung des einen Interferenzweges und eine Verkürzung des anderen. Dadurch findet ein Streifendurchgang schon bei einer Bewegung des Messtasters um $1/4$ Wellenlänge statt.

Mit diesem Verfahren werden relative Messungenauigkeiten von 1 nm und eine garantierte Fehlergrenze von unter 20 nm erreicht.



Technische Optik 05

18 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Während das Michelson-Interferometer für Messungen der Abstands- oder Längenänderung sehr gut geeignet ist, setzt man das Mach-Zehnder-Interferometer beispielsweise im Laser-Vibrometer für Schwingungsuntersuchungen ein. Es gibt zwei Betriebsweisen: Analyse und Flächenscan.

Bei Analyse wird die Schwingung der angestrahlten Oberfläche an einem Punkt gemessen und durch schnelle Fourier-Transformation (FFT) das Spektrum ermittelt.

Beim Flächenscan wird ein Frequenzband (Mittenfrequenz +/- Bandbreite) festgelegt und die Bewegungsamplitude an mehreren Punkten gemessen werden. Durch bewegliche Spiegel wird der Strahl nacheinander auf verschiedene Punkte der Oberfläche gelenkt, um dort die Schwingungsbewegung zu erfassen.

Technische Optik 05

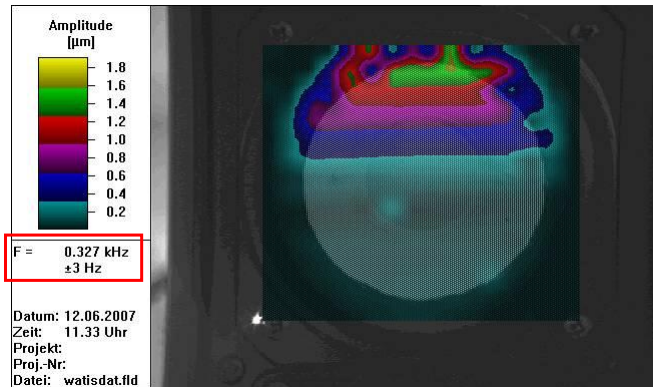
19 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Ein Flächenscan an einem Lautsprecher, auf den mit einem Sinusgenerator eine Wechselspannung mit $f = 327$ Hz gegeben wurde, ergab das folgende Messergebnis:

Dem Bild des Lautsprechers mit seiner Membran (weiß) ist in „chromatischen Koordinaten“ die Amplitude als Funktion des Orts überlagert. Von oben bis zur Mitte der Membran scheint die Amplitude zu fallen, und von da an scheint sich die Membran gar nicht zu bewegen. Was ist an dieser Messung falsch gelaufen?

**Antwort:**

Die Bandbreite war zu schmal gewählt. Während der Messung verstellte sich beim Aufwärmen der Elektronik im Sinusgenerator die Frequenz etwas, und bei benachbarten Frequenzen gibt es keine Bewegung.

Technische Optik 05

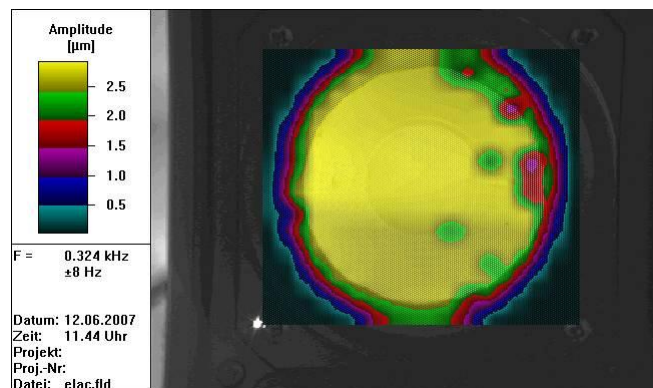
20 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Durch ein breiteres Band und mit warmgelaufenem Sinus-Generator ist über den ganzen Bereich eine konstante Amplitude zu erkennen. Das sollte man für einen konventionellen Lautsprecher erwarten.

Ein solches Messgerät, durch PC bedient und mit allen Speicher- und Bearbeitungs-Möglichkeiten ist sehr nützlich. Der Benutzer sollte aber auch stets etwas von der Funktion kennen, um die Möglichkeiten des Geräts vollständig ausschöpfen zu können.



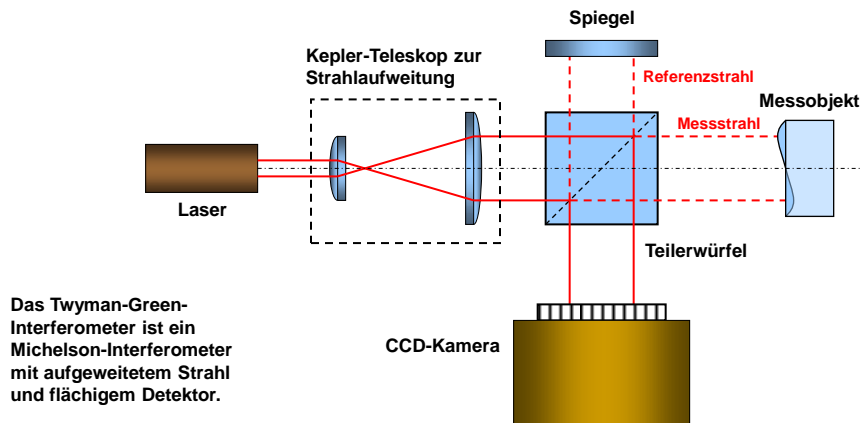
Technische Optik 05

21 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Beim Bild auf der vorigen Seite wurde die Bewegung der Oberfläche durch nacheinander ablaufende punktweise Abtastung ermittelt. Die Form selbst interferometrisch zu bestimmen gelingt mit einem flächig erfassenden Aufbau. Je nachdem, ob die Oberfläche glatt oder rau ist, wendet man ein flächig erfassendes Interferometer an, z. B. das Twyman-Green-Interferometer:



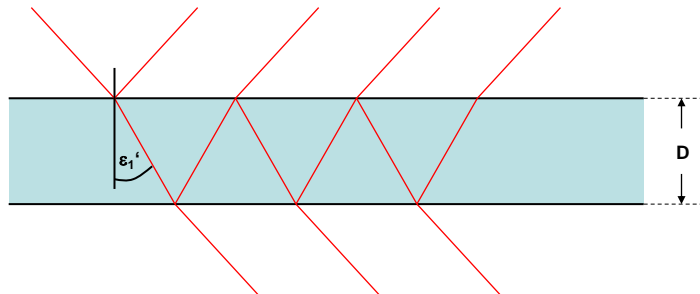
Technische Optik 05

22 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Betrachten wir eine planparallele Platte der Dicke D und vom Brechungsindex n :



Für einen hindurchgehenden Lichtstrahl können wir relativ zu dem Phasenunterschied δ eine Zahl m definieren:

$$m = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{2n \cdot D \cdot \cos(\varepsilon_1')}{\lambda_0}$$

Wenn m ganzzahlig ist ($m = 1, 2, 3, \dots$), treten Maxima bei der Überlagerung der durchgelassenen Strahlen auf; wenn m halbzahlig ist ($m = 1/2, 3/2, 5/2, 7/2, \dots$), sind es Minima.

Technische Optik 05

23 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

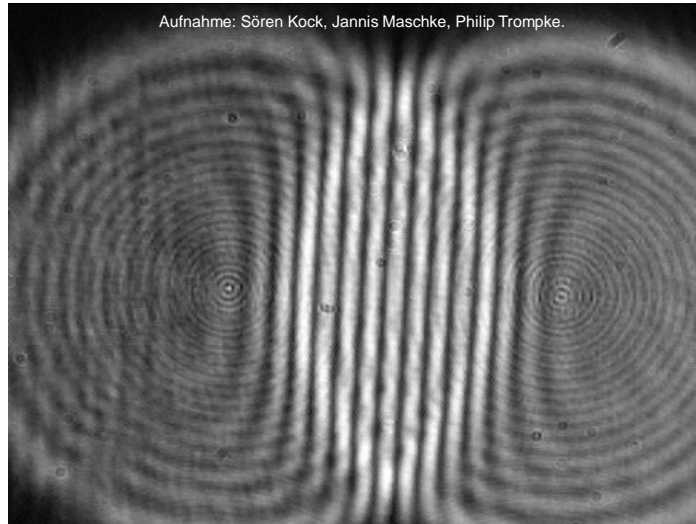
1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Das Bild zeigt im Labor für Technische Optik gemessene Interferenzen an einer Glasplatte.

Der Strahl einer Laserdiode wird durch eine Linse im Abstand der Brennweite parallelisiert und durch eine kreisförmige Blende geschickt.

Anschließend erfolgt eine Reflexion an der Vorder- und an der Rückseite einer etwas keilförmigen Glasplatte, die unter einem Winkel $\varepsilon = 45$ Grad steht.

Die beiden reflektierten Anteile werden auf den CCD-Chip einer Digitalkamera gegeben.



Technische Optik 05

24 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

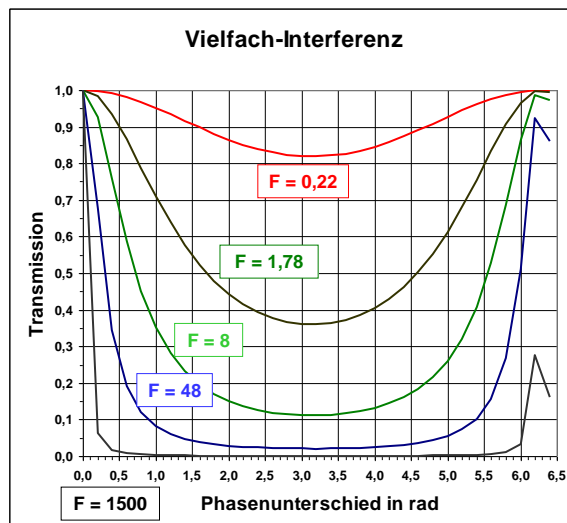
Wenn die Reflektivität der Oberflächen durch eine geeignete Schicht den Reflexionsgrad R erhält, können wir die **Finesse** F definieren:

$$F = \frac{4 \cdot R}{(1 - R)^2}$$

Die durchgelassene (= transmittierte) Leistung beträgt dann:

$$I_t = I_0 \cdot \frac{1}{1 + F \cdot \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}$$

Die transmittierte Leistung als Funktion des Phasenunterschiedes δ zeigt für zunehmende Werte von R (und damit F) immer stärker ausgeprägte Maxima. Ein Gerät mit großem Wert von F nennt man **Fabry-Perot-Interferometer**.



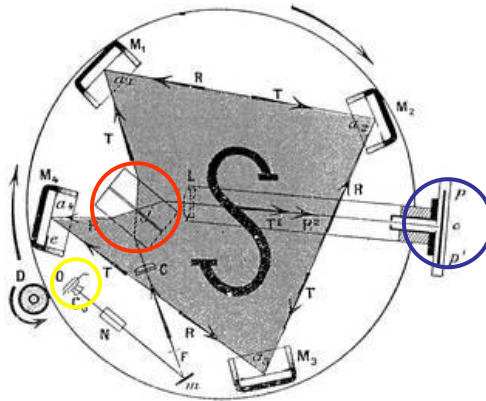
Technische Optik 05

25 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Georges Sagnac (1869 - 1926) schlug 1913 einen neuen Typ von Interferometer vor.



Licht aus einer Quecksilber-Dampf-Lampe wird spektral gefiltert und auf einen Strahlteiler („Amplituden-Teilung“) geschickt.

Dadurch entstehen zwei gegensinnig umlaufende Lichtstrahl-Bündel, die nach Reflexion an den Spiegeln M_1 bis M_4 beim Strahlteiler wieder vereinigen. Das Ergebnis der Interferenz kann bei c beobachtet werden.

Die ganze Kammer kann durch einen Motor in Rotation versetzt werden. Dadurch können die Streifen wandern.

Die Abbildung stammt aus der Original-Veröffentlichung:
G. Sagnac, Compt. Rend. 157 (S. 708 - 710), 1913; Compt. Rend. 157 (S. 1410 - 1413), 1913.

Technische Optik 05

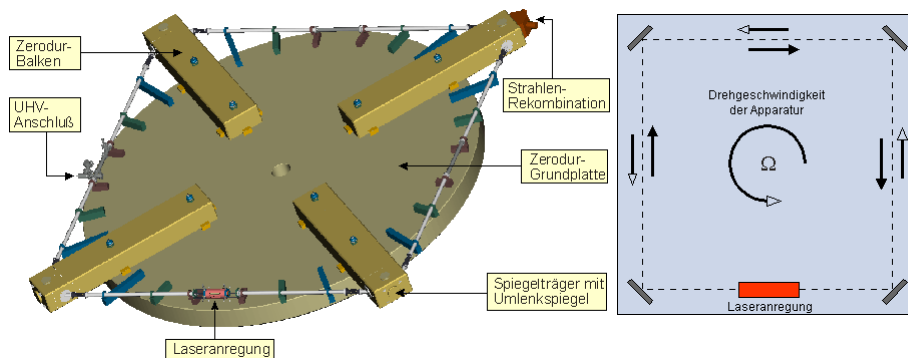
26 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Anwendung des Sagnac-Interferometers („Laser-Kreisel“):

Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie unterhält in Wettzell (Bayern) ein Observatorium. Dazu gehört auch der gegenwärtig größte Laserkreisel der Welt (genannt G-0).



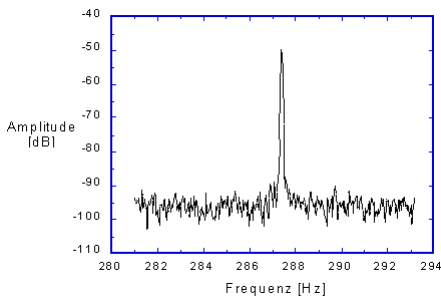
Technische Optik 05

27 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Um die externen Einflüsse so klein wie möglich zu halten, wurde ein in der Temperatur stabilisierter Messraum (unterirdisches Tiefenlabor) gebaut. Das Laser-Interferometer wurde auf einem Block aus Zerodur (Masse 9 t) von 4,25 m Durchmesser und 25 cm Dicke montiert.



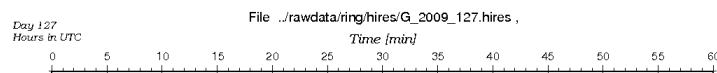
Durch die Rotation der Erde laufen in diesem Sagnac-Interferometer die Interferenzstreifen mit einer Frequenz von 287,3 Hz durch. Das Bild zeigt das Spektrum, das durch FFT aus dem Messergebnis der Intensität als Funktion der Zeit bestimmt wird.

Technische Optik 05

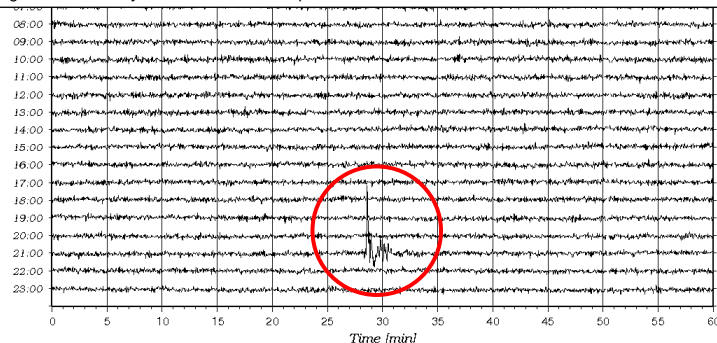
28 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	



Im Internet sind die „Stapelplots“ archiviert, in denen die Frequenz (vertikal) als Funktion der Zeit (horizontal) angezeigt sind. Für den 127. Tag des Jahres 2009 (= 7. Mai) zeigen die Messwerte fast den ganzen Tag eine konstante Frequenz, außer um 21:28 (Greenwich Mean Time GMT; mitteleuropäische Sommerzeit MEZ = GMT + 2h), als eine Änderung der Drehgeschwindigkeit der Erde registriert wird. Zu dieser Zeit fand in Österreich ein Erdbeben der Stärke 4,5 statt. Die Änderung des Massenträgheitsmoments der Erde ließ kurzzeitig die Umdrehungs-Geschwindigkeit schwanken; denn in einem abgeschlossenen System bleibt der Drehimpuls erhalten.



Technische Optik 05

29 von 29

Prof. Dr. Ulrich Sowada
Institut für Mechatronik
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
2.1 Dispersion	2.2 Interferenz	2.3 Beugung	2.4 Polarisation	

Auf Interferenz beruhen auch **Schmalbandfilter**, die zum Beispiel in der Astronomie eingesetzt werden. Sie bestehen aus Klarglas mit einer Abfolge dünner Schichten, die so gestaltet werden können, dass sie nur einen sehr schmalen Wellenlängenbereich durchlassen. Dadurch sind sie für bestimmte Elemente empfindlich.

Dieses Bild zeigt den Lagoon-Nebel mit den Farben Rot, Grün und Blau für Spektrallinien der Elemente Schwefel, Wasserstoff und Sauerstoff.

Der Nebel rechts oben wird von einem heißen Zentralstern mit einem kontinuierlichen Spektrum angeleuchtet wird („Reflexionsnebel“); woraus der Nebel besteht, ist unklar.

Demgegenüber zeigt besonders der linke große Volumenbereiche, in denen einzelne Elemente die ausgesendete Strahlung dominieren; dort leuchten die Atome, aus denen der Nebel besteht.

