

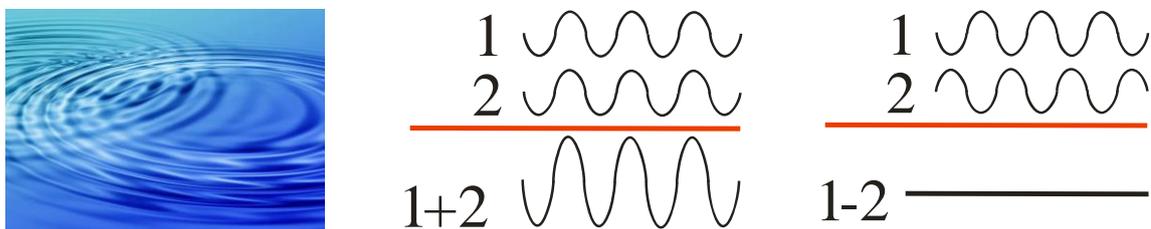
6. Feinstaub und destruktive Interferenz.

Inhalt

6.1. Nicht flache Kreise, sondern räumliche Sphären.....	1
6.2 „Nulling“-Interferometrie	2
6.3. Ein „geschlossener“ Aufbau mit gleichem Lichtweg	3
6.4. Die Einstellung: nicht so einfach.	5
6.5. Was können wir erwarten?.....	5
6.6. Und was ist wirklich zu sehen?.....	6
6.7. Eine vierfache Störung.....	9
6.8. Ein Newton-Scope mit destruktiver Interferenz?	9

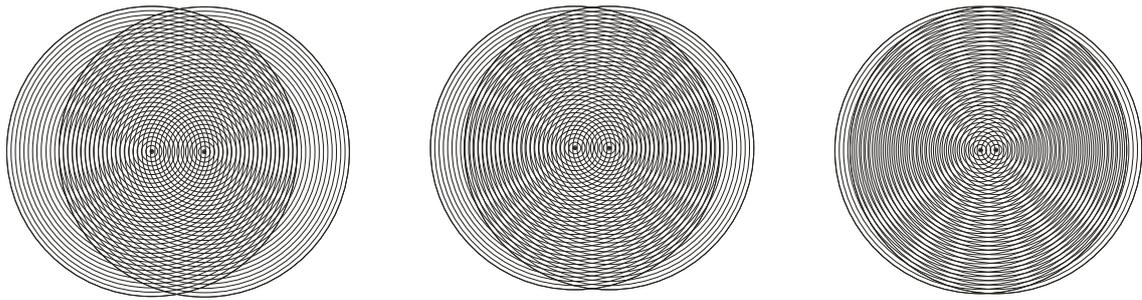
6.1. Nicht flache Kreise, sondern räumliche Sphären

Konstruktive und destruktive Interferenz wurden bereits im vierten Kapitel behandelt. Wir haben sie mit Wellen im Wasser veranschaulicht, die durch das gleichzeitige Werfen zweier Steine ins Wasser entstehen.

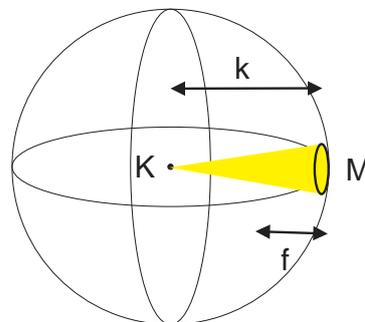


Eine zerstörerische Interferenz liegt vor, wenn ein Gipfel ein Tal füllt. Das Wasser bleibt dann auf seinem ursprünglichen Niveau. Ein analoges Phänomen tritt bei Lichtwellen auf, bei denen das Verschmelzen eines Gipfels und eines Tals zur Dunkelheit führt.

Veranschaulichen Sie dies mit zwei konzentrischen Kreisen, die sich allmählich mehr und mehr durchdringen. Wir sehen, wie sich oben und unten Linien bilden, die sich etwas verbreitern. Auf der linken und rechten Seite sehen wir, dass die gemeinsamen Teile des Kreisumfangs viel größer werden, während die Zentren der einzelnen Kreise immer näher zusammenrücken.



Denken Sie an die Glaskugel und unseren kugelförmigen Spiegel, der ein Teil von ihr war. Das ist die Situation, die wir mit unserem Aufbau so weit wie möglich erreichen wollen.



6.2 „Nulling“-Interferometrie

Denken Sie an die Welt der Sterne. Die Frage, ob es anderswo im Universum andere Planeten wie unsere Erde gibt, ist in unserer Zeit sehr aktuell. Solche Planeten zu finden, ist jedoch nicht so einfach. Wenn sie zu weit von einem Stern entfernt sind, sind sie zu schwach leuchtend. Sind sie zu nahe, verhindert die blendende Lichtintensität dieses Himmelsobjekts, dass der Planet beobachtet werden kann. Deshalb nutzt man unter anderem die destruktive Interferenz: Lichtstrahlen können sich unter bestimmten Bedingungen selbst auslöschen. Wir haben dies bereits erklärt. Das Licht zweier eng beieinander stehender und gleichwertiger Teleskope, die auf denselben Stern ausgerichtet sind, kann sich vereinigen, allerdings mit einem Unterschied von einer halben Wellenlänge oder einem ungepaarten Vielfachen. Das Sternenlicht wird also neutralisiert. Dies gilt jedoch nicht unbedingt für das Licht des Planeten, der sich in der Nähe dieses Sterns befindet. Das Licht des Sterns wird also abgeschwächt oder ausgelöscht, das des Planeten, der sich in einem anderen Abstand zu den Teleskopen befindet, jedoch nicht. Letzterer wird also sichtbar.

Diese weitreichende Genauigkeit bei der Abstimmung finden wir auch beim *James-Webb-Teleskop*. Die 18 einzelnen sechseckigen Segmente des Hauptspiegels sind so aufeinander

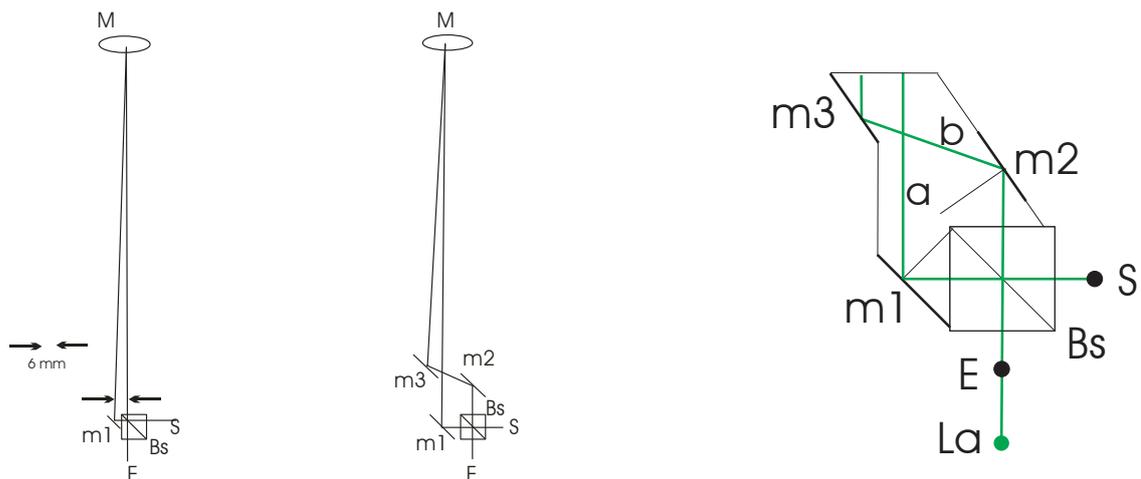
abgestimmt, dass das Licht dieser Segmente auf den Nanometer genau ausgerichtet werden kann (1×10^{-9} m also ein Millionstel Millimeter (!)).

Im Folgenden prüfen wir, ob wir in unserem Aufbau auch destruktive Interferenz erreichen können.

6.3. Ein „geschlossener“ Aufbau mit gleichem Lichtweg

In unserem „geschlossenen“ Grundaufbau - der Dreiecksform - hatten wir noch einen „ungleichen“ Lichtweg. Dort war der Objektstand v_1 größer als der Objektstand 2. Es ist naheliegend anzunehmen, dass wir mit zunehmender Gleichheit der Lichtwege v_1 und v_2 leichter eine breite Interferenz erreichen werden. Es stellt sich also die Frage, wie man eine Anordnung findet, bei der die beiden Lichtwege bis zum Spiegel, v_1 und v_1 , einander gleich werden können. Sehen wir uns dazu die folgenden Zeichnungen an. Auf der linken Seite sehen wir den Grundaufbau. Der Lichtweg zu M über m_1 ist länger als der Lichtweg von Bs direkt zu M. Die kleinste Wegdifferenz, die wir in unserem Aufbau erreichen konnten, betrug immer noch 6 mm.

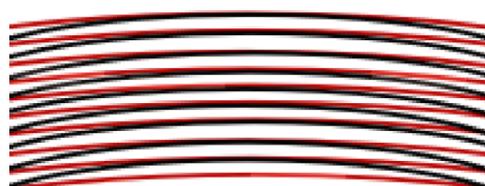
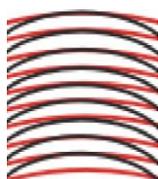
Betrachten wir nun die Zeichnung in der Mitte. Durch Hinzufügen von zwei zusätzlichen Planspiegeln, m_2 und m_3 , kann der 6 mm große Gangunterschied beseitigt werden. Wir haben dazu die Karte ganz rechts verwendet. Sie wurde in einem Zeichenprogramm so groß wie möglich gezeichnet, und die beiden Lichtwege wurden ausgerichtet. Anschließend wurde alles verkleinert und auf eine Pappkarte gedruckt, die unter Bs kam. So konnten die Spiegel m_1 , m_2 und m_3 genauer platziert werden.



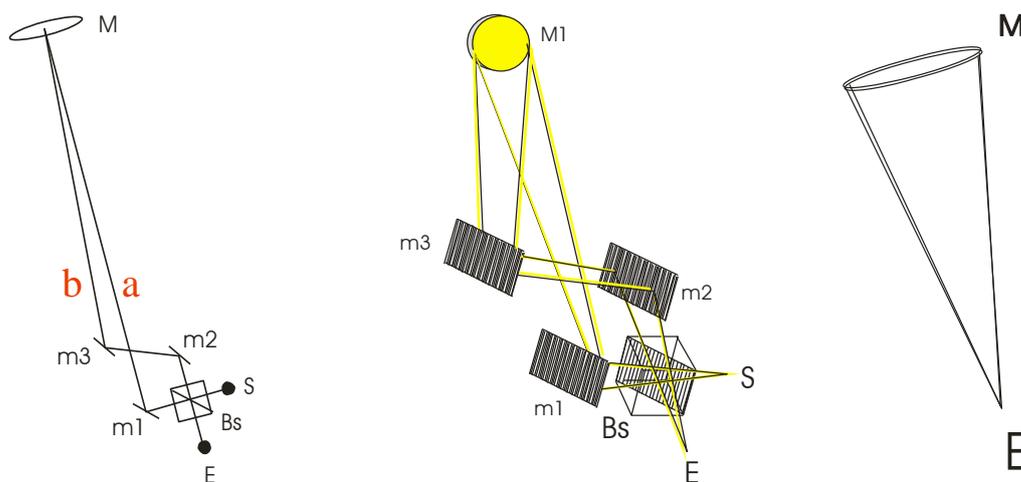
Unten sehen Sie ein Detail dieses Aufbaus. Wir sehen den Strahlteiler in der Mitte, die „Punkt“-Lichtquelle rechts davon, unter dem Strahlteiler die Karte und daneben den Platz für die drei Flachspiegel, die noch montiert werden müssen.



Indem man die beiden Lichtwege so weit wie möglich aneinander angleicht, wird der gemeinsame Teil der Kreisbögen der einzelnen Lichtpunkte immer breiter, wodurch die beabsichtigte Interferenz leichter erreicht werden kann.

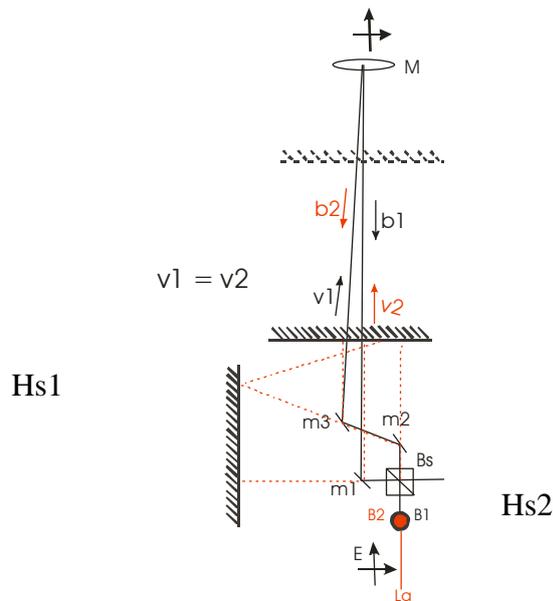


Stellen Sie es sich unten noch einmal räumlich vor. Aus der Zeichnung auf der rechten Seite geht hervor, dass die beiden Spiegelbilder von E aus gesehen nun praktisch zusammenfallen.



6.4. Die Einstellung: nicht so einfach.

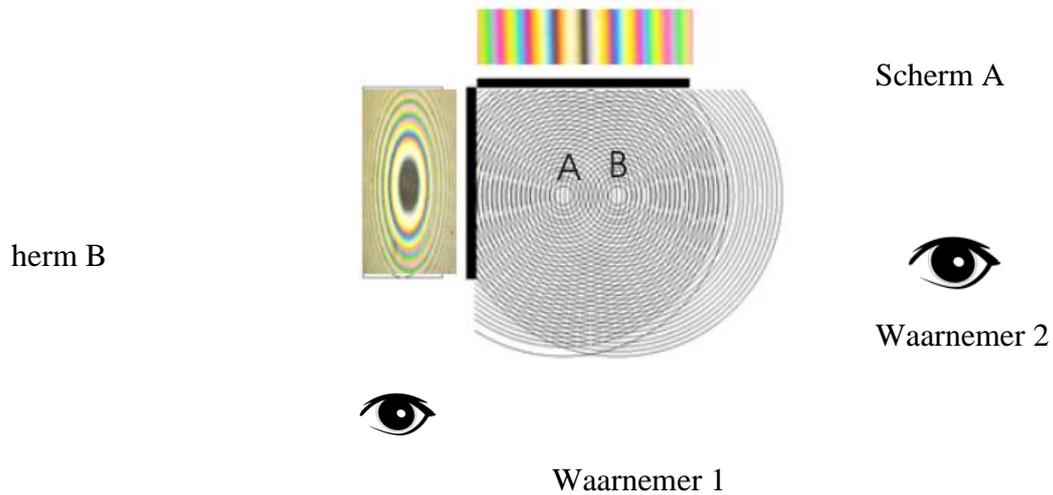
Auch hier erfordert die genaue Einstellung einige Hilfsspiegel. Hs1 und Hs2. Beide Planspiegel müssen so ausgerichtet werden, dass sie das Laserlicht zurück nach Bs reflektieren. Dann kann der Planspiegel m3 auch auf Hs2 eingestellt werden, so dass dieses Laserlicht ebenfalls zu Bs reflektiert wird. Der Planspiegel m2 muss entsprechend der Richtung eingestellt werden, die auf dem Stück Pappe angegeben ist, auf dem der Teiler ruht, und das Laserlicht erreicht Hs1 und wird dann zu Hs2 reflektiert. Dort sollte es das von m1 kommende Laserlicht kreuzen. Dann kann Hs2 abgenommen werden. Der Spiegel M wird so platziert, dass das Licht von m1 mittig auf ihn fällt. Als nächstes wird m3 platziert und auf die Mitte von Spiegel M gerichtet. Letzterer kann dann so eingestellt werden, dass das Laserlicht zurück in den Aufbau geht. Der flache Spiegel Mv zeigt an, dass alles zum Beobachter zurückgespiegelt wird, so dass er selbst seine Hand vor den Spiegel halten kann, während er schaut. Denken Sie daran, dass für all dies hundert Stellschrauben erforderlich sind, die alle konisch zulaufen und mit einer Kugel versehen sind, um die Reibung so weit wie möglich zu verringern. Jede Stellschraube ruht außerdem auf einem Stück Hartplastik.



6.5. Was können wir erwarten?

Wir stellen fest, dass der „geschlossene“ Aufbau mit gleichem Lichtweg eine weitere Perfektionierung des im vorherigen Abschnitt beschriebenen Aufbaus ist, bei dem der Lichtweg ungleichmäßig war. Wir werden also die gleichen Bilder sehen, aber besser, mit einer allmählich präziseren Einstellung. Und wir werden mehr sehen. Die Empfindlichkeit der Anordnung wird wahrscheinlich in dem Maße zunehmen, wie der gemeinsame Teil der Kreisbögen der einzelnen Lichtpunkte, wie oben beschrieben, immer breiter wird. Mit unserem Streben nach einem gleichen Lichtweg bewegen wir uns auf ein Null-Interferometer zu.

Im Folgenden wird die Zeichnung aus 5.4 wiedergegeben. Stellen Sie sich vor, dass sich die Punkte A und B allmählich annähern, dann werden zum einen die Kreise auf dem B-Bildschirm immer größer, bis die gesamte Spiegelfläche überwiegend schwarz wird. Auf der anderen Seite werden die vertikalen Linien auf dem Bildschirm A immer breiter.



6.6. Und was ist wirklich zu sehen?

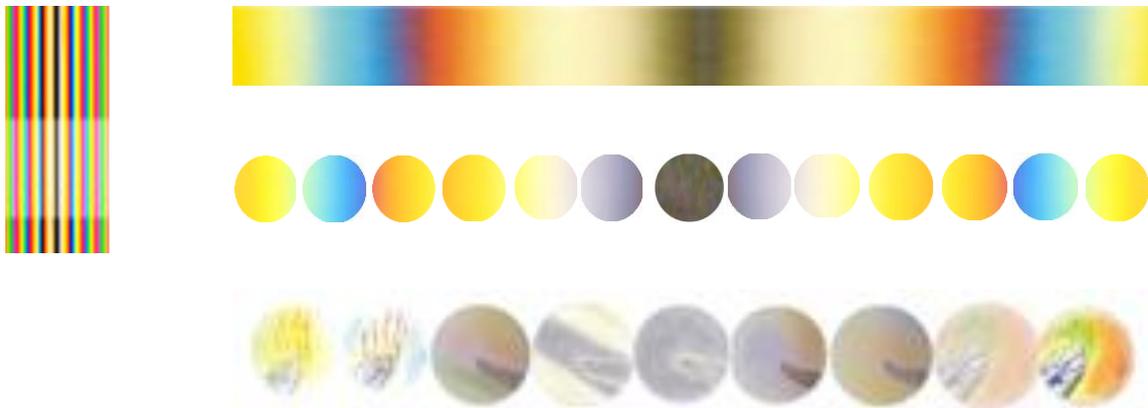
Wenn man sehr genau einstellt, wird tatsächlich die gesamte Spiegelfläche mit einer einzigen Interferenzfarbe gefüllt.



Dreht man die Stellschraube eines der Flachspiegel minimal, so ändert sich die Farbe der Spiegelfläche z.B. in blau.



Wir können fast jede Interferenzfarbe auf den Bildschirm bringen, wenn wir eine Stellschraube so oder so drehen. Wenn wir die Hand in den Aufbau bringen, erhalten wir eine Reihe von Interferenzen. Unten finden Sie eine Tabelle mit den Farben und Turbulenzen.

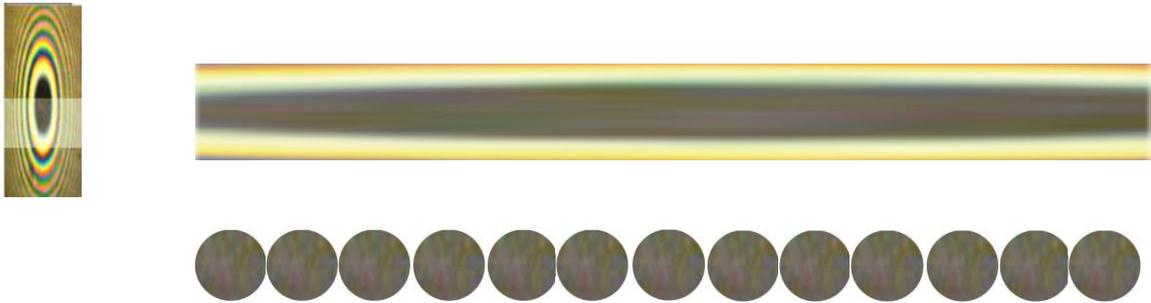


Und diese auf Seitenbreite vergrößern.

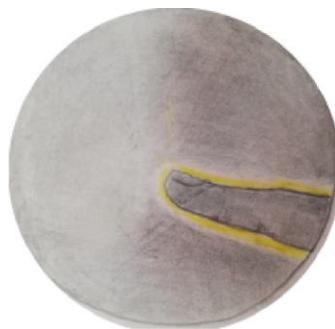


Bei nahezu perfekter Justierung, bei quasi-destruktiver Interferenz, kann man eigentlich nicht mehr von Linien oder Kreisen sprechen, sondern die gesamte Spiegelfläche zeigt sich in

einer dunklen Farbe. Die konzentrischen Kreise, wie wir sie zu Beginn dieses Textes in 7.1. dargestellt haben, scheinen perfekt übereinzustimmen. Daher ist das, was unten gezeigt wird, nicht mehr als eine theoretische Darstellung. Dennoch hat dies seinen Nutzen; man sieht mehr, wenn man weiß, was man zu erwarten hat. Wir haben dies mit dem Bogen im Nebelgefäß und dem Ultraschall eines Babys in Text 3.1 illustriert.



Wir sind natürlich fasziniert von dem Bild der sehr instabilen totalen destruktiven Interferenz. Wenn wir nun die Hand in den Strahlengang bringen, zeigt sie wieder ein leuchtendes Band rundherum. Die gelbe Farbe ist die Interferenzfarbe in der Übersicht direkt neben der Linie (oder dem Kreis) der destruktiven Interferenz.

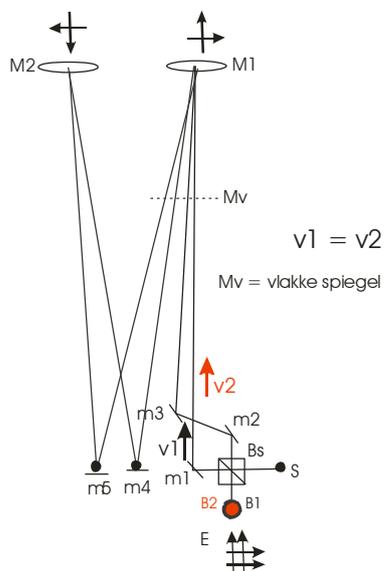


Wenn wir schließlich die Helligkeit auf den Maximalwert dimmen, verschwindet diese gelbe Farbe, und das trübe, leuchtende Band kommt wieder zum Vorschein.



6.7. Eine vierfache Störung

In der Zeichnung rechts unten sehen wir das System 1 mit M1, die Grundeinstellung mit gleichem Lichtweg. Wenn wir den Spiegel M1 leicht drehen, kehren die reflektierten Lichtstrahlen nicht mehr zu Bs zurück, sondern direkt daneben (oder darüber). Wenn wir zwei flache Spiegel m4 und m5 zu dem Aufbau hinzufügen, können wir alles zu einem zweiten Spiegel mit ähnlicher Öffnung schicken. Nach der Reflexion des Lichts wird dann das erste System erneut durchlaufen. Das bedeutet, dass die vor M1 gehaltene Hand viermal mit dem Licht interferieren kann. Einmal divergierend und einmal konvergierend bei M1 konvergierend, und nach dem Durchlaufen von System M2 wiederholt sich das Ganze noch einmal. Wir hofften auf einen kumulativen Störeffekt. Es war uns nicht möglich, das Experiment unter optimalen Bedingungen durchzuführen. Das Licht geht in etwa 15 Metern Entfernung durch den Aufbau, und der Spot unseres Lasers divergierte zu sehr, um eine genaue Einstellung zu ermöglichen. Auf der rechten Seite sehen wir ein Bild dieses Aufbaus.

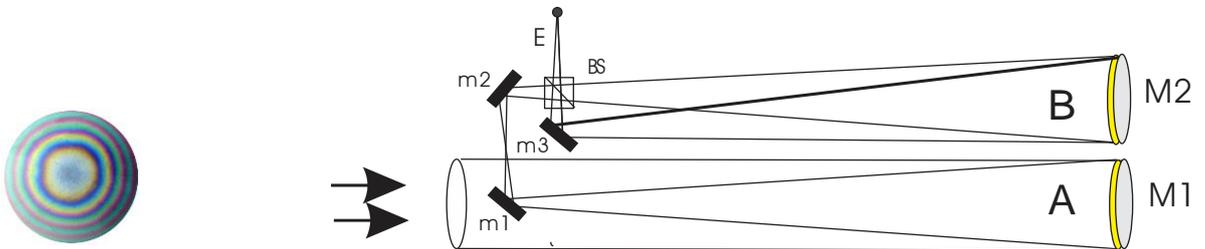


6.8. Ein Newton-Telescop mit destruktiver Interferenz?

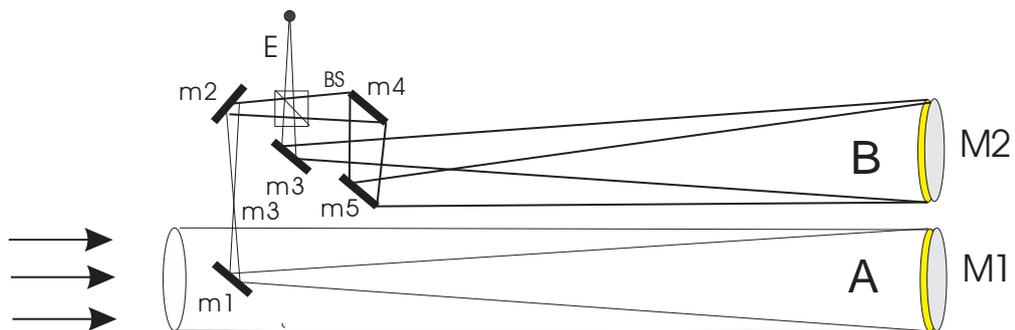
Betrachten wir den folgenden Aufbau. In System A (M1-m1) erkennt man einen Newton-Viewer, System B ist der Grundaufbau mit ungleichem Lichtweg. Der Spiegel M1 wird von seinem Brennpunkt aus beleuchtet. Spiegel M2 wird von seinem Krümmungszentrum aus beleuchtet.

Theoretisch sollte dieses Gerät Bilder liefern, wie wir sie in Abschnitt 6.4 beschrieben haben. Allerdings sehen wir jetzt nicht die Hand, sondern die Umgebung, oder wenn wir den Betrachter auf den Himmel richten, den Mond und die Sterne.

Wir haben dieses Gerät aus Neugier gebaut, obwohl wir keinen Spiegel M2 hatten, dessen Krümmungszentrum dem Brennpunkt des Spiegels M1 entsprach. Das Ergebnis war, dass wir die Bäume und die Natur rundherum mit weiten Newtonschen Kreisen durchdrungen sahen.



Möchte man jedoch prüfen, ob der Aufbau für die „Nulling“-Interferometrie geeignet ist, so reicht bei System B der Grundaufbau mit ungleichem Lichtweg nicht aus, sondern es muss der Aufbau mit gleichem Lichtweg ergänzt werden. In der folgenden Zeichnung sind daher die Planspiegel m4 und m5 hinzugefügt worden. Technisch ist dies sicherlich kein einfacher Aufbau.



Es bleibt die Frage, ob wir damit tatsächlich Bilder von zerstörerischen Interferenzen betrachten können. Sollte dies tatsächlich möglich sein, könnte man mit nur einem Teleskop nach Planeten suchen. Ein zweites ähnliches Teleskop, wie in 6.2. beschrieben, würde dann im Prinzip überflüssig werden.

Und was würde sich zeigen, wenn man an einem stürmischen Tag einen Blick auf die umgebende Natur wirft? Könnten die heftigen Luftturbulenzen dann auch zu einer intensiven Verschiebung der Interferenzfarben führen, etwa analog zu dem, was wir um unsere Hand herum gesehen haben? Wenn man darüber nachdenkt, scheint es, als ob der Wind dann zu dunklen Schatten führt, die von gelben Strahlen unterbrochen werden. Oder aber bei einem heftigen Sturm zu Farben, die sich weiter von der zentralen Zerstörungslinie entfernen und vielleicht sogar die Umgebung rot oder blau färben. Um sich darüber Gewissheit zu verschaffen, müsste ein solches Instrument erst einmal gebaut werden. Aber das ist schon lange keine Aufgabe mehr für einen Amateurteleskop-Bauer.