

Erzeugung hochfrequent modulierter Lichtimpulse zur
Messung des Frequenzganges von Infrarotdetektoren.

Werner Braun und Horst Röhr

IPP 1/155

August 1975

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

GARCHING BEI MÜNCHEN

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK
GARCHING BEI MÜNCHEN

Erzeugung hochfrequent modulierter Lichtimpulse zur
Messung des Frequenzganges von Infrarotdetektoren.

Werner Braun und Horst Röhr

IPP 1/155

August 1975

*Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und der Europäischen Atomgemeinschaft über die
Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.*

Abstract

By means of a rotating mirror inserted into both branches of an interferometer, which is illuminated by laser light, two monochromatic light beams with different frequencies are produced. The superposition results in a beat signal with well-known degree of modulation. Beat frequencies up to 530 MHz at $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ were achieved. In a first application the frequency response of two high speed Ge : Hg detectors was investigated.

Erzeugung hochfrequent
modulierter Lichtimpulse zur
Messung des Frequenzganges von
Infrarotdetektoren.

Zusammenfassung

Mit Hilfe eines Drehspiegels in den beiden Zweigen eines Interferometers werden aus einem Laserstrahl zwei monochromatische Lichtbündel verschiedener Frequenz erzeugt, deren Überlagerung ein moduliertes Lichtsignal mit bekanntem Modulationsgrad ergibt. Es gelang, bei $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ Modulationsfrequenzen bis zu 530 MHz zu erreichen. Als erste Anwendung wurde das Frequenzverhalten von high-speed Ge : Hg-Detektoren bestimmt.

Die Grundidee der Messung besteht darin, einen Lichtstrahl zu erzeugen, dessen Amplitude mit jeder gewünschten Frequenz in einem konstanten Maße moduliert werden kann. Um von anderen Messungen bei hohen Frequenzen unabhängig zu sein, wird dazu die Interferenz zweier paralleler, monochromatischer Lichtbündel mit verschiedenen Frequenzen ω und $\omega + \Delta\omega$ gewählt.

Erzeugung hochfrequent modulierter Lichtimpulse zur Messung des Frequenzganges von Infrarotdetektoren.

Die Angaben über den Frequenzgang von Infrarotdetektoren sind meist sehr ungenau. Zur Messung von sehr kurzen Impulsen und bei der Anwendung von Homodyn- bzw. Heterodynverfahren benötigt man jedoch eine gute Kenntnis der frequenzabhängigen Empfindlichkeit. Im Prinzip gibt es mehrere Verfahren zur Messung dieses Frequenzganges. Es kann z. B. aus dem Spektrum des Schrotrauschens die Grenzfrequenz bestimmt werden / 1 /. Diese Messung erfordert jedoch im allgemeinen so große Lichtintensitäten, daß die Gefahr der Sättigung besteht. Eine andere Möglichkeit besteht darin, einem Lichtstrahl mit elektro- oder magnetooptischen Methoden eine Modulation aufzuprägen. Der tatsächliche Modulationsgrad muß dabei jedoch mit anderen Verfahren gemessen werden, wodurch zusätzliche Fehlerquellen in die Messung einfließen.

Im Gegensatz dazu wird in der vorliegenden Arbeit ein Verfahren beschrieben, das es gestattet, den Frequenzgang eines Detektors ohne zusätzliche Hilfsmessungen zu ermitteln. Das Meßprinzip einer solchen Apparatur, ihre experimentelle Ausführung und ein Anwendungsbeispiel werden im folgenden beschrieben. Alle Beispiele und Abschätzungen beziehen sich dabei auf $10,6 \mu\text{m}$ Wellenlänge und gelten, entsprechend skaliert, für längere oder kürzere Wellenlängen.

Die Grundidee der Messung beruht darauf, einen Lichtimpuls zu erzeugen, dessen Amplitude mit jeder gewünschten Frequenz in bekanntem Maße moduliert werden kann. Um von anderen Messungen bei hohen Frequenzen unabhängig zu sein, wird dazu die Interferenz zweier paralleler, monochromatischer Lichtbündel mit verschiedenen Frequenzen ω und $\omega + \Delta\omega$ gewählt.

Die Zeitabhängigkeit des elektrischen Feldes der Lichtquellen an einem bestimmten Ort sei

$$E_1 = E_{10} \cos \omega t$$

$$E_2 = E_{20} \cos (\omega + \Delta\omega)t$$

Diese entsprechen den Lichtintensitäten

$$J_1 = \frac{1}{2} E_{10}^2$$

$$J_2 = \frac{1}{2} E_{20}^2$$

Bei Interferenz beider Bündel ergibt sich

$$E = E_1 + E_2 = E_{10} \cos \omega t + E_{20} \cos (\omega + \Delta\omega)t$$

und ein intensitätsproportionaler Detektor liefert einen Fotostrom, der proportional zu E^2 ist:

$$i \sim E^2 = E_{10}^2 \cos^2 \omega t + E_{20}^2 \cos^2 (\omega + \Delta\omega)t + 2 E_{10} E_{20} \cos \omega t \cos (\omega + \Delta\omega)t$$

Die Lichtfrequenz selbst sowie höhere Frequenzen können i. a. vom Detektor nicht aufgelöst werden, so daß eine dies berücksichtigende Mittelung einen Fotostrom ergibt von

$$\bar{i} \sim \frac{1}{2} E_{10}^2 + \frac{1}{2} E_{20}^2 + E_{10} E_{20} \cos \Delta\omega t$$

$$\bar{i} \sim J_1 + J_2 + 2 \sqrt{J_1 \cdot J_2} \cos \Delta\omega t$$

Zwei Bündel mit der gleichen Intensität J ergeben also ein Interferenzsignal, dessen Amplitude mit der Differenzfrequenz $\Delta\omega$ zwischen 0 und $4J$ schwankt (s. Abb. 1, Modulationstiefe als Funktion des Intensitätsverhältnisses).

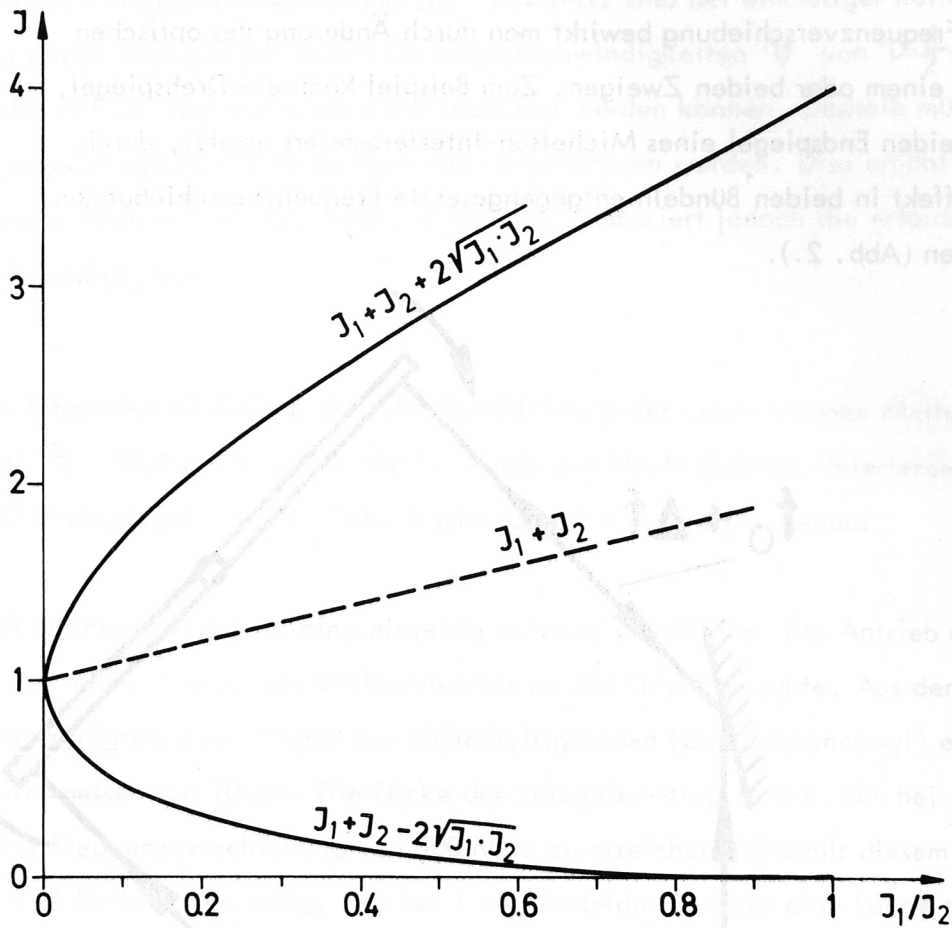


Abb. 1: Der vertikale Abstand der beiden durchgezogenen Kurven ist ein Maß für die Amplitude des mit der Differenzfrequenz modulierten Signals, das bei Mischung zweier kohärenter Lichtbündel verschiedener Frequenzen mit den Intensitäten I_1 und I_2 entsteht.

Das Hauptproblem war die Erzeugung zweier kohärenter Lichtbündel mit einer einstellbaren Differenzfrequenz, wobei für $\lambda = 10 \mu\text{m}$ der interessante Frequenzbereich zwischen 0 und 1000 MHz liegt. Daneben sollte in der vorliegenden Arbeit eine einfache, handliche Ausführung der Apparatur gefunden werden.

Zur Erzeugung zweier kohärenter Lichtbündel bietet sich ein Interferometer an. Die Frequenzverschiebung bewirkt man durch Änderung des optischen Weges in einem oder beiden Zweigen. Zum Beispiel kann ein Drehspiegel, der die beiden Endspiegel eines Michelson-Interferometers ersetzt, durch Dopplereffekt in beiden Bündeln entgegengesetzte Frequenzverschiebungen hervorrufen (Abb. 2.).

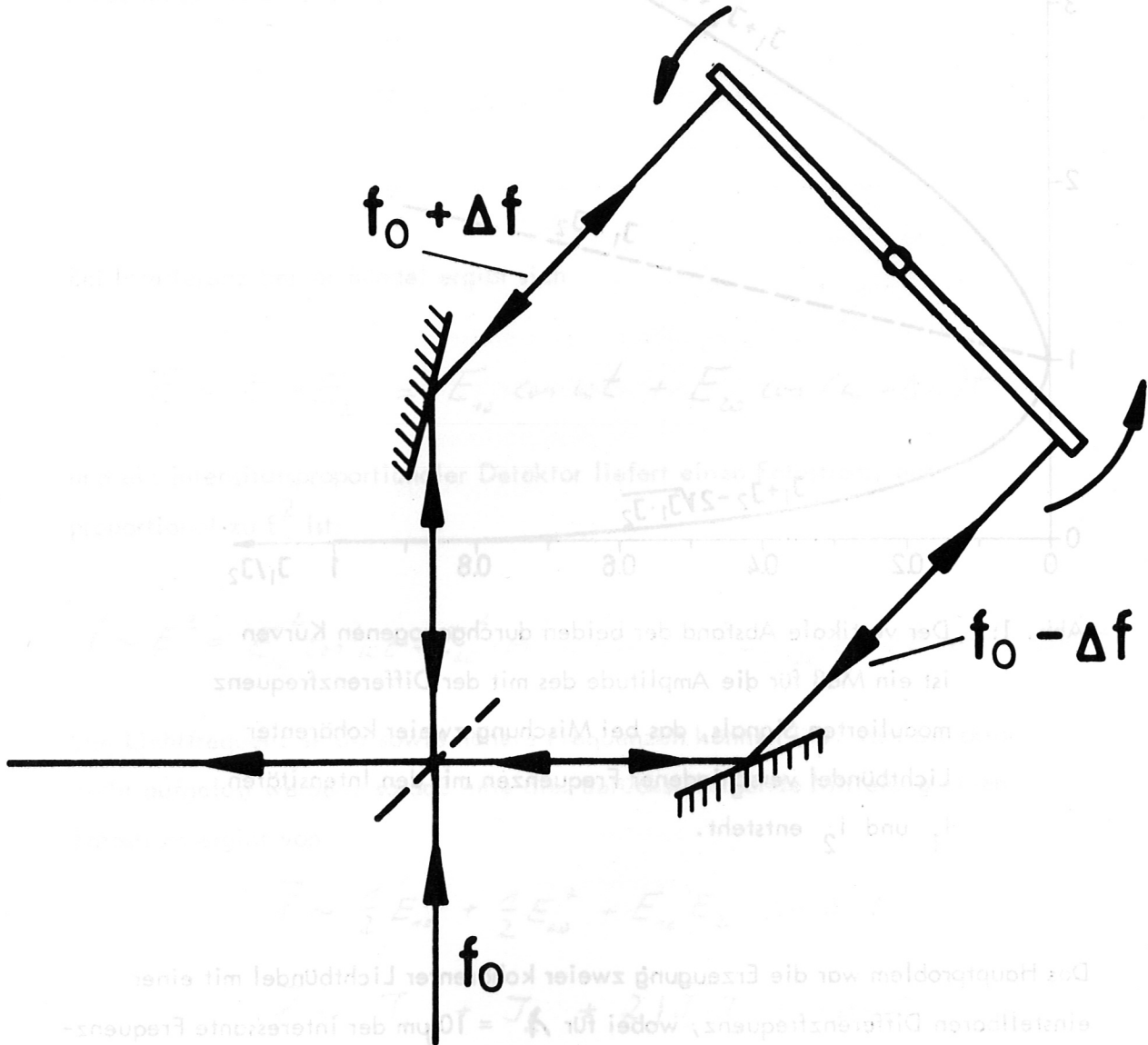


Abb. 2: Prinzip eines Michelson Interferometers, bei dem sich die beiden Spiegel (zum Zwecke einer Frequenzverschiebung) in entgegengesetzte Richtung bewegen.

Für eine Frequenzverschiebung $\Delta f = 500$ MHz sind bei einmaliger Reflexion an einem Drehspiegel bereits Umfangsgeschwindigkeiten v von $v = \frac{1}{2} \Delta f \cdot \lambda = 2500$ m/s erforderlich, die technisch nicht realisiert werden können. Deshalb müssen an dem Spiegel möglichst viele Reflexionen vorgenommen werden. Dies erhöht die Anforderungen an die Qualität des Spiegels, reduziert jedoch die erforderlichen Geschwindigkeiten.

Im folgenden wird die praktische Durchführung der beschriebenen Methode bei $\lambda = 10,6$ μm gezeigt. Hierfür wurde ein Mach-Zehnder-Interferometer mit Drehspiegel - wie in Abb. 3 schematisch dargestellt - gebaut.

Als Drehspiegel diente eine einseitig polierte Alu-Platte. Der Antrieb erfolgte durch einen Motor, der Drehzahlen bis zu 300 U/sec erlaubte. Aus der oberen Drehzahlgrenze resultierte aus Sicherheitsgründen (Zerreißspannung!) ein Spiegeldurchmesser von 10 cm. Die Dicke des Spiegels betrug 15 mm. Um bei ca. 300 U/sec eine Frequenzverschiebung von 500 MHz zu erreichen, sind mit diesem Spiegel 2×15 Reflexionen nötig, was bei 1 cm Bündeldurchmesser eine Länge des Spiegels von 16 cm erfordert. Nach 2×15 Reflexionen zu ca. 98 % steht vom eingestrahltten CO_2 -Laserlicht (einige Watt) noch genügend Leistung für eine einwandfreie Messung zur Verfügung. Durch geeignete Wahl von Spiegelanordnung, Öffnungswinkel und optischer Abbildung wurde erreicht, daß bei sich drehenden Spiegeln ca. 50 Schwebungsperioden zu beobachten sind (Abb. 4).

Der Drehspiegel wurde in einem Aluminiumgehäuse untergebracht, das ausgepumpt werden konnte, um die Luftreibung weitgehend zu reduzieren. Als Fenster wurden BaF_2 -Scheiben, als Strahlteiler dielektrisch verspiegelte Ge-Platten verwendet. Als Spiegel dienten aluminiumbedampfte Glasplatten.

Die gewünschte Drehzahl konnte zunächst erreicht werden. Es zeigte sich jedoch bald, daß die Kugellager des Drehspiegels an der Grenze der Belastbarkeit waren (einfache Montierung, keine spezielle Schmierung), so daß wir uns entschlossen, zu kleineren Drehzahlen (ca. 200 U/sec) und mehr Reflexionen überzugehen (20 statt 15).

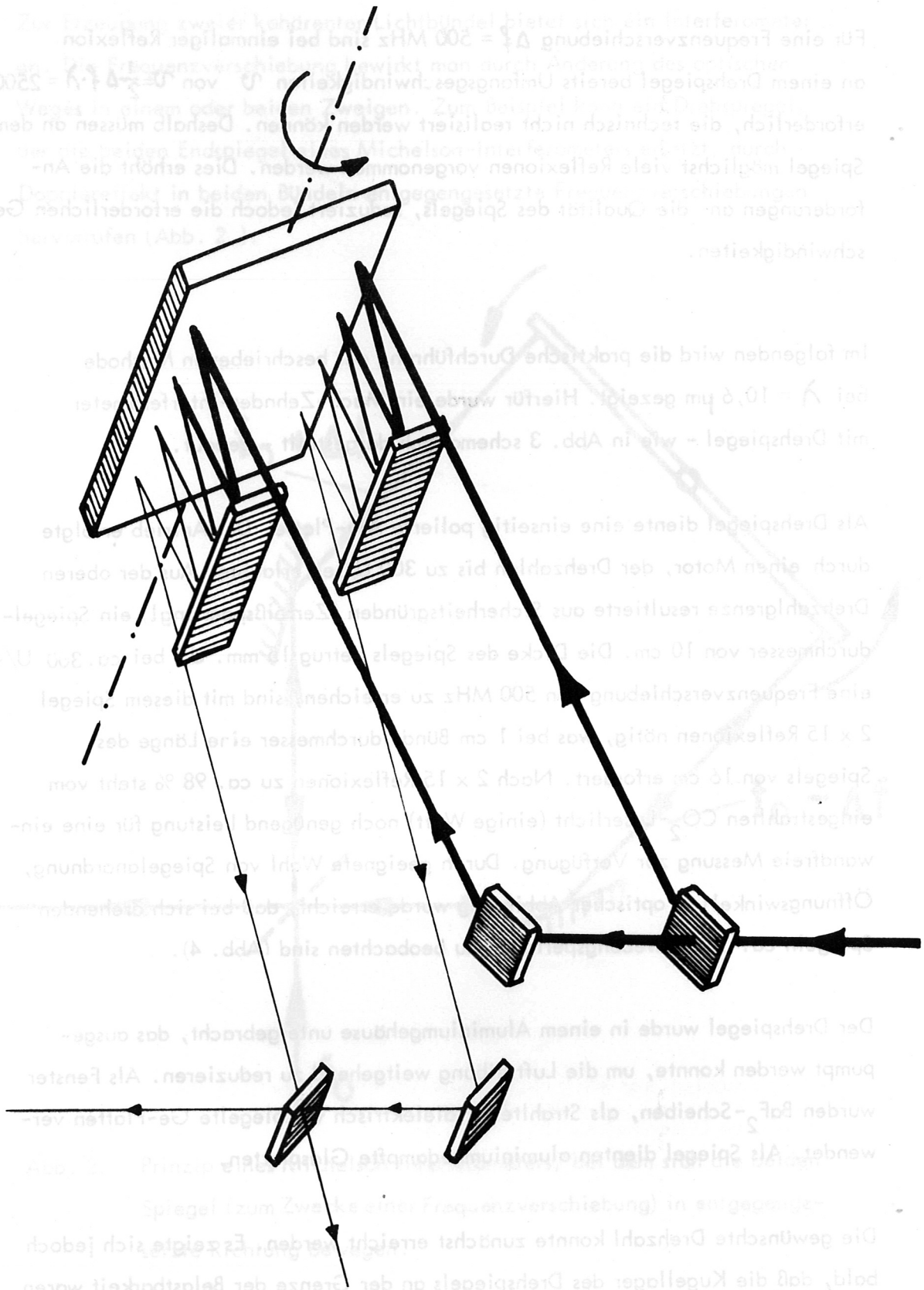


Abb. 3 Mach-Zehnder-Interferometer mit mehrfach reflektierendem Drehspiegel in beiden Zweigen (schematisch).

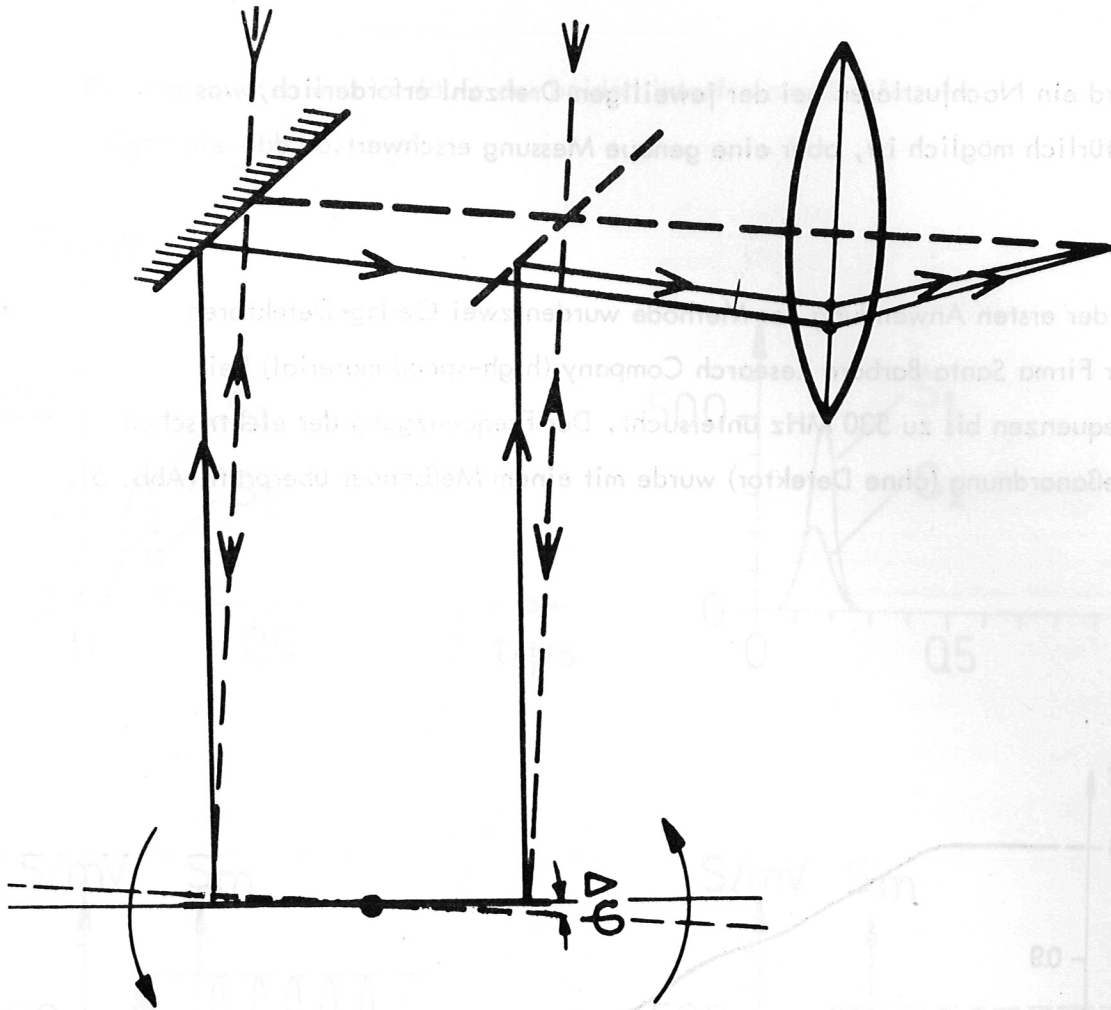


Abb. 4 Die Größe der Spiegel und die Linsenöffnung bestimmen die Dauer des Mischsignals.

Die Grobjustierung des Apparates wurde bei ruhendem Spiegel mit einem He-Ne-Laser vorgenommen (die Ge-Strahlteiler wurden dabei durch Glasplatten entsprechender Dicke ersetzt) und dann mit einem CO_2 -CW-Laser fortgeführt. (Kleine Keilfehler der Strahlteiler können auf diese Weise korrigiert werden.) Die Endjustierung erfolgte bei laufendem Spiegel. Das Gerät funktionierte im Prinzip einwandfrei. Es zeigte sich jedoch auch ein hauptsächlich technischer Mangel, der sich natürlich bei entsprechend aufwendigerer Konstruktion weitgehend vermeiden läßt: Der Drehspiegel, sowie z.T. das Gehäuse führen trotz bestmöglicher Auswuchtung kleine Schwingungen aus, die sich wegen der vielen Reflexionen der Lichtbündel am Drehspiegel als Dejustierung des Interferometers äußern. Dadurch

wird ein Nachjustieren bei der jeweiligen Drehzahl erforderlich, was natürlich möglich ist, aber eine genaue Messung erschwert.

In der ersten Anwendung der Methode wurden zwei Ge:Hg-Detektoren der Firma Santa Barbara Research Company (high-speed material) bei Frequenzen bis zu 530 MHz untersucht. Der Frequenzgang der elektrischen Meßanordnung (ohne Detektor) wurde mit einem Meßsender überprüft (Abb. 5).

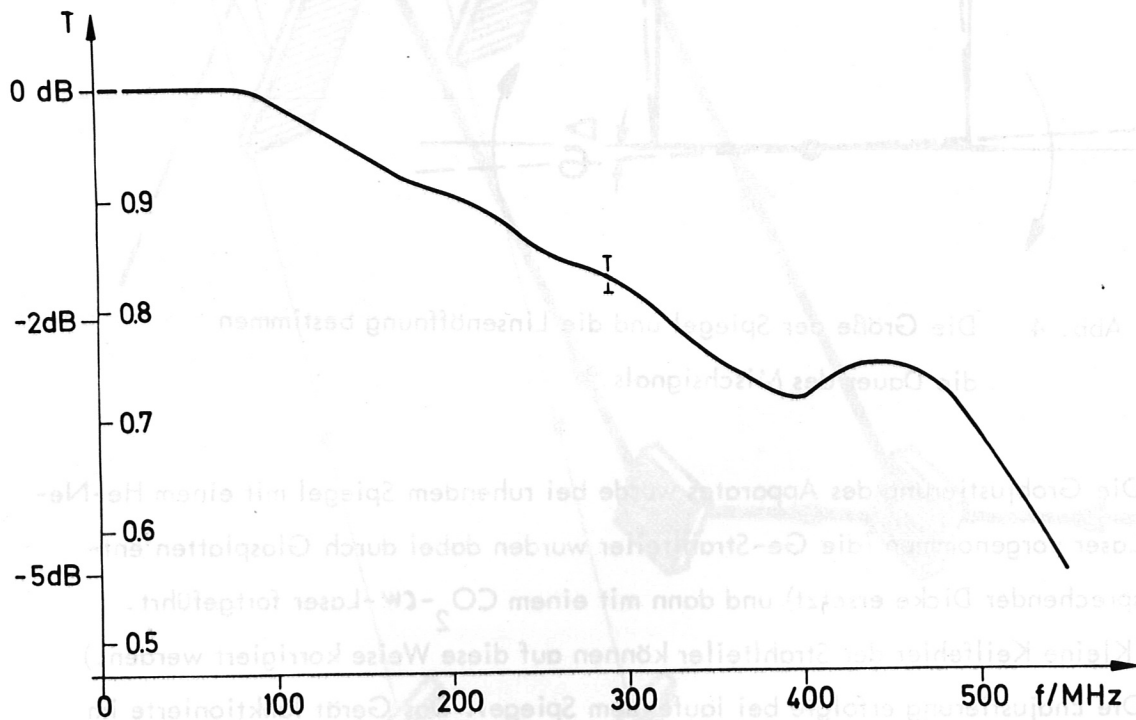


Abb. 5 Frequenzgang der Meßanordnung

Die Intensitäten und Verläufe der beiden interferierenden Impulse zeigt die Abb. 6, oben.

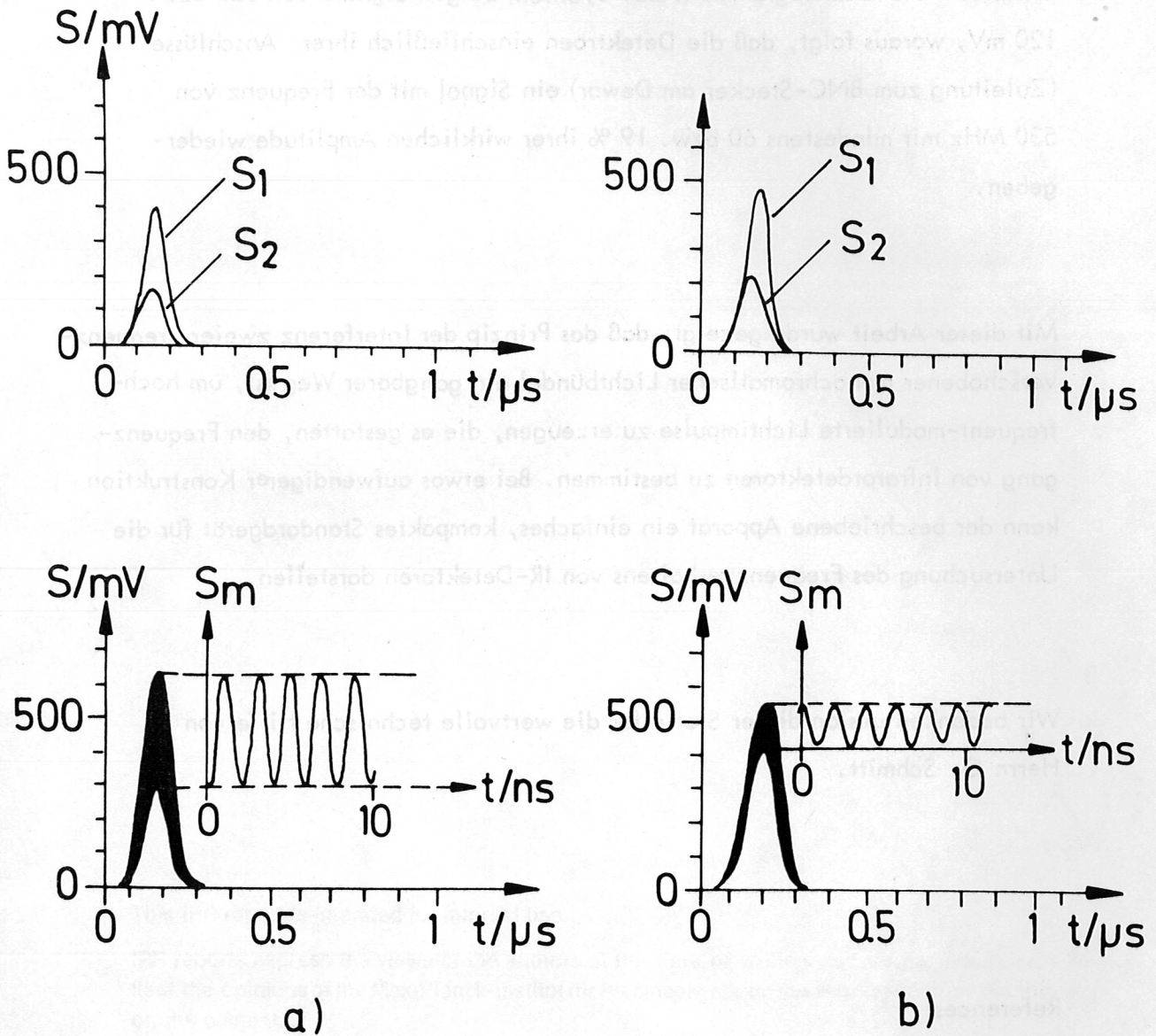


Abb. 6 Reproduktion von Oszillogrammen (Tektronix 7904)
oben: Verlauf der beiden zur Überlagerung gebrachten Lichtimpulse
unten: Überlagerungssignal in verschiedenen Zeitmaßstäben
a) und b) zeigen die Resultate für zwei verschiedene Detektoren.

Die Größen der Differenzfrequenzsignale berechnen sich daraus zu 1000 bzw. 1168 mV (Spitze-Spitze).

Unter Berücksichtigung des Frequenzganges der Verstärker und des Oszillografen würde man ein Hochfrequenz-Signal von 540 bzw. 630 mV erwarten. Die Oszillogramme (Abb. 6, unten) zeigen Signale von 320 bzw. 120 mV, woraus folgt, daß die Detektoren einschließlich ihrer Anschlüsse (Zuleitung zum BNC-Stecker am Dewar) ein Signal mit der Frequenz von 530 MHz mit mindestens 60 bzw. 19 % ihrer wirklichen Amplitude wiedergeben.

Mit dieser Arbeit wurde gezeigt, daß das Prinzip der Interferenz zweier frequenzverschobener monochromatischer Lichtbündel ein gangbarer Weg ist, um hochfrequent-modulierte Lichtimpulse zu erzeugen, die es gestatten, den Frequenzgang von Infrarotdetektoren zu bestimmen. Bei etwas aufwendigerer Konstruktion kann der beschriebene Apparat ein einfaches, kompaktes Standardgerät für die Untersuchung des Frequenzverhaltens von IR-Detektoren darstellen.

Wir bedanken uns an dieser Stelle für die wertvolle technische Hilfe von Herrn G. Schmitt.

References:

/1/ F.R. Arams, E.W. Sard, B.J. Peyton, F.P. Pace; IEEE-QE, Vol. 3, p. 484 (1967)