

3. Feinstaub über den „Foucault-Test“.

Inhalt

3.1. Keine überzogenen Erwartungen	1
3.2. Krümmungspunkt und Brennpunkt.....	2
3.3. Der Foucault-Aufbau auf der optischen Bank	4
3.4. Wir schauen auf unsere eigene Hand.....	7
3.5. Eine mehrfache Störung.....	9
4.6. Ein Blick auf die optische Bank.....	11

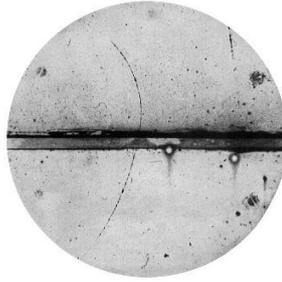
3.1. Keine überzogenen Erwartungen

Wie bereits erwähnt, ist jeder Mensch von einer Aura umgeben, einer Reihe von immer dünneren Schichten, die nicht alle optischer Natur sind. Nur die dünnsten Schichten, so meinen einige, könnten unter genau definierten Bedingungen optisch wahrgenommen werden. Dies bedeutet auch, dass die Erwartungen an eine solche streng wissenschaftliche Untersuchung nicht zu hoch sein dürfen. Aber selbst der geringste Hinweis auf die Existenz einer Aura erscheint uns als höchst bedeutsame Tatsache, und zwar wegen ihrer wissenschaftlichen, philosophischen und, ja, sogar religiösen Konsequenzen. Seher und Visionäre berichten uns, dass eine Aura existiert und bei manchen Menschen recht groß sein kann. Wenn wir etwas von diesen Behauptungen auch nur annähernd in einer für alle akzeptablen Weise beweisen können, dann wird ihre Behauptung immer wahrscheinlicher.

Was können wir also erwarten? Einen Hinweis? Einen flüchtigen Blick in einem Spiel aus Licht und Dunkelheit? Das wäre sicherlich ein Anfang. Lassen Sie uns einen Moment lang untersuchen, was realistisch möglich scheint.

Nehmen wir zum Beispiel die bewusste Nebelkammer, auch „Irrlichtkammer“^[i] genannt. Es handelt sich um ein wissenschaftliches Instrument, das für die Entwicklung der Teilchenphysik von historischer Bedeutung war. Im Jahr 1911 gelang es dem Erfinder C. Wilson, mit ihr unter anderem die Bahn eines Elektrons fotografisch aufzuzeichnen.

[i] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Nevelvat>



Ein solches Gefäß ist mit Wasserdampf gefüllt. Extrem kleine, sich bewegende Teilchen ziehen die Dampfmoleküle darin an und machen so ihre Flugbahnen sichtbar. Wer das alles nicht weiß, wird auf dem fraglichen Foto nur eine schwach gekrümmte Linie erkennen, die scheinbar kaum eine Bedeutung hat. Diejenigen, die die ganze Geschichte kennen, sehen darin eine eindrucksvolle praktische Bestätigung einer Theorie, nach der seit Jahren gesucht wird.

Oder man vergleicht es mit dem Ultraschall, einer Technik, die es versteht, weiche und harte Teile im menschlichen Körper zu unterscheiden. Wer sich unvorbereitet z.B. das Bild einer Lunge oder eines noch nicht geborenen Kindes ansieht, weiß kaum, wie er die Ergebnisse interpretieren soll. Da muss man schon etwas suchen. Ganz anders ist es für einen Spezialisten, der ein solches Bild fast nach Augenmaß interpretieren kann.

Daher ist es am besten, wenn wir unsere optische Suche nach der möglichen Existenz von Feinstaub mit eher gedämpften Erwartungen beginnen. Fortune und Brennan haben uns bereits auf den Unterschied zwischen dem Sehen mit unseren Zapfen und unseren Stäbchen hingewiesen. Die Zapfen helfen uns, Farben bei Tageslicht zu unterscheiden, die Stäbchen sind da, wenn wir bei schwachem Licht beobachten wollen. Es ist schön zu lesen, dass Astronomen dies auch berücksichtigen, wenn sie den Nachthimmel durch ihr Fernglas betrachten. Sie sprechen von der Dunkelgewöhnung, einer Anpassung des Auges an die nächtliche Dunkelheit. In einem faszinierenden Text des Astronomen J. Van Gastel^[1] lesen wir, dass diese Gewöhnung bis zu mehr als einer halben Stunde dauern kann. Diese Zeitspanne sollten wir unbedingt im Auge behalten und respektieren, um zu sehen, was sich unserem Betrachter in der Dämmerung zeigt. Und hier stoßen wir auf ein Element, das eine gewisse Subjektivität mit sich bringt: die Empfindlichkeit des Auges. Diese kann von Mensch zu Mensch unterschiedlich sein. Manche werden etwas schneller bemerken als andere. Das sollte uns aber nicht davon abhalten, unsere Experimente sorgfältig durchzuführen.

3.2. Krümmungspunkt und Brennpunkt

Beginnen wir mit dem effektiven Aufbau des Versuchsaufbaus, der für die Durchführung des Foucault-Tests erforderlich ist. Dieser Test wurde 1858 von dem französischen Physiker Léon Foucault beschrieben. Er deckt Fehler auf, die durch das „Schleifen“ von sphärischen

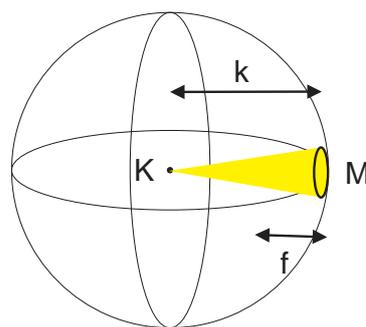
Spiegeln bis auf den Bruchteil einer Lichtwellenlänge genau entstehen. Es handelt sich dabei um den Standardtest, der allen Amateur-Spiegelschleifern bekannt ist. Durch das absichtliche Schleifen von zwei Glasscheiben übereinander, zwischen denen sich eine Masse harter Körner befindet, wird die obere Glasscheibe allmählich konvex und die untere konkav. Nach der Fertigstellung wird letztere mit einer reflektierenden Schicht überzogen und dient dem Betrachter schließlich als Spiegel.

[\[i\] file:///C:/Benutzer/Walter/Desktop/opica%20new%202024/darkadjustment.pdf](file:///C:/Benutzer/Walter/Desktop/opica%20new%202024/darkadjustment.pdf)

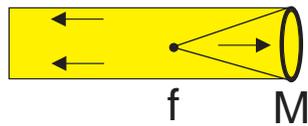
Hier wird die bereits geschliffene Hohlglasscheibe von ihrer „Krümmungsmitte“ aus freigelegt. Wir werden dies gleich erläutern.

Die folgende Zeichnung stellt eine perfekte Kugel dar. Ihr Umfang besteht aus einer Glasschicht. K (der Großbuchstabe) ist ihr Zentrum. In diesem Punkt befindet sich eine kleine Lichtquelle. Von hier aus beleuchten wir einen Teil des Umfangs, der durch den gelben, divergierenden Strahl gekennzeichnet ist.

Der Raum auf der Kugel, der rechts durch den kleinen schwarzen Kreis und den Großbuchstaben M gekennzeichnet ist, ist unsere Glasscheibe, die später zum Hohl- oder Kugelspiegel wird. Ihr Mittelpunkt K ist auch der Krümmungsmittelpunkt der Glasscheibe M. Der Abstand von K zu M, dargestellt durch den kleinen Buchstaben k, ist der Krümmungsabstand. Man sagt, dass die Glasscheibe M, oder später der fertige Spiegel M (von Mirror), sich hier in der Krümmungsentfernung befindet. In dieser Position laufen alle divergierenden Strahlen nach der Reflexion an M in demselben Punkt K zusammen.

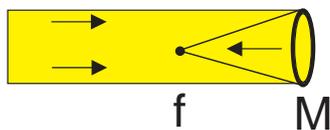


Veranschaulichen Sie den Unterschied zwischen Krümmungsabstand und Brennweite. Die Brennweite f des Spiegels M ist gleich der halben Krümmungsweite k . Die nachstehende Zeichnung zeigt, dass ein Spiegel M oder eine Linse L, die vom Brennpunkt aus beleuchtet wird, Lichtstrahlen parallel zu ihm reflektiert.



Umgekehrt wird ein paralleler Lichtstrahl, der auf den Spiegel M gerichtet ist, im Brennpunkt konvergieren. Dies geschieht in einem Newton-Teleskop (siehe die Zeichnung unten links).

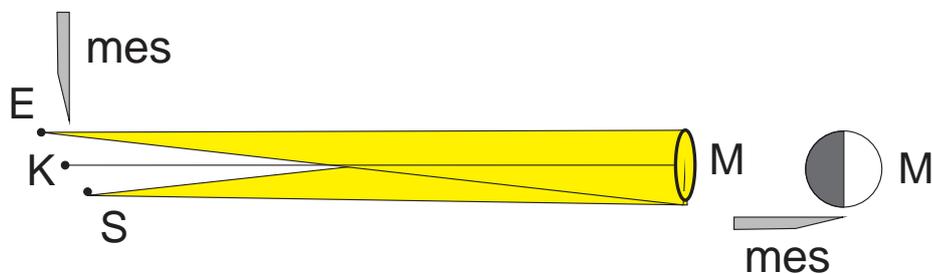
Ein paralleler Sonnenstrahl, der auf eine Linse gerichtet ist, konvergiert in einer kleinen Ebene. Diese wird so heiß, dass wir ein Stück Papier damit verbrennen.



3.3. Der Foucault-Aufbau auf der optischen Bank

Bei der Durchführung des Foucault-Tests wird das Licht (fast) vom Krümmungspunkt aus beleuchtet, wie auf der Glaskugel weiter oben in diesem Text dargestellt. Nach der Reflexion an der Glasscheibe wird es wieder (fast) zu diesem Krümmungspunkt K konvergieren.

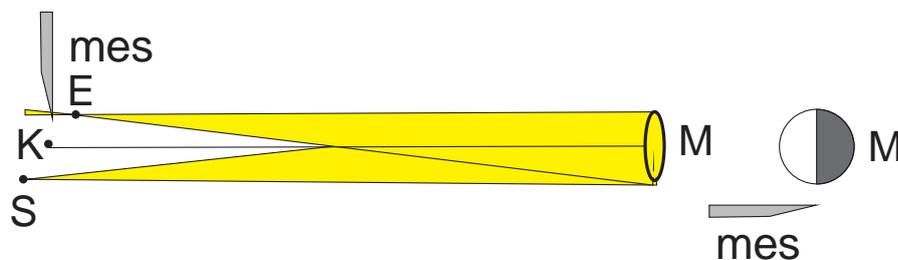
Der Foucaultversuch besteht darin, diesen konvergierenden Kegel in der Nähe des Konvergenzpunktes K mit einem Messer anzuschneiden. Dabei zeigen sich Licht- und Schattenfäden, die bei richtiger Interpretation mögliche Fehler in der Glasscheibe aufzeigen und einen Anhaltspunkt zu deren Beseitigung liefern. Erläutern Sie im Folgenden das Prinzip dieses Tests.



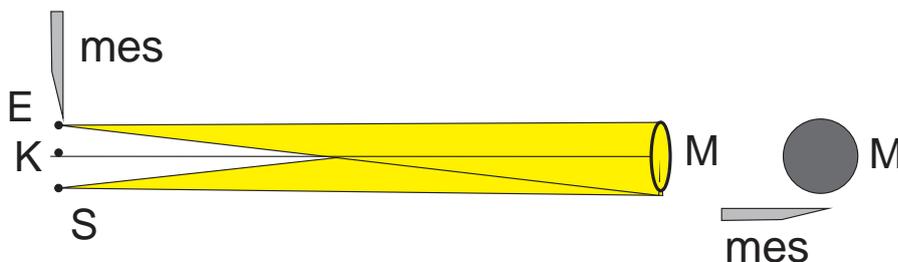
In der obigen Abbildung, einer Draufsicht, wird der Spiegel M von der Lichtquelle S (Quelle) divergent beleuchtet. Der Punkt S befindet sich in der Nähe von K, aber direkt neben

ihm. In der obigen Zeichnung ist dieser Punkt S näher am Spiegel als der Krümmungspunkt K. Das Licht wird vom Spiegel M reflektiert und konvergiert im Punkt E („E“ von Eye).

Nach der Spiegelformel $1/f = 1/v + 1/b$ konvergiert das Licht in E, knapp hinter dem Krümmungspunkt. Auf der Höhe von K wird die Klinge allmählich in den Lichtstrahl geschoben. Wenn der Lichtstrahl an dieser Stelle noch nicht vollständig konvergiert ist, mit anderen Worten, wenn alle Lichtstrahlen in Höhe des Messers noch nicht zu einem einzigen „Punkt“ konvergiert sind, dann sieht man von E aus, wie der Spiegel, den wir hier in der Vorderansicht sehen, allmählich von links nach rechts dunkler wird. Dies geschieht : zusammen mit der Bewegung der Klinge. Als Ergebnis weiß man, dass S und E nicht im Krümmungsabstand von M sind. S ist zu nahe an M. Um dies zu beheben, muss die Punktlichtquelle S weiter vom Spiegel M entfernt platziert werden. Oder, was auf dasselbe hinausläuft, der Spiegel muss etwas weiter von der Punktlichtquelle entfernt sein. In der folgenden Zeichnung ist dies in übertriebenem Maße geschehen.

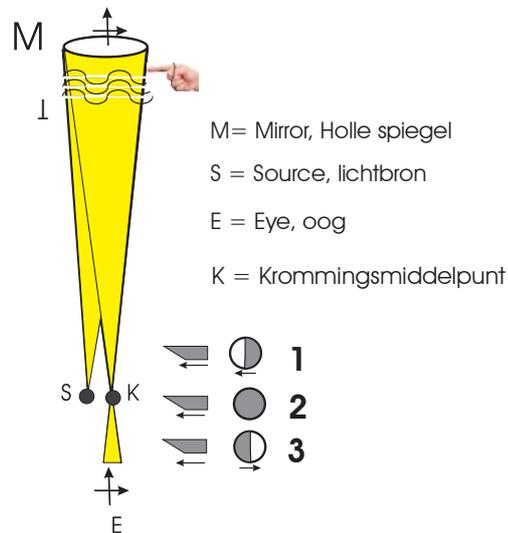


In der obigen Abbildung wird der Spiegel wieder von S aus beleuchtet. Allerdings ist S weiter vom Spiegel M entfernt als der Krümmungsmittelpunkt K. Das Licht von S, das den Spiegel M erreicht, wird reflektiert und konvergiert noch vor dem Krümmungsmittelpunkt K in E. Das bedeutet aber, dass das Licht über E hinaus wieder divergiert. Das liegt daran, dass sich das Licht geradlinig ausbreitet. Das Messer schneidet also zuerst die Lichtstrahlen, die nicht von links, sondern von rechts kommen. Wir sehen dies wieder in der Vorderansicht ganz rechts. Wir wissen, dass S zu weit vom Spiegel entfernt ist.



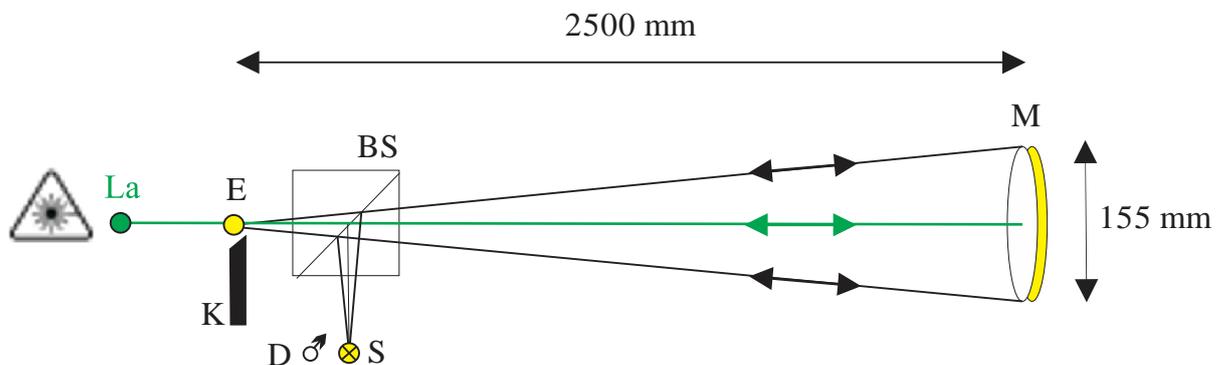
Schließlich befindet sich S auf der Höhe des Krümmungspunkts K. Die reflektierten

Strahlen laufen in E zusammen. Die Klinge im Strahl wird nun nicht zuerst den Spiegel M von links nach rechts oder umgekehrt verdunkeln, sondern allmählich auf der gesamten Fläche. Wir werden diese letzte Situation nutzen, um unseren Spiegel so weit wie möglich in den Krümmungsabstand zu bringen. Die drei verschiedenen Situationen sind unten in einer Zeichnung zusammengefasst.



Wenn der Spiegel schön kugelförmig geschliffen ist und man die Klinge in Höhe des Krümmungspunktes K in den Lichtweg bringt, bewirken Störungen in diesem Weg ein Spiel von Licht und Schatten. Dunkle Strahlen und Verwirbelungen zeigen sich im Lichtweg. Darauf beruht die so genannte „Schlierenfotografie“. Dies würde jedoch den Rahmen unseres Themas sprengen. Wir werden das Messer nicht weiter verwenden.

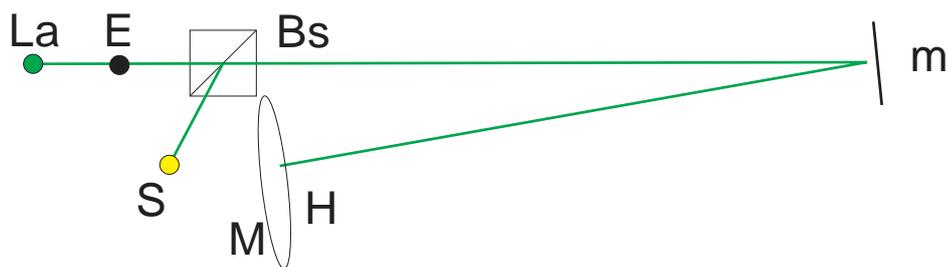
Was werden wir dann tun? Wir behalten den Aufbau bei, arbeiten aber achsial. Das bedeutet, dass wir unseren Hohlspiegel (M) in einem Krümmungsabstand (2500 mm) sowohl von unserer Lichtquelle S ('S', from Source) als auch vom Beobachtungsort ('E', from Eye, eye) aufstellen. Dazu verwenden wir einen Strahlteiler, einen transparenten Würfel mit einem halbdurchlässigen Spiegel in der Diagonale ('BS', 20mm²) und richten ihn mit einem Laser ('La') aus.



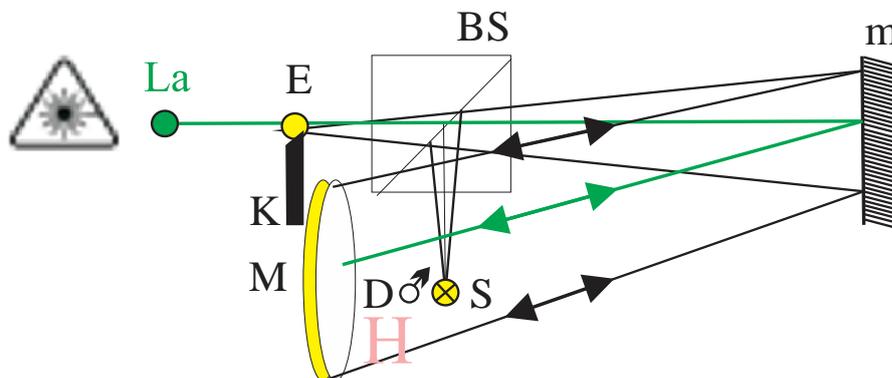
Der Laser befindet sich hinter dem Beobachter, so dass dieser niemals in das blendende und schädliche Laserlicht blicken kann. Von unserer Lichtquelle (einer 25-Watt-Glühlampe mit Dimmer, D) gelangt das Licht von einem Ende einer Glasfaser zur „Punkt“-Öffnung (ein dünnes Metallstück mit einem 0,3-mm-Spalt, das mit einer Akupunkturnadel hergestellt wurde) am anderen Ende der Faser. Die Glasfaser ist in der Zeichnung, die eine Draufsicht zeigt, nicht dargestellt. Von dort geht das Licht divergierend durch den Splitter zum Spiegel und dann nach der Reflexion konvergierend zum Auge E. Um den Spiegel M im richtigen Krümmungsabstand zu positionieren, verwenden wir das Messer K („K“ von Knife, Messer) ganz analog wie beim Foucault-Test.

3.4. Wir schauen auf unsere eigene Hand.

Auf halber Strecke stellen wir einen weiteren ebenen Spiegel m auf (ganz rechts in der Zeichnung unten), der das Licht in Richtung des Beobachters reflektiert. Stellen Sie sich das unten schematisch vor, nur mit dem Laserlicht.



Der Hohlspiegel befindet sich dann direkt vor der Brust des Beobachters und auf dessen Höhe. Der Beobachter kann dann seine eigene Hand (H) genau vor (nicht gegen!) den Hohlspiegel halten, während er ihn durch den Splitter betrachtet. Stellt man den Aufbau mit divergenten und konvergenten Lichtstrahlen dar, so erhält man das, was die Zeichnung unten zeigt.



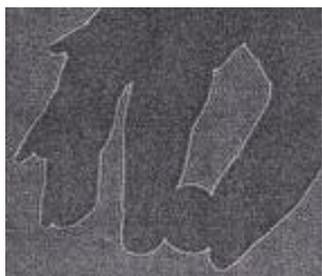
Wir werden uns in einem völlig abgedunkelten Raum aufhalten. Dunkel“ bedeutet, dass es keinen Unterschied macht, ob wir unsere Augen offen oder geschlossen halten; alles bleibt tiefschwarz. Nachdem alles auf den Laser ausgerichtet ist, nehmen wir uns genügend Zeit, damit sich unsere Augen an die Dunkelheit gewöhnen. Danach halten wir die Hand vor den Spiegel. Wir beleuchten den Spiegel zunächst mit maximaler Helligkeit. Wir sehen die beleuchtete Hand vor dem Hintergrund des Spiegels. Das war's schon. Unten finden Sie eine farbige Zeichnung der jeweiligen Situation.



Dann dimmen wir die Helligkeit allmählich bis kurz vor Null, während wir die Hand weiter beobachten. Wir bewegen die Finger vorsichtig hin und her. Wenn unsere Augen ausreichend an die Dunkelheit gewöhnt sind, haben wir den Eindruck, dass eine schwache, kaum wahrnehmbare und neblige Masse unsere Finger umgibt und sich sanft mit ihnen bewegt, wenn auch mit einiger Verzögerung.



Letzteres ist nicht ohne Bedeutung, denn es sagt uns, dass es sich nicht um eine mögliche Beugung handelt. Bei der Beugung werden die Lichtwellen an einem undurchdringlichen Hindernis abgelenkt. Die folgende Abbildung zeigt eine solche Beugung. Neben der Hand und der Murmel ist in der Tat ein dünnes, gleichmäßig abgegrenztes Band zu sehen. Das Band ist sehr dünn und folgt jeder Bewegung der Hand ohne die geringste Verzögerung.

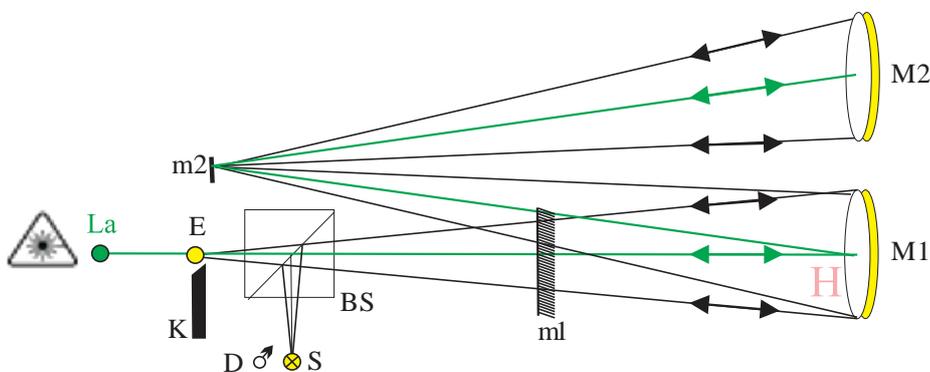


Allerdings ist das Bild in unserem Foucault-Setup so schwach, dass der unerfahrene Betrachter nicht viel bemerken wird. Wir können den Kritikern, die behaupten, dass kaum etwas zu sehen ist, nicht ganz widersprechen. Für viele ist dies sicherlich kein harter wissenschaftlicher Beweis. Schauen Sie weiter.

Nehmen wir an, dass die erste Feinstaubschicht das Licht ablenkt, auch wenn wir sie kaum sehen. In unserem Aufbau durchläuft das Licht diesen angenommenen Feinstaub zweimal um die Hand. Einmal divergierend, einmal konvergierend.

3.5. Eine mehrfache Störung

Nichts hindert uns daran, in unserem Aufbau einen zweiten Hohlspiegel M2 mit einer ähnlichen Öffnung (ebenfalls in Krümmungsentfernung) anzubringen. Betrachten Sie die folgende Zeichnung. Wir haben immer noch den großen ebenen Spiegel m1 zwischen Bs und M1 eingezeichnet, aber nicht mehr den Strahlengang, der an ihm reflektiert wird. Dies dient der Vereinfachung der Zeichnung. Natürlich bleibt der Hohlspiegel M1 in der Nähe des Beobachters, so dass er beim Betrachten seine Hand vor den Spiegel halten kann. Dies wird durch die Zeichnung des ebenen Spiegels m1 immer noch angedeutet, auch wenn der Strahlengang nicht mehr eingezeichnet ist.

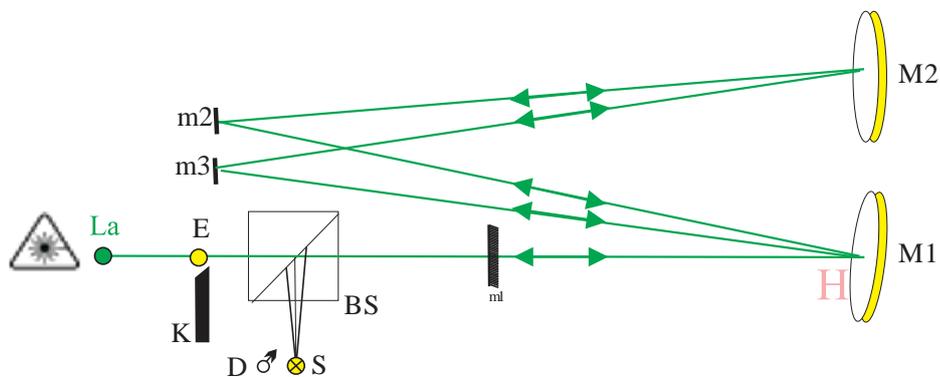


Das Licht geht von S über Bs zu M1, m2, M2 und zurück zu m2, M1, Bs und E. Wir stellen fest, dass die Hand (H) nun viermal vom Licht durchquert wird, was im Vergleich zum vorherigen Aufbau die Interferenz verdoppelt. Man kann sehen, dass die Anordnung außermittig wird. Das konvergierende Licht, das auf den kleinen Planspiegel m2 (das kleine „m“) gerichtet ist, erzeugt theoretisch eine Parallaxe. Wenn man jedoch den Spiegel m1 und den Splitter möglichst nahe beieinander platziert, d. h. nur wenige mm, ist diese Parallaxe bei einem Krümmungsradius von 2500 mm vernachlässigbar.

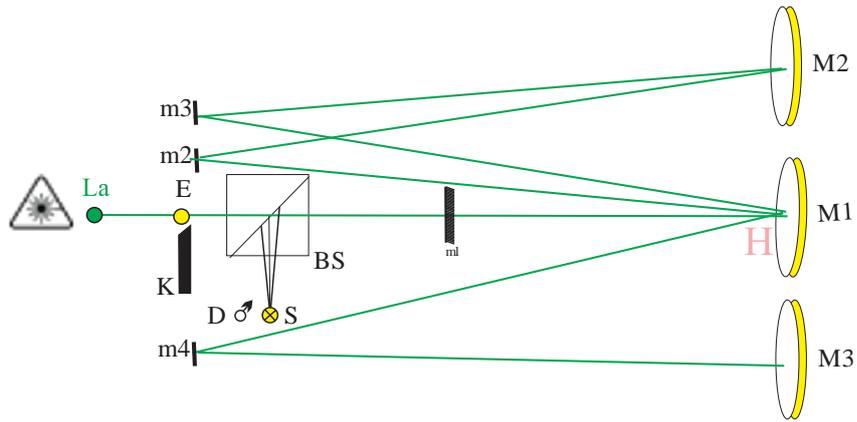
Geben wir unseren Augen genügend Zeit, sich an die Dunkelheit zu gewöhnen. Wenn wir nun wieder hinsehen, wird die Schicht um unsere Hand herum bereits viel heller. Wir sehen auch etwas deutlicher einige fast durchsichtige, schwache Fetzen wärmerer Luft, die von der Hand aufsteigen. Es sieht ein wenig aus wie die Projektion des Dampfes von kochendem Wasser, das von der Sonne beleuchtet wird. Wie erwartet, sind diese Fetzen nicht hell weiß-schwarz kontrastierend. In der Tat, wir arbeiten nicht mit dem Messer. Es sind keine Bilder, die uns die „Schlierenfotografie“ zeigt.

Man kann Aufbauten mit 2 oder mehr konkaven Spiegeln entwerfen, bei denen das Licht noch öfter durch die Hand fällt. Wir zeigen einige von ihnen schematisch unten. Wir haben sie (noch?) nicht selbst gebaut. Hier legt das Licht unseres Lasers bereits eine lange Strecke zurück und divergiert immer mehr, was die Justierung und Ausrichtung ziemlich schwierig macht. Wenn wir diese Anordnung bauen wollen, brauchen wir vielleicht einen stärkeren Laserstrahl.

Im ersten Aufbau unten geht das Licht 6 Mal durch die Hand. Um die Zeichnung zu vereinfachen, haben wir die divergierenden und konvergierenden Lichtstrahlen weggelassen und uns auf die Darstellung des Laserstrahls beschränkt. Das Licht durchläuft die Anordnung wie folgt: S, BS, M1, m2; M2; m3, M1, Bs und E. Die Zeichnung zeigt eine beeindruckende Parallaxe, aber praktisch können m2 und m3 sehr nahe an den Splitter gebracht werden.

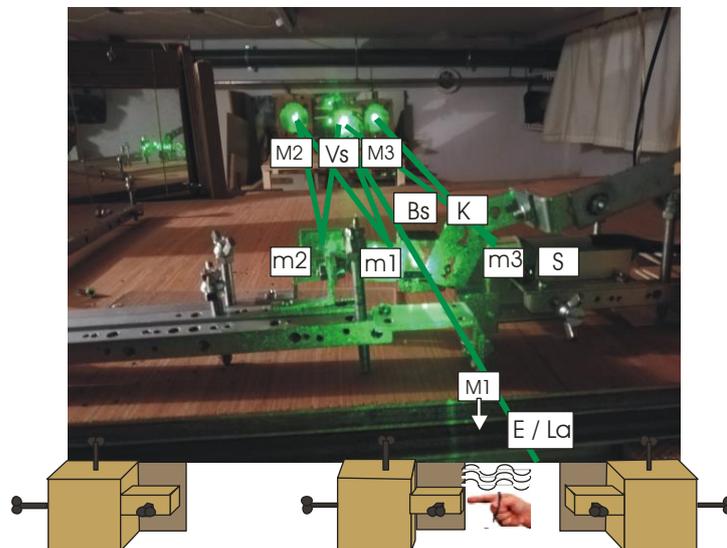


Bei dem folgenden Muster durchläuft das Licht die Hand 8 Mal. Der Lichtweg verläuft von S, BS, M1, m3, M2, m2, M1, m4, M3, m4, M1, m3, M2, m2, M1, Bs und E.



4.6. Ein Blick auf die optische Bank

In der Praxis sieht der Aufbau auf der optischen Bank so aus, wie er auf dem folgenden Foto zu sehen ist. Die großen Spiegel M1, M2 und M3 sind hinten auf Wagen montiert, die mit Trägern knapp unter der Oberfläche der optischen Bank versehen sind, so dass die Spiegel vom Standpunkt des Beobachters aus nach vorne, nach hinten und ein wenig nach links oder rechts gedreht werden können. Die Laserlinien wurden nachträglich angebracht.



¹ Foto, zie : Diffraction, Hecht optics, Addison Wesley Publishing company, p. 392