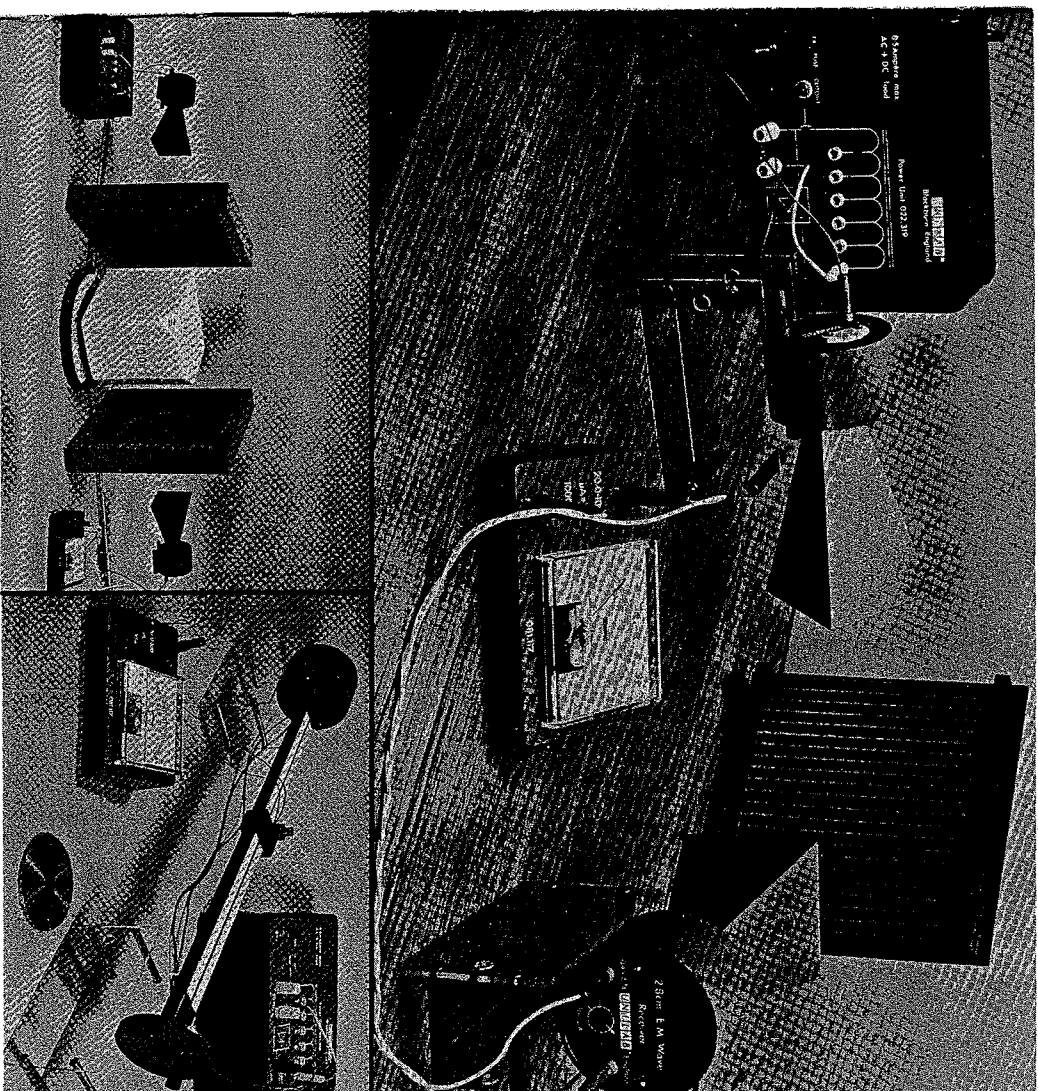


U N I L A B®

Bedienungs- und
Versuchsanleitung



CONATEX
-D-I-D-A-C-T-I-C-

CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH
Experimentiergeräte für Naturwissenschaft und Technik
Rombachstraße 65 - D-66539 Neunkirchen
Tel.: 06821-94110 - Fax: 06821-4411
Internet: <http://www.conatex.com> - E-mail: didactic@conatex.com

U N I L A B®

Unilab Limited
Clarendon Road
Blackburn
England BB1 9TA
Telefon: (0254) 57643/4
Telegrammadresse: Unilab Blackburn

L.P.C. 9/80

MIKROWELLEN

Cl 8310

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	3
2. Geräteaufstellung	3
3. Der Sender	4
4. Der Empfänger	4
5. Versuchsbeschreibung: <i>Polarisation</i>	5
<i>Reflexion</i>	5
<i>Halbdurchlässiger Spiegel</i>	5
<i>Radar- und Funkwellenausbreitung</i>	6
<i>Durchlässigkeit</i>	6
<i>Polarisationsgitter</i>	6
<i>Umlaufende Polarisation</i>	7
<i>Drehung der Polarisationsebene</i>	7
<i>Optische Aktivität</i>	8
<i>Stehwelle; Messung der Wellenlänge</i>	8
<i>Dünnschichtinterferenz</i>	8
<i>Das Michelsonsche Interferometer</i>	9
<i>Die Youngschen Schlitzreize</i>	9
<i>Der Lloyd'sche Spiegel</i>	10
<i>Beugungsbilder</i>	10
<i>Beugungsgitter</i>	10
<i>Fresnel'sche Zonenplatten</i>	10
<i>Strahlenbrechung durch Objektive und Prismen</i>	11
<i>Gesamtinnenreflexion bis zur Gesamttransmission</i>	11
<i>Bragg'sche Streuung mit einem Kristall</i>	12
<i>Die Geschwindigkeit bei einem Dielektrikum</i> ..	12
<i>Geschwindigkeit eines Impulses längs eines koaxialen Kabels</i>	13
<i>Die Geschwindigkeit von Mikrowellen in der Luft</i>	13
<i>Alternativmethode zu obigem Versuch</i>	15
<i>Der Hohlleiter</i>	16
<i>Dielektrische Antennen</i>	16

Einleitung

Für den Unterricht in der Optik und der Wellenlehre bietet die Verwendung von Mikrowellen (Wellenlänge 2,8 cm) viele Vorteile. Da die Wellenlänge hier 50 000mal größer als die einer typischen monochromatischen Lichtquelle ist, wird auch der Abstand bei Erscheinungen wie Beugungsschatten, Stehwellenmaxima usw. in gleichem Maße größer sein. Es ist viel leichter, eine Stehwellen aufzuzeigen, wenn die Maxima mit 1,4 cm Abstand aufeinanderfolgen, als jeden Schüler einer ganzen Klasse in einem verdunkelten Raum und mit Hilfe eines Mikroskops optische Säume betrachten zu lassen.

Das Signal eines Gunn'schen Diodensenders entspricht genau einer einfachen Wellenlänge und folglich ist das Problem, wie man einen genügend starken monochromatischen Lichtstrahl erhalten kann, gelöst.

Wenn Interferenz- und Beugungswirkungen aufgezeigt werden sollen, können Metall- oder Hartfaserplatten von ca. 20 cm² vorteilhaft als Widerstandskörper und Reflektoren verwendet werden; sie brauchen nicht optisch plan zu sein und sind daher bedeutend billiger als optische Gegenstände.

Dünnschichteffekte können mit Hilfe eines wenigen Zentimeter starken "Films" aufgezeigt werden, wodurch es leichter ist, die Einzelheiten zu verfolgen.

Die Geschwindigkeit von Mikrowellen kann im Laborraum unter Verwendung eines guten Oszilloskops gemessen werden, da sich die Wellenimpulse leicht verfolgen und erfassen lassen.

Geräteaufstellung

(044,672) Sender (Tx)	(141,175) "Kristall" (für die Bragg'sche Streuung)
(045,674) Empfänger (Rx)	(141,173) Fresnel'sche Halbperioden-Zonenplatten
(022,319) Ungeläuterte Gleichstromversorgung	(141,176/7) "Optische Aktivitätsspiralen (Bausatz 141,174)
(045,673) Empfängerantenne	(141,171) Drehscheibe
(041,171) "Großer" Reflektor mit Füßchen	(241,171) Dielektrische Blöcke
(041,172) "Kleiner" Reflektor mit Füßchen	(053,843) Verstärker mit Lautsprecher (Batterie)
(041,173) Halbdurchlässiger Spiegel	(002,612) Verstärker mit Lautsprecher (Netzanschluss)
(Hartfaserplatte mit Füßchen)	(063,652) Impulsmodulator
(041,174) Polarisationsgitter	(093,681) Impulsverstärker
(041,175) 60° Hohlprisma	(241,172) Hohlleiter
(041,176) 45° Hohlprisma	
(041,177) Hohles Halbkreisobjektiv	
(141,179) Wachsobjektiv	

Sender (Tx)

Dieser wird mit Zusatzteilen für ein Gestell mit zwei Höhenlagen geliefert. Um das Gestell zusammenzubauen, müssen zwei Plexiglasplatten durch vier Distanzstäbe, wie in Bild A veranschaulicht, verbunden werden. Wenn die Anschlussklemmen, wie in Bild A, in einer horizontalen Linie liegen, wird das Signal von dem Sender mit seinen elektrischen Vektoren senkrecht polarisiert. Wir werden dies als "Normalpolarisation" bezeichnen.

Bei einigen Experimenten müssen der Sender und der Empfänger, wie in Bild B dargestellt, höher über dem Tisch liegen. In dieser Lage kann ein Stab zur Verwendung kommen, um den Sender und den Empfänger mit anderen Geräten ausgerichtet zu halten.

ACHTUNG: Vor Anschluß an eine Stromversorgung muß man sichergehen, daß das Horn fest montiert ist. Wenn man in das Horn hineinschaut, kann man sehen, daß die Öffnung am Ende des Wellenleiters ein wenig kleiner als derjenige im Hornflansch ist. Der Sender könnte beschädigt werden, falls er verwendet wird, ohne daß das Horn (bzw. der wahlweise verwendete Wellenleiter) sachgemäß montiert ist.

Stromversorgung

Jede beliebige Gleichstromversorgung zwischen 8 und 13 V kann zur Verwendung kommen. Hat man die Wahl, so verwendet man vorzugsweise 8 oder 9 V, um ein Minimum zu senken. Bei höheren Spannungen erwärmt sich normalerweise die weiße Platte an der Rückseite des Senders.

Vorteilhaft ist die Verwendung einer ungeglätteten Stromversorgung, z.B. Unilab 022.319. Daraus resultiert ein Amplitudensignal, welches mit 100 Hz moduliert ist; in diesem Fall kann das empfangene Signal in einem Verstärker mit Lautsprecher (053.843 oder 002.612) gegeben werden, so daß das empfangene Signal hörbar wird.

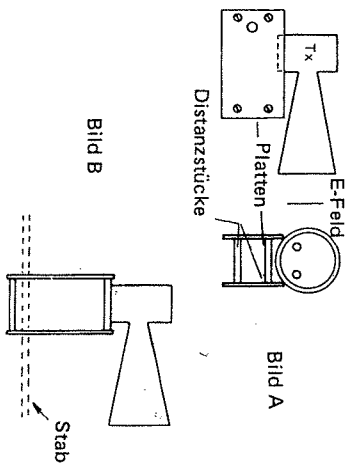
Empfänger (Rx)

ACHTUNG: Dieser sieht aus wie der Sender, jedoch darf unter keinen Umständen irgendwelche Fremdspannung an die Anschlussbuchsen angelegt werden.

Der Empfänger wird mit einem Gestell mit zwei Höhenlagen, genau wie das für den Sender bestimmte, geliefert.

Der Empfänger kann auch ohne das Horn verwendet werden; durch dieses ergibt sich jedoch eine Verstärkung von ca. 20 dB sowie ein theoretischer Halbwert-Strahlwinkel von 30°, weshalb es im allgemeinen nicht entfernt wird.

Der Empfänger kann mit einem 100- μ A-Meßgerät verbunden werden oder auch mit dem Eingang eines Tonfrequenzverstärkers, falls eine ungeglättete Stromversorgung bei dem Sender zur Verwendung kommt. Die hörbare Anzeige wird gewöhnlich als drastischer angesehen. Wenn sowohl das Meßgerät als auch der Tonfrequenzverstärker benötigt werden, dann werden der Empfänger, das Meßgerät und der Verstärkereingang parallelgeschaltet.



Empfängersonde

Dies ist ein wahlweise verwendbarer, unempfindlicher Empfänger, der nützlich ist, wenn es darum geht, Signalunterschiede über einen kleinen Bereich zu untersuchen. Er wird in der gleichen Weise an ein Meßgerät bzw. einen Verstärker angeschlossen wie der Hornempfänger. Genau wie bei diesem darf unter keinen Umständen irgendwelche Fremdspannung an die Anschlussklemmen angelegt werden.

EXPERIMENTE

1. Um zu zeigen, daß das Signal polarisiert ist. (Bild 1)

Sender und Empfänger mit Normalpolarisation auf Gleichstrom (Anschlussklemmen in Horizontal-linie), wobei sich die Hörner gegenüberliegen; Abstand ca. 1 m. Es sollte sich eine starke Anzeige ergeben; ein 100- μ A-Meßgerät mag evtl. die Skale überlaufen, und ein 1-mA-Meßgerät könnte statt dessen verwendet werden, obwohl ein derartiges Überlaufen der Skale nicht von Nachteil ist.

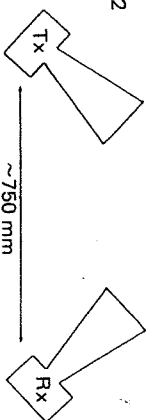
Den Empfänger langsam um seine lange Horizontalachse drehen; die Anzeige sollte bei 90° langsam auf Null sinken und dann wieder anfangen anzusteigen.

Die gleiche Wirkung wird bei Drehung des Senders erzielt.



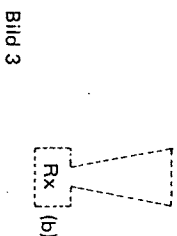
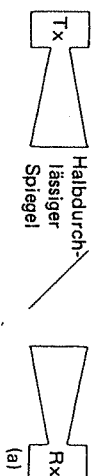
2. Um eine Reflexion zu zeigen. (Bild 2)

Sender und Empfänger mit Normalpolarisation mit ca. 75 cm Abstand aufstellen, wobei sich ihre langen Achsen bei 90° kreuzen. Einen "großen" Metallreflektor (041.171) aufstellen, wo sich die Achsen kreuzen und ihn drehen, bis das beste reflektierte Signal erhalten wird; dies geschieht, wenn der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich ist. In dieser Lage den Empfänger um seine lange Achse drehen, um aufzuzeigen, daß das reflektierte Signal noch immer polarisiert ist.



3. Halbdurchlässiger Spiegel. (Bild 3)

Bei Gegenüberliegen von Sender und Empfänger in ca. 1 m Entfernung voneinander die Hartfaserplatte (041.173) in den Signalweg halten. Das Signal verringert sich um ca. 50%. Nun die Hartfaserplatte in die gleiche Lage bringen, wie bei Experiment 2 für den Metallreflektor beschrieben; man sieht, daß eine Hartfaserplatte einen Teil des Signals reflektiert.



4. Radar- und Funkwellenausbreitung

Um den richtungsuchenden Aspekt von Radar zu veranschaulichen, werden der Sender und der Empfänger nebeneinander gestellt, wobei die Hörner in gleicher Richtung liegen (Bild 4).

Beide zusammen drehen und auf Metallreflektoren (weiche Schiffe und Flugzeuge darstellen sollen), die rings im Klassenzimmer angeordnet sind, richten. Diese Übung wird noch interessanter, wenn das Signal (unter Verwendung einer ungeglätteten Gleichstromversorgung) moduliert und das empfangene Signal dem Eingang eines Tonfrequenzverstärkers zugeleitet wird. Wenn die Drehscheibe (141.171) zur Hand ist, können der Sender und der Empfänger zwecks leichter Vorwärts- und Rückwärtsdrehung darauf gesetzt werden.

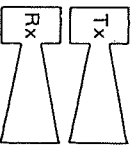
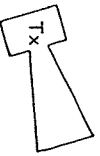


Bild 4



Gewisse Fernersignale werden auf dem Wege der Brechung durch den Rand der Ionisationsschichten, wie z.B. der Heaviside-Schicht, empfangen, wobei sich ein Weg ergibt, der einem von einem Spiegel in der Atmosphäre reflektierten Weg sehr ähnlich ist. Um dies zu veranschaulichen, werden der Sender und der Empfänger durch ca. 40° nach oben geneigt, worauf eine reflektierende Metallscheibe darüber hin- und herbewegt wird, um die optimale Lage zu finden. Nun wird der Reflektor gehoben und gesenkt, um aufzuzeigen, wie eine Bewegung der Heaviside-Schicht bei viel längeren Wellenlängen Änderungen in der Stärke des empfangenen Signals auslöst (Bild 5).



Reflektor

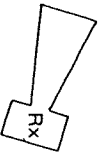


Bild 5

5. Durchlässigkeit

Verschiedene gewöhnliche Materialien, z.B. Polystyrol, trockene und nasse Papierhandtücher, Plexiglas, Wachs, Polyäthylän, trockenes Holz, feuchtes Holz sowie die Hand sollen auf die Durchdringung und die Reflexion hin geprüft werden. (Man bemerke dabei übrigens, daß dies eine Methode zur Messung des Feuchtigkeitsgehaltes von Holz ist; auch daß die Finger die Polarisationssebene drehen können).

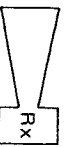
6. Polarisationsgitter

Sender und Empfänger in ca. 75 cm Abstand einander gegenüber aufstellen. Nun ein Gitter (041.174) in den Signalweg setzen, wobei seine Ebene senkrecht zu



Gitterstäbe vertikal

Bild 6



der Richtung des Signalwegs liegt. Wenn die Gitterstäbe vertikal liegen, sollte das empfangene Signal auf fast Null gesunken sein; wenn die Stäbe jedoch horizontal liegen, dann sollte das Signal in fast voller Stärke empfangen werden (Bild 6).

7. Umlaufende Polarisation.

Diese Übung wurde von Herrn Dr. C.A. Taylor vorgeschlagen und von Herrn Dr. R. Diamond in "School Science Review" Nr. 155, November 1963 beschrieben.

Den Sender 45° um seine lange Achse drehen, so daß das übertragene E-Feld bei 45° zu der Horizontalen liegt. Dieses Signal mit einem Einfallswinkel von etwa 45° auf einen großen Metallreflektor richten. Das Gitter mit den Stäben in vertikaler Stellung in ca. 11 mm Abstand vor den großen Metallreflektor setzen. (Das Gitter kann auf den Füßchen des Metallreflektors stehen.) (Bild 7). Nun zeigen, daß der Empfänger jetzt, egal wie er um seine lange Achse gedreht wird, das reflektierte Signal gleich gut empfangen kann.

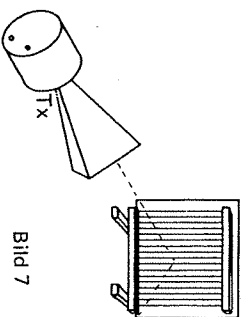


Bild 7

Das reflektierte Signal besteht aus einem mit einem vertikalen, von dem Gitter reflektierten E-Feld und aus einem mit einem horizontalen, von der Metallplatte reflektierten E-Feld. Das letztere geht natürlich ohne Unterbrechung durch das Gitter, jedoch um eine Viertelperiode später als das erstere. Die Verbindung dieser Signale wird als "Zirkularpolarisation" bezeichnet, denn während des Zeitraums einer Periode kann das elektrische Feld oben, dann links, dann unten und darauf rechts liegen.

Um die besten Ergebnisse zu erhalten, muß man den Zwischenraum zwischen dem Gitter und dem Metallreflektor sorgfältig variieren.

8. Drehung der Polarisationssebene

Sender und Empfänger einander gegenüber in ca. 75 cm Abstand aufstellen. Den Empfänger um seine lange Achse durch 90° drehen, so daß das vertikale E-Feld nicht empfangen wird. Nun ein Gitter mit seinen Stäben bei 45° in den Signalweg setzen.

Das Signal ist zum Teil wiederhergestellt (Bild 8).

Die Einfallswelle mit ihrem vertikalen E-Feld besitzt entlang den Stäben eine E-Komponente, so daß ein Signal mit einem "geneigten" E-Feld ausgestrahlt wird; und dieses Signal wiederum hat eine horizontale Komponente des E-Feldes.

An dieser Stelle mag es nützlich sein, aufzuzeigen, daß ein Teil des ausfallenden Lichts wiederhergestellt wird, wenn ein geneigter "Polaroid"-Film zwischen zwei gekreuzte "Polaroid"-Filme gesetzt wird.

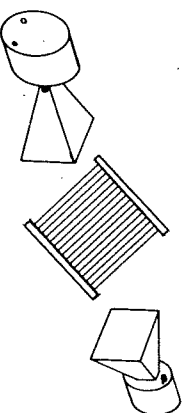
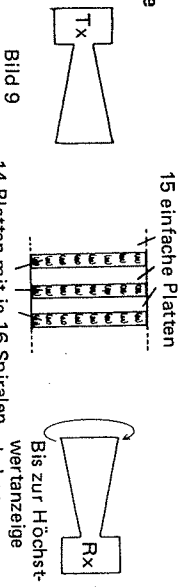


Bild 8

9. Optische Aktivitätsanalogie

Diese Experimente sind von Foxcroft und Crumpler in "School Science Review", November 1966 beschrieben.



Kleine Drahtspiralen verursachen eine Drehung der Polarisationsebene der 2,8-cm-EM-Wellen, und dies bildet die Grundlage von Analogien "optischer Aktivität", wie man es bei Zuckerlösungen, Quarz usw. beobachten kann.

Die Spiralen können in Deckenplatten aus Schaumpolystyrol gebettet sein, um ein regelmäßiges, dreidimensionales Muster ähnlich wie bei einem Quarzstäbchen zu bilden. Die Spiralen können entweder links oder rechts gedreht sein.

Andererseits kann auch eine zufällige Anordnung von Spiralen erfolgen, indem man sie in Polystyrolkugeln hineinpakt und diese in einen Kasten gibt. Die zufällige Anordnung ergibt immer noch eine gewisse Drehung der Polarisationsebene.

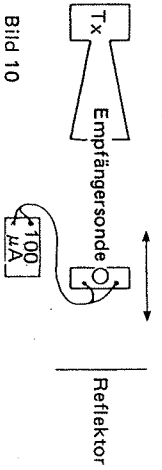
Bei der "normalen" Anordnung braucht man etwa 120 Spiralen, um eine Drehung von ca. 10° zu erreichen.

Um zu zeigen, daß eine Drehung stattgefunden hat, wird der Kasten mit den Spiralen zwischen Sender und Empfänger gestellt, die sich in einer geraden Linie gegenüberstehen. Sender oder Empfänger um seine lange Achse bis zur Höchstwertanzeige gedreht. Entsprechende Spiralen sind separat erhältlich (141.176/7) oder werden in "Quarzstäbchenform" zusammengestellt (141.174).

10. Stehende Welle: Messung der Wellenlänge

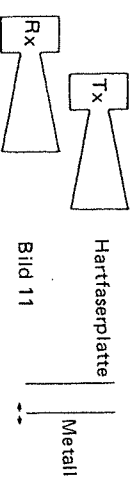
Die Anordnung wie in Bild 10 kommt zur Verwendung. Wenn die Empfängersonde langsam zwischen Sender und Reflektor bewegt wird, lassen sich Maxima und Minima erfassen, die sich durch Interferenz zwischen den Einfall- und den reflektierenden Wellen ergeben. Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Minima beträgt eine halbe Wellenlänge.

Um einen genauen Meßwert zu erhalten, legt man ein Blatt Papier auf den Tisch und markiert den Rand des Tastkopffoedens mit Kennstrichen für vielleicht zehn Halbwellenlängen.



11. Dünnfilminterferenz

Den Sender (Normalpolarisation) in etwa 75 cm Entfernung auf die Hartfaserplatte richten. Das Empfängershorn ein wenig hinter den Sender setzen (um zu verhindern, daß ein direktes Signal aufgenommen wird) und so ausrichten, daß das reflektierte Signal empfangen wird. Jetzt einen Metallreflektor nahe dahinter und parallel zu dem "halbversilberten Spiegel" setzen. Durch Variation des Abstands zwischen der Hartfaserplatte und dem Metallreflektor werden bei Interferenz der von der Hartfaserplatte und dem Metall reflektierten Signale Maxima und Minima erhalten. Die Entfernung, die sich aus der Bewegung der Metallplatte zwischen aufeinanderfolgenden Minima ergibt, beträgt ebenfalls eine halbe Wellenlänge (Bild 11).



12. Das Michelsonsche Interferometer

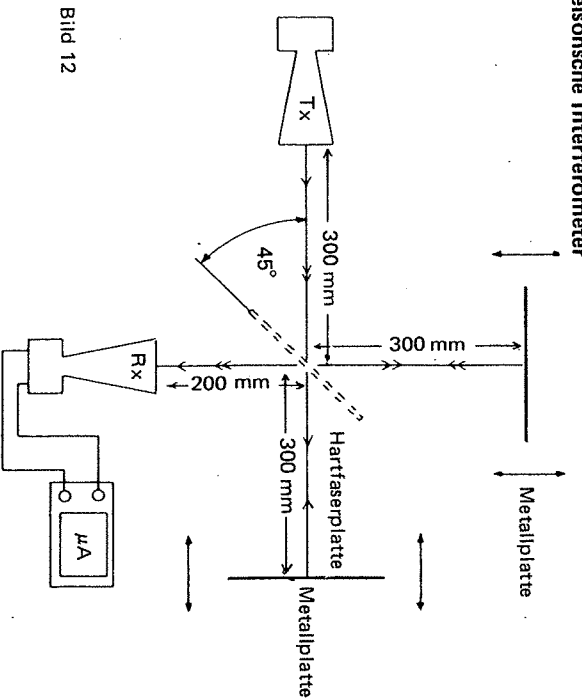


Bild 12

Geräte wie in Bild 12 gezeigt aufstellen. Eine geringe Änderung der einen oder anderen Weglänge ergibt Maxima und Minima. Der Abstand, in dem sich die eine oder andere der Metallplatten von einem Minimum zum nächsten bewegt, beträgt eine halbe Wellenlänge.

13. Youngsche Schlitzze

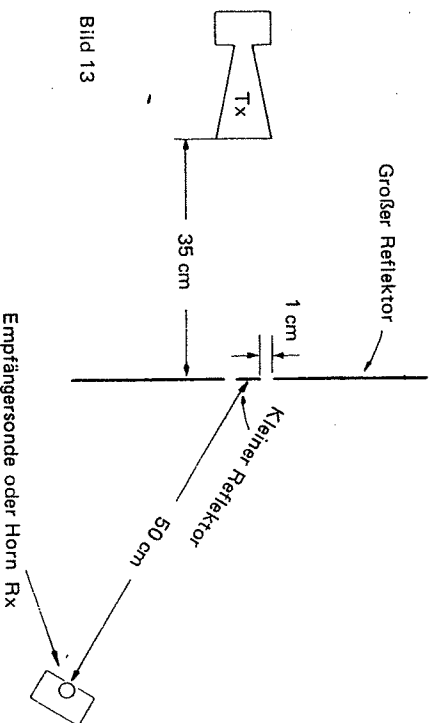


Bild 13

Das Interferenzbild rechts der beiden Schlitzze kann mit Hilfe einer Empfängersonde oder des Hornempfängers untersucht werden. Bei Anschluß des Empfängers an ein 100-uA-Meßgerät kann ein Intensitätsdiagramm aufgetragen werden, wenn der Empfänger sich entlang einer Linie bewegt, die parallel zu den Platten und in etwa 50 cm Entfernung von diesen verläuft (Bild 13).

14. Der Lloyd'sche Spiegel

Für dieses Experiment eignet sich die Empfängersonde besser als Empfänger. Sie wird verwendet, um das Interferenzbild zu untersuchen, welches durch das direkte und das reflektierte Signal gebildet wird (Bild 14).

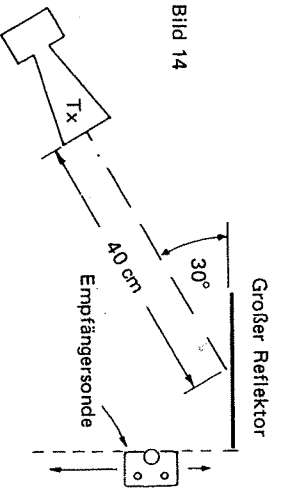


Bild 14

15. Beugungsbilder

Diese Anordnung ermöglicht es, das Beugungsbild im "Schatten" eines Hindernisses, dessen Breite etwa zwei Wellenlängen beträgt, zu untersuchen (Bild 15). Das Experiment sollte mit einer "großen" Platte, die etwa 10 cm vor dem Sender aufgestellt ist und die Hälfte des Signals blockiert, wiederholt werden.

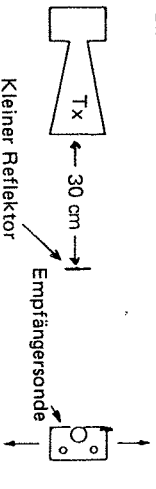


Bild 15

Für die Einschlitzebeugung stellt man zwei "große" Platten 10 cm vor dem Sender auf, wobei ein 1,5 oder 2 cm breiter Spalt auf der Mittellinie des Senders bewahrt wird.

16. Beugungsgitter

Diese kann man selbst herstellen, indem Aluminiumfolienstreifen auf eine Hartfaserplatte geklebt werden. 15 vertikale, je 25 mm breite und 30 cm lange Streifen in 1 cm Abstand voneinander ergeben ein Hauptmaximum bei etwa 50°. Das Gitter in etwa 40 cm Abstand vor dem Sender aufstellen und das Bild in etwa 10 cm Abstand auf der anderen Seite unter Verwendung des Tastkopfeempfängers untersuchen.

17. Fresnelsche Zonenplatten

Zone A ist die innere Scheibe; Zone B ist der kleinste Ring und Zone D ist der größte Ring des Aggregates. Für diejenigen, die sich die Platten selbst machen wollen, indem Aluminiumfolie auf Hartfaser- oder Polystyrolplatten geklebt wird, gehen die aufeinanderfolgenden Außendurchmesser von 165, 233, 285 und 326 mm.

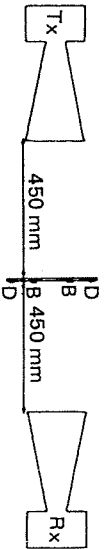


Bild 16

Die Zonen B und D, einzeln oder zusammen verwendet, liefern optimale Ergebnisse, wenn Sender und Empfänger ca. 90 cm voneinander entfernt liegen (gemessen zwischen den offenen Enden der Hörner). Die Zone C bietet maximale Signalstärke, wenn sich Sender und Empfänger in etwa 140 cm Entfernung voneinander befinden. In beiden Fällen wird die Zonenplatte auf halben Abstand zwischen Sender und Empfänger gesetzt (Bild 16).

Wenn die Meßwerte zu hoch sind, kann ein angefeuchtertes Papierhandtuch über die Öffnung des Sender-Horns gehängt werden, wo es als einfacher Dämpfer dient.

18. Strahlenbrechung durch Objektive und Prismen

Die hohlen Plexiglas-Prismen und das Halbkreisobjektiv werden mit Paraffinöl, flüssigem Paraffin oder Kohlenstoffdisulfid gefüllt, wodurch sie einen Brechungsindex (gegenüber Mikrowellen) von etwa 1,5 erhalten. Bei Anordnung wie in Bild 17 gezeigt, fällt das empfangene Signal bedeutend, wenn das Prisma aus seiner Lage gehoben wird.

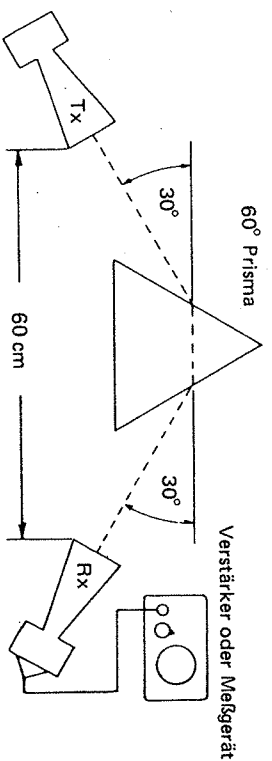


Bild 17

19. Gesamtinnenreflexion bis zur Gesamttransmission

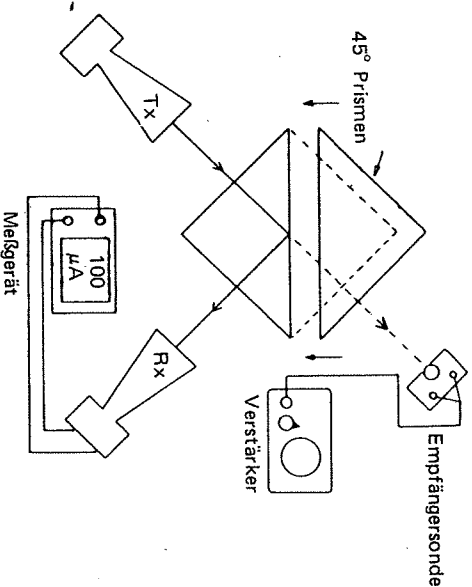


Bild 18

Wenn die langen Seiten der Prismen in 5 cm oder mehr Entfernung voneinander liegen, sollte sich volle Reflexion, jedoch keine Transmission ergeben. Bei langsamer Senkung des Abstands bis auf Null reduziert sich das reflektierte Signal auf fast Null und das "direkte" Signal verstärkt sich (Bild 18). Diese ähnliche Verschiebung ist bei optischen Wellenlängen von Bedeutung.

20. Bragg'sche Streuung mit einem "Kristall"

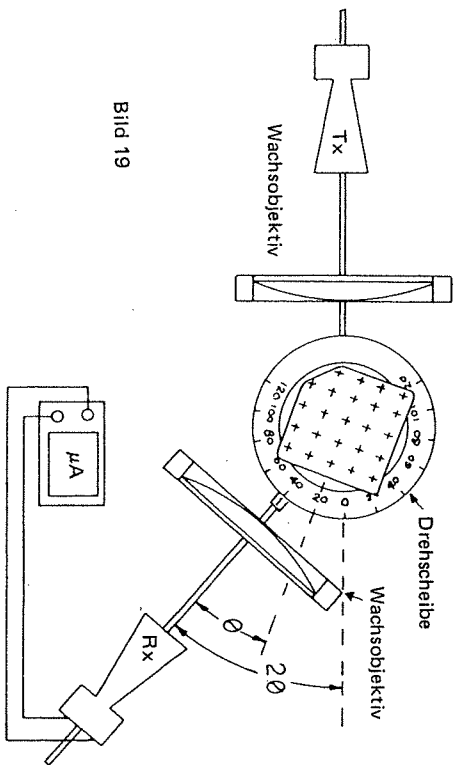


Bild 19

Bei diesem Experiment müssen der Sender und der Empfänger in der "Hoch"-Lage (Bild B) gehalten werden. Metallstäbe halten den Sender, den Empfänger sowie die Objektive mit der Mitte der Drehscheibe achsgerade eingestellt. Die Unilab-Drehscheibe kann entweder mit der Hand oder mit Hilfe des in ihrem Socket befindlichen Elektromotors (1½V) gedreht werden. Die Drehplatte ist mit einem 130-0-130°-Schleifer versehen, von dem die Winkel, die das maximale Beugungssignal ergeben, abgelesen werden können.

Für diejenigen, die sich den Kristall selbst machen wollen, kommt die Ausführung von Peter Coles, vormals beim Loughborough College of Education, in Frage. Verwendet werden 120 kleine Kugeln aus Aluminiumfolie, jedes mit einem Durchmesser von 12,5 mm, die in einer 4 cm großen Würfelform angeordnet sind. Die Kugeln werden in Deckenplattenlagen aus Schaumpolyäthylol eingebettet. Typischerweise ergibt sich die Beugung erster Ordnung bei einem Winkel von $2\theta = 41^\circ$, was sich mit der Bragg'schen Gleichung $2d\sin\theta = n\lambda$ (Bild 19) deckt.

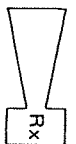
Eine weitere Ausführung von "Kristall" wird in Nuffield A Level Physics Unit 1 Teachers' Guide, und Nuffield Chemistry, Stage III beschrieben. Der gebrauchsfertige Unilab-Kristall ist unter Bezugsnummer 141.175 erhältlich.

21. Die Geschwindigkeit bei einem Dielektrikum

Dieses interessante Experiment wurde von Herrn Dr. J.B. van der Kooij von der Universität Groningen vorgeschlagen.



Bild 20



Benötigt werden drei 25 mm starke Plexiglasblöcke (Bezugsnummer 241.171). Einer dieser Blöcke wird so zwischen Sender und Empfänger positioniert, daß die Hälfte des Strahls um etwa eine halbe Periode verzögert wird (Bild 20). Das gesamte empfangene Signal ist nun gleich Null. Durch Verzögerung der anderen Hälfte des Strahls um einen gleichen Wert wird das Signal wiederhergestellt. Das Signal kann ebenfalls wiederhergestellt werden, indem der erste Block mit einem zweiten Block gleicher Stärke bedeckt wird, so daß die Hälfte des Strahls um eine volle Periode verzögert wird. Daraus läßt sich die Geschwindigkeit von EM-Wellen in Plexiglas ableiten und mit dem bei optischen Strahlenbrechungsexperimenten erhaltenen Ergebnis vergleichen.

22. Geschwindigkeit eines Impulses längs eines Kabels

Obwohl dieses Experiment nicht die Geschwindigkeit von Mikrowellen aufzeigt, wird der 250-KHz-Impulsmodulator (der verwendet wird, um die Geschwindigkeit von Mikrowellen aufzufinden) (Experiment 22) vorgestellt, sowie auch der Gedanke der Zeitmessung kurzer Intervalle mit Hilfe eines Oszilloskops.

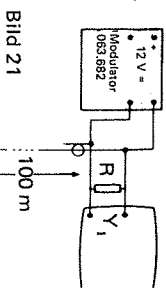


Bild 21

R sollte dem Wellenwiderstand des koaxialen Kabels so nahe wie möglich liegen. Für die meisten Arten ist 82 Ohm richtig. Man benötigt ein Kabel von mindestens 100 m Länge, das jedoch nicht von der Trommel abgewickelt zu werden braucht, vorausgesetzt, daß das andere Ende nicht Kurzschluß hat.

Zur Verwendung muß ein Hochgeschwindigkeits-Oszilloskop kommen; ein passender Zeitbasisbereich ist $1 \mu\text{s cm}^{-1}$. Wenn der Stromkreis wie in Bild 21 aufgezeigt hergestellt ist, sollte sich eine Aufzeichnung ähnlich wie auf Bild 22 zeigen. Der zweite, geschwächte Impuls ist derjenige, der zu dem offenen Ende des Kabels gelaufen und dann wieder zurückgekehrt ist.

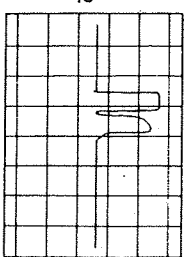


Bild 22

Typische Ergebnisse sind folgende: 100 m Kabelweg, hin und zurück, in $1 \mu\text{s}$ zurückgelegt. Folglich ist die Impulsgeschwindigkeit im Kabel gleich $2 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

23. Die Geschwindigkeit von Mikrowellen

Für dieses Experiment wird ein Zweistrahloszilloskop mit einer Zeitbasis-Spitzeneschwindigkeit von mindestens $0,1 \mu\text{s cm}^{-1}$ benötigt. Das Oszilloskop wird zur Messung der Geschwindigkeit eines Mikrowellenimpulses auf seinem Wege durch den Raum zu einem Reflektor hin und zurück verwendet, und aus diesem Grunde werden ein langgestreckter Raum und ein großer Metallreflektor benötigt. Ein Ergebnis kann nützlich über eine Strecke von weniger als 4 m erhalten werden. Es hat sich gezeigt, daß die Mindestgröße für den Reflektor ca. $\frac{1}{2} \text{ m}^2$ beträgt. Eine flache, ein Aluminiumfolie überzogene Tafel könnte zur Verwendung kommen.

Abgeschirmte Anschlüsse werden von dem Modulator (063.682) zum Sender benötigt, vom Sender zum Oszilloskop und vom Empfänger zum Oszilloskop. Ca. 75 cm lange koaxiale Leitungen mit 4 mm stapelbaren Steckern an jedem Ende eignen sich gut; zum Anschluß an Sender oder Empfänger müssen sich die stapelbaren Stecker bis 8 cm distanzieren lassen können. Die Anordnung wird in Bild 23 veranschaulicht.

Ein Widerstandselement von zwischen 68 und 82 Ohm muß über die Y₂-Eingang angeschlossen werden, da sonst die von dem Empfänger kommenden, sehr schwachen Signale viele Male entlang dem koaxialen Kabel reflektiert werden würden, was zu einer wirren Aufzeichnung führt, von welcher nichts abzuleiten wäre.

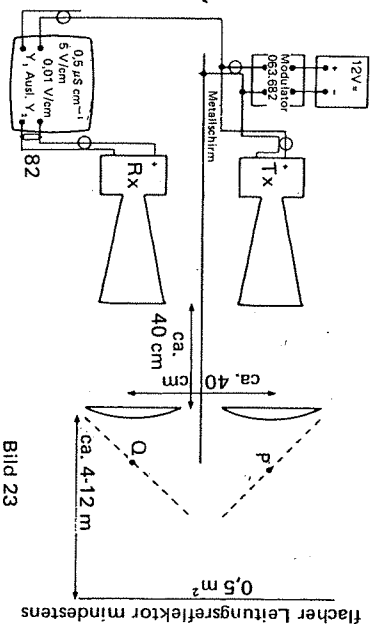


Bild 23

Die Zeitbasis des Oszilloskops wird auf 1 oder $0,5 \mu\text{s cm}^{-1}$ eingestellt. Die Y_1 -Eingabe sollte für 5 V cm^{-1} , und die Y_2 -Eingabe für $0,01 \text{ cm}^{-1}$ oder Größtempfindlichkeit eingestellt sein. Die Auslösung von Y_1 sollte wenn möglich auf "automatisch" eingestellt sein.

Sender und Empfänger müssen in der "Hochlage" auf den Ständern aufgestellt sein, und Stäbe müssen verwendet werden, um die Aggregate mit ihren betreffenden Wachsobjektiven (141.179) auszurichten. Die optimale Entfernung zwischen der Flachseite der Objektivse und der Vorderseite des Horns beträgt etwa 40 cm.

Sender und Empfänger müssen jetzt auf den Reflektor gerichtet sein; manchmal kann man jemanden ein Lineal vertikal gegen den Reflektor halten lassen, so daß er durch jeden der Richtstäbe "visiert" werden kann. Nun muß der Reflektor zwecks maximaler Reflexion zurück zu dem Empfänger horizontal und vertikal gedreht werden. Diese Ausrichtung erfolgt vorzugsweise bei eingeschaltetem Netz, so daß eine Aufzeichnung wie in Bild 24 dargestellt auf dem Oszilloskop zu sehen ist.

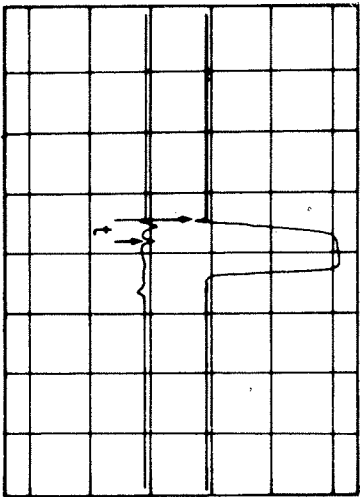


Bild 24

Die Y_2 -Aufzeichnung zeigt mehrere sehr kleine "Spitzen", von denen eine die echte reflektierte Signal darstellen sollte. Diese Spitze wird sichtbar und unsichtbar je nachdem, ob jemand den Strahlenweg in der Nähe des Reflektors durchstreicht. Indem man die anderen Spitzen, die sich dadurch ergeben, daß Signale den Empfänger auf anderen Wegen erreichen, außer acht läßt, werden Sender und Empfänger in die gewünschte Bahn gerichtet und der Reflektor für eine maximale "echte" Spitze ausgerichtet.

Es sollte jetzt möglich sein, den Raster des Oszilloskops zu benutzen, um festzustellen, wie lange nach dem Beginn des übertragenen Impulses das reflektierte Signal erscheint. In Bild 24 wird dies als $0,35$ einer Teilung dargestellt, wobei die verwendete Zeitbasiseinstellung bei $0,5 \mu\text{s cm}^{-1}$ liegt. Daraus ergibt sich, daß eine Zeitdauer von $t = 0,35 \times 0,5 \times 10^{-6} \text{ Sek.}$ benötigt wird, damit das Signal den Reflektor erreichen und wieder zurückkehren kann. Zum nächsten muß für die unbekanntesten jedoch konstanten Verzögerungen zwischen dem Beginn der übertragenen Impulse und dem Erscheinen des reflektierten Signals kompensiert werden. Zwei Zusatzreflektoren werden direkt hinter den Objektiven eingesetzt, wie dies mit Punktlinie bei P und Q gezeigt ist. Ein neuer reflektierter Impuls wird nun sichtbar, dessen Anfang als Bezugswert angenommen wird. Die Zeit wird auf Basis dieses Bezugswertes gemessen, nachdem die Zusatzreflektoren wieder entfernt worden sind. Die Entfernung, zum Zwecke der Errechnung der Geschwindigkeit von Mikrowellen, gilt von P bis Q über den Reflektor.

Falls der reflektierte Impuls für ein bestimmtes Oszilloskop zu klein ist, kann ein Impulsverstärker (093.681) zwischen den Empfänger und das Oszilloskop geschaltet werden.

Es ist nicht verwunderlich, daß die Durchführung dieses Experimentes sehr großer Sorgfalt bedarf; es hat sich gezeigt, daß es lohnt, auf Folgendes zu achten, wenn keine Ergebnisse erhalten werden:
Das direkte Signal von Sender zu Empfänger ist zu stark: Die Abschirmung dazwischen verbessern.

Die Strahlung bricht bei Modulatorfrequenz in die Empfängerschaltung ein: Die Abschirmung verbessern; die koaxiale Außenleitung ertönen. (Bei Sender und Empfänger die blauen Klemmen an das Metallgehäuse anschließen).

Starke Signale von benachbarten Mikrowellenverwendern: Empfänger und Impulsverstärker können in einen geerdeten Kaskasten eingesetzt werden.

Keine reflektierten Signale erfährt: Reflektoroberfläche nicht flach oder nicht genau rechtwinklig zu den Linien von Sender und Empfänger.

"Erwünschtes" Signal von stärkeren, unerwünschten Signalen überdeckt: Die Lage des Metallschirms zwischen Sender und Empfänger und ihren Objektiven justieren; den Leitungsweg der Verbindungskabel justieren; darauf achten, daß jede Einheit und jedes Kabel geerdet ist, jedoch nur an einer Stelle.

24. Alternativmethode für die Geschwindigkeitsmessung von Mikrowellen

Sender und Empfänger so aufstellen, daß sie sich in größtmöglichem Abstand gegenüberstehen. Die Wachsobjektive müssen für das maximale Empfangssignal justiert werden; typischerweise werden sie sich in ca. 40 cm Abstand von dem offenen Ende jedes Horns befinden. Um die Ausrichtung des Mikrowellenstrahls zu vereinfachen, sollte es möglich sein, die hohlen Richtstäbe als "Visierhilfen" zu verwenden.

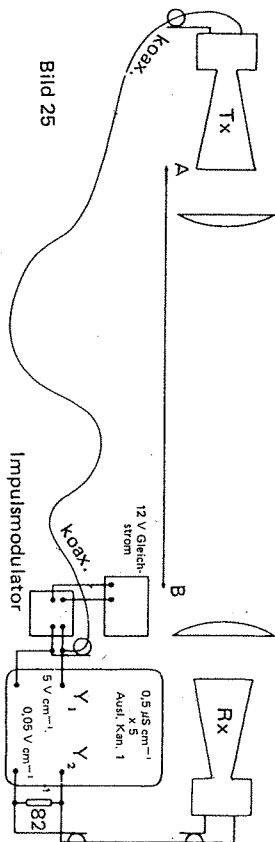


Bild 25

Das Oszilloskop möglichst genau so wie in Bild 25 gezeigt einstellen.

Der empfangene Impuls hat gewöhnlich eine sehr unklare Vorderflanke, jedoch eine klare Rückflanke. Die Lage vom Empfänger vorsichtig justieren, um diesem Impuls die Hälfte der Höhe des kalibrierten Teils des Schirmes zu geben. Auf der Achse x die Stelle vermerken, wo die Mitte (oder ein sonstiger leicht erkennbarer Teil) des Impulses liegt.

Jetzt den Empfänger und das Gestell aufnehmen, jedoch die Objektiv zurücklassen. Sich dem Empfängerobjektiv nähern und den Sender an einem Punkt aufstellen, an dem der neue empfangene Impuls die gleiche Amplitude hat wie zuvor. Man muß den Sender in möglichst großer Entfernung von seiner vorherigen Lage aufstellen, und deshalb müßte er in der neuen Lage evtl. etwas seitlich orientiert werden, um die Größe des Impulses zu schwächen.

Eine sorgfältige Überprüfung wird zeigen, daß der Impuls nun einen oder zwei Millimeter weiter links von seiner früheren Lage liegt. Die Strecke, um die er sich nach links verschoben hat, muß so genau wie möglich gemessen werden.

Als Beispiel für die Berechnung nehmen wir an, daß die Strecke, um die der Sender versetzt worden ist, 6 m beträgt; und daß sich der empfangene Impuls auf dem Oszilloskopschirm um 2 mm nach links bewegt. Die Zeitbasis ist auf $0,5 \mu\text{s cm}^{-1}$ eingestellt, und das "5X"-System wird angewendet. Die Verringerung des Signalwegs um 6 m hat dann dazu geführt, daß sich die Zeitdauer des Impuls um

$$0,2 \times 0,5 \times 10^{-6} \times \frac{1}{5} \text{ s vermindert.}$$

Folglich ist die Mikrowellengeschwindigkeit gleich $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$. (Wir nehmen hier natürlich an, daß die unbekanntesten Verzögerungszeiten bei der Elektronik und dem elastischen Koaxialen Kabel konstant sind).

25. Der Hohlleiter

Um die Mikrowellenausbreitung in einem Hohlleiter zu untersuchen, wird das Horn von dem Sender entfernt, und der Hohlleiter fest an dessen Stelle eingeschraubt. Ein Diodenastkopf kann entlang des Leiters beigegeben werden und muß weit genug entlang der Richtung des E-Feldes in den Leiter hinein vorspringen, um die Stärke des Feldes auf einem 100- μ A-Meßgerät aufzeigen zu können.

Andererseits kann der Leitterastkopf, falls die Versorgung des Senders unausgeglichen ist, auch an den Eingang eines Tonfrequenzverstärkers angeschlossen werden.

Das entfernte Ende des Leiters kann durch einen "Kurzschluß", eine angepaßte Wirklast, einen offenen Stromkreis oder auch durch das ursprüngliche Horn abgeschlossen werden. Wenn das entfernte Ende des Leiters entweder "offen" oder "kurzgeschlossen" ist, ergeben sich Stehwellen innerhalb des Leiters. Unter Verwendung des Leitterastkopfes kann aufgezeigt werden, daß deren Wellenlänge leicht von der Wellenlänge im Vakuum abweicht, da die Geschwindigkeit von EM-Wellen in einem Leiter nicht die gleiche wie in einem Vakuum ist.

Wenn der Leiter sachgerecht abgeschlossen ist, ergeben sich gar keine stehende Wellen, da die gesamte Einfalleistung durch die angepaßte Wirklast aufgenommen oder durch das Horn in den Raum vergeben wird. Die Empfängerantenne selbst jedoch beeinflusst unvermeidlicherweise das genaue Verhalten der Wellen in dem Leiter, so daß es fast unmöglich wird, stehende Wellen mit Nullwert zu erhalten.

26. Dielektrische Antennen

Geeignete dielektrische Formen können anstelle von leitenden Hohlgebilden als Antennen verwendet werden. Experimente mit diesen müssen durchgeführt werden, indem das Empfängerhorn entfernt wird; *man darf auf keinen Fall eine falsche Belastung am Sender riskieren*. Eine typische dielektrische Antenne könnte aus einem Plexiglasstab mit 23 x 9 mm Querschnitt und von 50 bis 80 mm Länge bestehen. Dieser kann, nachdem das Horn entfernt worden ist, bis zu 5 mm in das Ende des Empfänger-Wellenleiters eingeführt werden. Man kann verschiedene Längen und Formen, sich verjüngende Stäbchen, sowie verschiedene Einführtiefen in den Leiter ausprobieren.

Im Zuge der Bemühungen, die Ausführungen zwecks Anwendung der vorrheifbarsten Technologie laufend auf den neuesten Stand zu bringen, behält sich UNILAB Ltd. das Recht vor, Instrumente zu liefern, die in bezug auf Stromkreiseinzelheiten von den in diesem Heft angegebenen abzuweichen könnten.