

|                               |         |              |                      |
|-------------------------------|---------|--------------|----------------------|
| Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck | Band 67 | S. 235 – 242 | Innsbruck, Juli 1980 |
|-------------------------------|---------|--------------|----------------------|

## Physikalische Grundlagen und Wirkungsweise des Laser-Ametropie-Testers

von

Walter AMBACH und Wolfgang REHWALD\*)

(Institut für Medizinische Physik der Universität Innsbruck)

### Physical Principles and Operation of the Laser-Ametropia-Tester

**Synopsis:** The physical principle of the laser-ametropia-tester is an interference-phenomenon of the coherent laser light. If the speckle is watched, the direction of its relative movement to the movement of the head is characteristic for myopia or hyperopia. The reason for the movement in both cases is the fact, that the focus of the eye-lense does not lie on the retina. This can be shown by a demonstration-experiment. The great advantage of the laser-test is, that ametropia can be determined by a yes-no decision. The simple use of the laser-tester has been shown by some experiments with a group of 106 persons.

#### 1. Einleitung:

Eine neue Anwendungsmöglichkeit des Lasers in der Ophthalmologie besteht in der Feststellung einer Fehlsichtigkeit des menschlichen Auges (GREGUSS, 1976). Der dazu notwendige Aufwand ist sehr gering. Das enge Bündel des Laserstrahls wird mittels einer geeigneten Linse aufgefächert und auf eine Leinwand projiziert. Das Projektionsbild wird mit entspanntem Auge beobachtet. Es sind Hell-Dunkelstrukturen sichtbar, die als Interferenzmuster zu interpretieren sind. Werden diese beobachtet, so zeigen sie für ein normalsichtiges Auge ein anderes Verhalten wie für ein fehlsichtiges Auge. Dies äußert sich in einer unterschiedlichen Relativbewegung der dunklen Interferenzstrukturen gegenüber den hellen bei einer Bewegung des Kopfes. Bei Kurzsichtigkeit bewegt sich das Interferenzmuster gegensinnig zur Kopfbewegung, bei Weitsichtigkeit gleichsinnig. Bei einem normalsichtigen Auge ist keine eindeutige Bewegungsrichtung feststellbar.

\*) Anschrift der Verfasser: Univ.-Prof. Dr. phil. W. Ambach und Dr. phil. W. Rehwald, Institut für Medizinische Physik, Müllerstraße 44, A-6020 Innsbruck, Österreich.

## 2. Physikalische Grundlagen der Entstehung des Interferenzmusters:

Laserlicht ist vollständig kohärentes Licht und zeigt aus diesem Grunde deutliche Interferenzerscheinungen. Den Unterschied zwischen kohärentem und inkohärentem Licht kann man an Hand des Begriffes der Kohärenzlänge erläutern (BERGMANN-SCHÄFER, 1974). Von einer ideal kohärenten Lichtquelle, wie dem Laser, werden unendlich lange Wellenzüge ausgesendet, die zueinander eine feste, d. h. zeitlich konstante, Phasendifferenz haben und daher ein entsprechendes Interferenzphänomen ergeben. Von inkohärenten Lichtquellen, wie Glühlampen, werden nur begrenzte Wellenzüge, in der Größenordnung von einigen Metern, mit zeitlich wechselnder Phasendifferenz ausgesendet. Wegen der veränderlichen Phasendifferenz zwischen den Wellenzügen kann es in diesem Fall zu keiner Interferenzerscheinung kommen (Abb. 1).

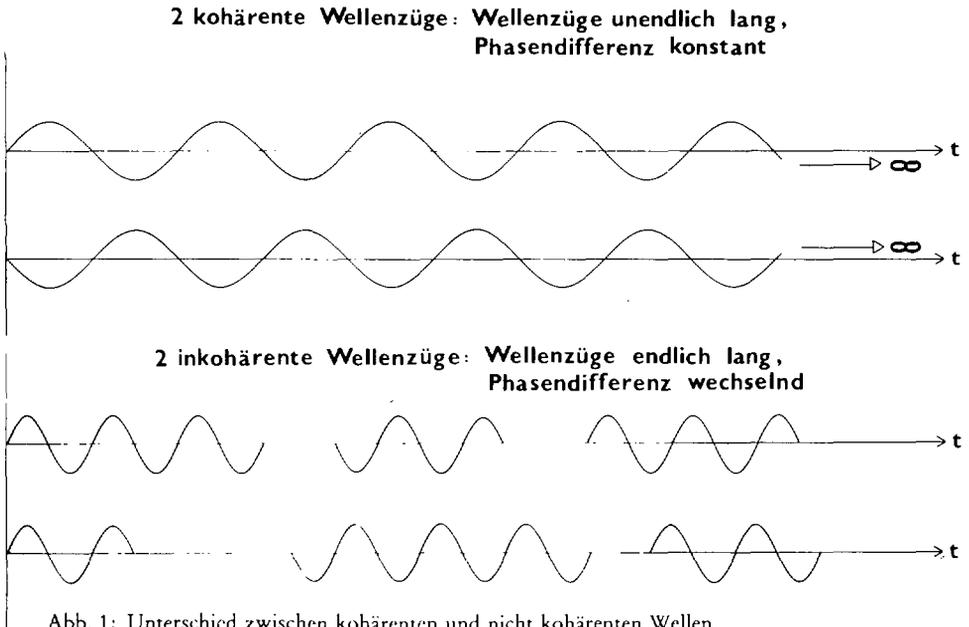


Abb. 1: Unterschied zwischen kohärenten und nicht kohärenten Wellen.

Wird ein kohärentes Lichtbündel (Laserstrahl) auf einen Schirm projiziert, so kommt es zu einer Überlagerung von einfallender und am Schirm reflektierter Strahlung und es entstehen Interferenzstrukturen. Dabei handelt es sich um keine regelmäßigen geometrischen Strukturen, sondern um unregelmäßig angeordnete Hell-Dunkelstrukturen, die durch die Streuung des Laserlichtes an der Oberfläche des Projektionsschirmes zustandekommen. Dieses Interferenzmuster wird als „Speckle“ bezeichnet (Abb. 2). Theoretisch wurde dieser Effekt von mehreren Autoren behandelt (RIGDEN und GORDON, 1962; OLIVER, 1963). Die Beobachtung des Interferenzmusters bei einer gleichzeitigen Bewegung des Kopfes löst bei Personen mit normalsichtigen Augen und bei Personen mit Fehlsichtigkeit unterschiedliche Eindrücke aus. Dies ist wie folgt zu verstehen: Bei einem normalsichtigen Auge wird ein parallel einfallendes Strahlenbündel im hinteren Brennpunkt des Auges, der in diesem Fall auf der

Netzhaut liegt, vereinigt. Dies ist unabhängig von der Position des Kopfes relativ zum Strahlenbündel (Abb. 3). Bei einem kurzsichtigen oder weitsichtigen Auge trifft hingegen ein gegenüber einem Vergleichsstrahl (1) parallel verschobener einfallender Strahl (1') jeweils einen anderen Punkt der Netzhaut (Abb. 4 und 5). Alle auf der Netzhaut entstehenden Bilder werden vom Gehirn nochmals umgekehrt.

Abb. 2: Interferenzmuster („Speckle“).

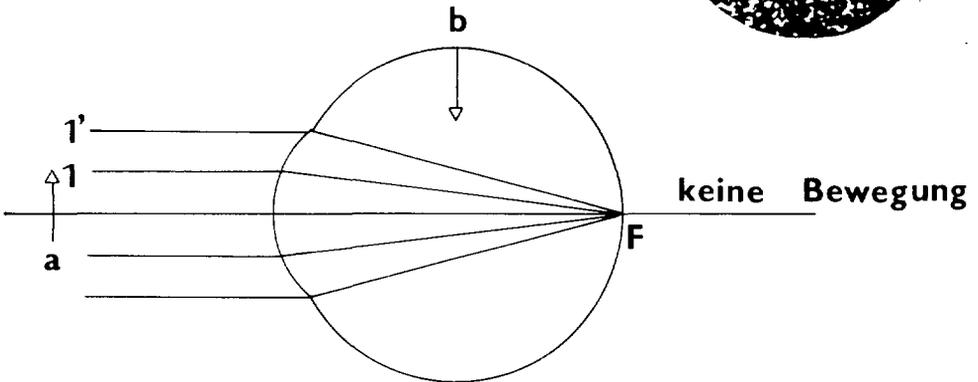


Abb. 3: Normalsichtigkeit: Alle Lichtstrahlen eines parallel einfallenden Strahlenbündels werden in einem Punkt der Netzhaut vereinigt. Eine Relativbewegung zwischen Strahlenbündel und Kopf, dargestellt durch die Pfeile a und b, hat keine Verschiebung des Bildpunktes auf der Netzhaut zur Folge.

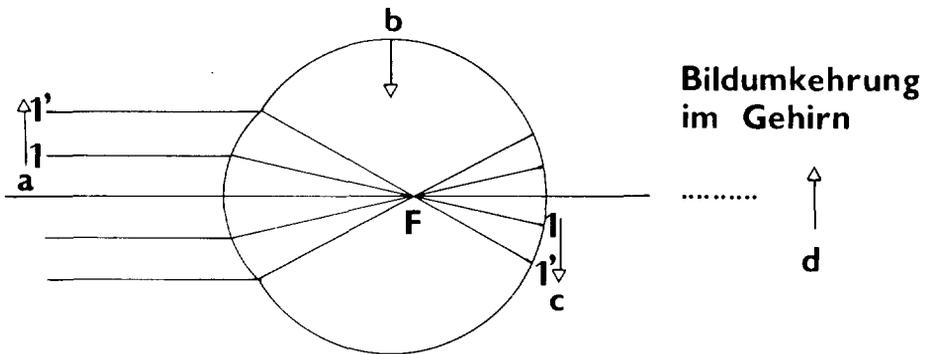


Abb. 4: Kurzsichtigkeit: Augapfel zu lang, Brennpunkt vor der Netzhaut. Eine Relativbewegung zwischen Strahlenbündel und Kopf, dargestellt durch die Pfeile a und b, bewirkt eine zur Kopfbewegung gleichsinnige Verschiebung des unscharfen Netzhautbildes (Pfeil c). Durch die Bildumkehr im Gehirn wird jedoch eine gegensinnige Bewegung wahrgenommen (Pfeil d).

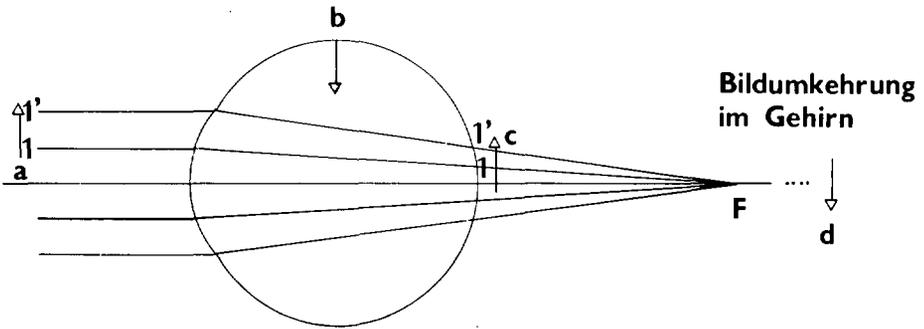


Abb. 5: Weitsichtigkeit: Augapfel zu kurz, Brennpunkt hinter der Netzhaut. Eine Relativbewegung zwischen Strahlenbündel und Kopf, dargestellt durch die Pfeile a und b, bewirkt eine zur Kopfbewegung gegenseitige Verschiebung des unscharfen Netzhautbildes (Pfeil c). Durch die Bildumkehr im Gehirn wird jedoch eine gleichsinnige Bewegung wahrgenommen (Pfeil d).

Die Beobachtung der Bewegung des Interferenzmusters bei einer angenommenen Kopfbewegung ist in Abb. 4 und 5 durch Pfeile markiert. Die Relativbewegung des Augapfels zum einfallenden Strahlenbündel ist durch die Pfeile a und b dargestellt. Pfeil c gibt die Verschiebungsrichtung des Netzhautbildes bei der angenommenen Bewegung des Kopfes, Pfeil d die im Gehirn stattfindende Umkehr der Bewegungsrichtung an. Als Ergebnis zeigt sich, daß bei Kurzsichtigkeit (Augapfel zu lang, Brennpunkt vor der Netzhaut) die beobachtete Bewegungsrichtung des Interferenzmusters (Pfeil d) gegensinnig zur Kopfbewegung (Pfeil b) auftritt, bei Weitsichtigkeit (Augapfel zu kurz, Brennpunkt hinter der Netzhaut) hingegen die beobachtete Bewegungsrichtung des Interferenzmusters gleichsinnig zur Bewegung des Kopfes ausfällt (Pfeil d und b).

### 3. Demonstrationsversuch zum Laser-Ametropie-Tester:

Mit Hilfe eines Demonstrationsexperimentes kann die Relativbewegung von Augapfel und Interferenzbild, dargestellt in Abb. 4 und 5 als Pfeile b und c, auf der optischen Bank anschaulich dargestellt werden. Der prinzipielle Aufbau des Demonstrationsexperimentes ist aus Abb. 6 zu entnehmen. Der Lichtstrahl eines He-Ne Lasers wird mittels einer Linse  $L_1$  (+ 10 dpt) aufgefächert und auf eine Mattglasscheibe  $S_1$  projiziert. Das dabei entstehende Interferenzmuster wird nicht in Reflexion, sondern im Durchlicht von einem Auge betrachtet, das auf der optischen Bank durch das System Blende B, Linse  $L_2$  (+ 10 dpt) und Projektionsschirm  $S_2$  simuliert wird. Dieses „Auge“ kann in horizontaler Richtung um den Drehpunkt A geschwenkt werden, entsprechend einer Relativbewegung des Kopfes zum Interferenzmuster auf der Leinwand. Die Position von  $S_2$  ist fix, Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit werden durch Verschiebung der Augenlinse  $L_2$  dargestellt. Wird der Abstand  $L_2S_2$  größer als die Brennweite der Linse  $L_2$  gewählt, dann wird der Fall eines kurzsichtigen Auges simuliert. Eine Drehung des optischen Systems Auge in eine gewählte Richtung führt zu einer gleichsinnigen Bewegung des Interferenzmusters auf dem Schirm  $S_2$ . Diese gleichsinnige Bewegung wird in Abb. 4 durch die Pfeile b und c dargestellt. Wird der Abstand  $L_2S_2$  kleiner als

die Brennweite von  $L_2$  eingestellt, so liegt der Brennpunkt von  $L_2$  hinter  $S_2$  und es wird der Fall eines weitsichtigen Auges simuliert. Eine Relativbewegung des „Auges“ zum Interferenzmuster ergibt nun eine gegensinnige Bewegung des Speckle auf dem Schirm  $S_2$ , wie in Abb. 5 durch die Pfeile b und c dargestellt ist. Die Umkehrung der Bewegung im Gehirn (Pfeil d) wird in diesem Experiment nicht erfaßt.

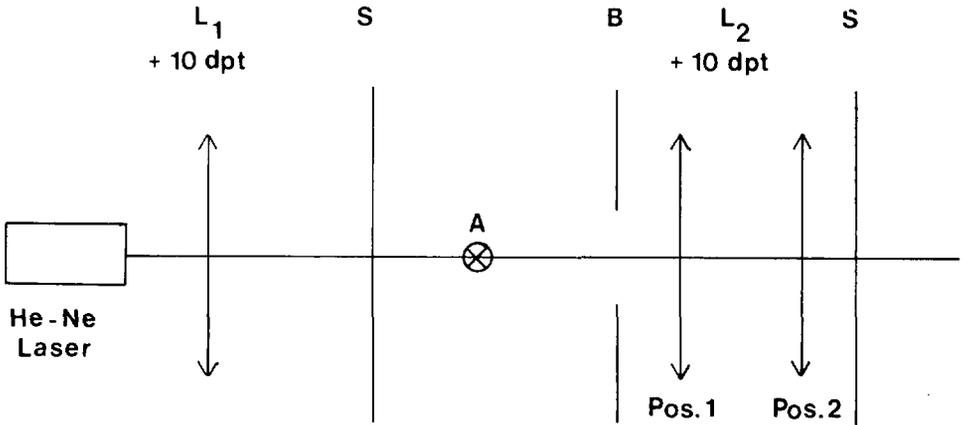


Abb. 6: Aufbau des Demonstrationsversuches auf der optischen Bank:

- $L_1$  . . . Linse zum Auffächern des Laserstrahls
- $S_1$  . . . Mattglasscheibe mit Interferenzmuster
- A . . . Drehpunkt der optischen Bank zur Simulation der Kopfbewegung
- B . . . Blende als Iris
- $L_2$  . . . Linse als Augenlinse in Position 1 oder Position 2
- $S_2$  . . . Schirm als Netzhaut.

#### 4. Testbeispiel:

Inwieweit diese Möglichkeit, Fehlsichtigkeit zu konstatieren, praktisch anwendbar ist, wurde an einem größeren Personenkreis qualitativ untersucht. Als Kollektiv stand eine Gruppe von 106 Studenten zur Verfügung, 62 davon männlich, 44 weiblich. Folgende Altersverteilung war gegeben: 37 Personen 18 Jahre, 46 Personen 19 Jahre, 13 Personen 20 Jahre, 10 Personen älter als 20 Jahre. 46 von den 106 Personen waren Brillenträger. Die Studenten wurden aufgefordert, die folgenden Tests jeweils nur mit einem Auge durchzuführen und das Interferenzmuster mit entspanntem Auge zu beobachten. Da die Mindestentfernung zwischen Projektionsleinwand und Probanden 7 m betrug, ist die Beobachtung mit entspanntem Auge gewährleistet. Als Ergebnis wurde festgestellt:

- a) Von den 46 Brillenträgern bezeichneten sich 42 als kurzsichtig und 4 als weitsichtig. Nachdem diese Personen mit den von ihnen normalerweise verwendeten Brillen den Lasertest durchgeführt hatten, machten sie folgende Angaben:  
 Von den 42 Kurzsichtigen stellten bei Verwendung ihrer Brille fest:
  - Normalsichtigkeit 22 von 42
  - Kurzsichtigkeit 18 von 42
  - Weitsichtigkeit 2 von 42

Das bedeutet, daß für 22 von 42 die Stärke der Brille der Fehlsichtigkeit angemessen war, während 18 von 42 eine zu schwache Brille benützten und 2 von 42 eine zu starke. Von den 4 Weitsichtigen stellten alle 4 Personen auch mit Brille Weitsichtigkeit fest. Es wurden also zu schwache Brillen benützt.

- b) In einen weiteren Versuch wurden jene 60 Studenten getestet, die keine Brille benützten, weil sie sich für normalsichtig hielten. Dieser Test brachte folgendes Ergebnis:

Normalsichtigkeit 23 von 60

Kurzsichtigkeit 17 von 60

Weitsichtigkeit 20 von 60

Das bedeutet, daß von 60 Studenten, die sich für normalsichtig hielten, tatsächlich nur 23 ohne Fehlsichtigkeit waren, hingegen 17 kurzsichtig und 20 weitsichtig. Über den Grad der Fehlsichtigkeit kann allerdings nichts gesagt werden.

- c) Um nähere Aufschlüsse über die Genauigkeit dieser Testmethode zu erhalten, wurde untersucht, bei welcher Stärke von Korrekturlinsen Testpersonen einen Umschlag in der Bewegung des Interferenzmusters feststellen können. Von den 4 Testpersonen bezeichneten sich 2 als normalsichtig, je eine als kurzsichtig bzw. weitsichtig. Die Verwendung zusätzlicher Brillengläser mit den kleinstmöglichen Abstufungen der Brechkraft von 0,12 dpt zeigte das in Tabelle 1 wiedergegebene Ergebnis. Wurde von der Testperson eine

Tab. 1: Testergebnis: N (Normalsichtigkeit): keine definierte Bewegung des Interferenzmusters, K (Kurzsichtigkeit): gegensinnige Bewegung, W (Weitsichtigkeit): gleichsinnige Bewegung.

| Testlinse  | 1. Proband | 2. Proband | 3. Proband | 4. Proband |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0 dpt      | N          | N          | K          | W          |
| - 0,12 dpt | N          |            | K          |            |
| - 0,25 dpt | N          |            | W          |            |
| - 0,50 dpt | W          |            | W          |            |
| + 0,12 dpt |            | N          |            | W          |
| + 0,25 dpt |            | K          |            | K          |

gegensinnige Bewegung des Interferenzmusters zur Kopfbewegung festgestellt, so wurde das Testergebnis mit dem Symbol K (Kurzsichtigkeit) festgehalten, bei gleichsinniger Bewegung mit W (Weitsichtigkeit) und bei undefinierter Bewegung mit N (Normalsichtigkeit). Es genügte also in allen Fällen eine Zusatzbrille von 0,12 bis 0,50 dpt, um eine Umkehr der Bewegungsrichtung festzustellen. Wenn es sich dabei auch nur um Einzelbeobachtungen handelt, so deuten diese Ergebnisse doch darauf hin, daß es mit Hilfe des Lasertests möglich ist, relativ genaue Bestimmungen des Grades der Fehlsichtigkeit sehr einfach durchzuführen. Dies stimmt mit den Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen überein (KNOLL, 1966; BALDWIN und STOVER, 1968; DWYER et al., 1972 und 1973).

Der Vorteil dieser Methode beruht im wesentlichen darauf, daß es gelingt, den Grad der Fehlsichtigkeit durch eine ja-nein Entscheidung festzustellen, während üblicherweise subjektiv die Schärfe eines bestimmten Zeichens als Maßstab herangezogen wird. Der Lasertest hat damit große Ähnlichkeit mit dem Verfahren der Skiaskopie, bei der ein sogenannter Umkehr- oder Flackerpunkt das Meßkriterium bildet (STRAUB, 1976). Der Arzt beobachtet dabei durch die

Pupille des Patienten im Prinzip die Bewegung eines Lichtpunktes auf der Netzhaut. Als Lichtquelle dient ein Beleuchtungsspiegel. Eine Drehung dieses Spiegels bewirkt eine Bewegung des Lichtpunktes auf der Netzhaut, die gleichsinnig oder gegensinnig sein kann. Neben Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit können mit der Skiaskopie auch Astigmatismus und sphärisches Aberration festgestellt werden. Ob dies auch mit dem Laser-Ametropie-Tester möglich sein wird, hängt von der Entwicklung geeigneter Geräte ab. Einige Versuche, den Laser auch zur Bestimmung des Astigmatismus zu verwenden, wurden bereits unternommen (PHILLIPS und STERLING, 1975; LONG und HAINE, 1975). Hingegen tritt beim Laser-Tester wegen des monochromatischen Lichtes keine chromatische Aberration durch die Augenlinse des Patienten auf, wodurch bei der Skiaskopie der Umkehrpunkt von der verwendeten Lichtquelle abhängt.

## 5. Zusammenfassung:

Die physikalische Grundlage der Wirkungsweise des Laser-Ametropie-Testers ist eine Interferenzerscheinung des kohärenten Laserlichtes. Wird das entstehende Interferenzmuster bei einer Kopfbewegung beobachtet, so ist die Richtung der Relativbewegung des Interferenzmusters zur Kopfbewegung kennzeichnend für Kurzsichtigkeit bzw. Weitsichtigkeit. Gegensinnige Bewegung bedeutet Kurzsichtigkeit, gleichsinnige Bewegung bedeutet Weitsichtigkeit. Die Ursache der Bewegung ist in beiden Fällen die Tatsache, daß der Brennpunkt der Augenlinse nicht auf der Netzhaut liegt. Dies läßt sich anschaulich an einem Demonstrationsexperiment zeigen. Der große Vorteil des Laser-Tests besteht darin, daß Fehlsichtigkeit durch eine eindeutige ja-nein Entscheidung bestimmt werden kann. Die einfache Anwendung des Laser-Testers wurde mit einigen Versuchen an einer Gruppe von 106 Personen gezeigt.

## 6. Literatur:

- BALDWIN, W. R. und W. B. STOVER (1968): Observation of laser standing wave patterns to determine refractive status. – Am. J. Optom. and Arch. Am. Acad. Optom., **45** (3): 143 – 151.
- BERGMANN, L. und C. SCHÄFER (1974): Lehrbuch der Experimentalphysik, Band III, Optik, Berlin, 230 pp.
- DWYER, W. O., P. KENT, J. POWELL, P. McELVAIN and J. REDMOND (1972): Reliability of laser refraction technique for different refractive groups. – Am. J. Optom. and Arch. Am. Acad. Optom., **49** (11): 929 – 931.
- DWYER, W. O., D. GRANATA, R. BOSSIN and S. R. ANDREAS (1973): Validity of laser refractive technique in determining spherical error for different refractive groups. – Am. J. Optom. and Arch. Am. Acad. Optom., **50** (3): 222 – 225.
- GREGUSS, P. (1976): Laser als Sonde in der biomedizinischen Forschung, Medizinische Physik in Forschung und Praxis. Hb. A. KAUL, Berlin, 99 pp.
- KNOLL, H. A. (1966): Measuring ametropia with a gas laser; a preliminary report. – Am. J. Optom. and Arch. Am. Acad. Optom., **43** (7): 415 – 418.
- LONG, W. F. and C. L. HAINE (1975): The endpoint of laser patterns meridional refraction. – Amer. J. Optometry **52**: 582 – 586.
- OLIVER, B. M. (1963): Sparkling spots and random diffraction. – Proc. Inst. Electr. and electr. Engrs., **51**: 220 – 221.
- PHILLIPS, D., W. STERLING and W. O. DWYER (1975): Validity of the laser refraction technique for determining cylindrical error. – Amer. J. Optometry **52**: 328 – 331.
- RIGDEN, J. G. and E. I. GORDON (1962): The granularity of scattered optical maser light. – Proc. Inst. Radio Engineers, **50**: 2367 – 2368.
- STRAUB, L. (1976): Die ophthalmologischen Untersuchungsmethoden, 2. Band, Stuttgart, 299 pp.



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [67](#)

Autor(en)/Author(s): Ambach Walter, Rehwald Wolfgang

Artikel/Article: [Physikalische Grundlagen und Wirkungsweise dess Laser-Ametropie-Testers. 235-242](#)