

## 7. Feinstaub in einem „Umkehr“- oder Umkehrinterferometer.

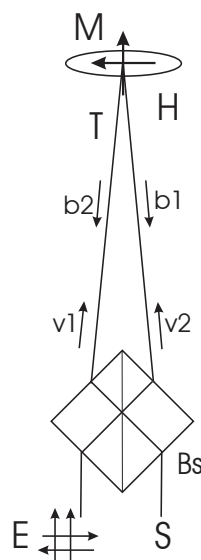
### Inhalt

7.1. Ein Bild zusammen mit einer Links-Rechts-Umkehrung.....	1
7.2. Eine zweite Version einer Umkehrung .....	2
7.3. Eine dritte Version einer Umkehrung .....	3
7.4. Empfindlicher, aber deshalb weniger stabil.....	5
7.5. Das Umkehrinterferometer auf der optischen Bank .....	6

### 7.1. Ein Bild zusammen mit einer Links-Rechts-Umkehrung

Ein Umkehrinterferometer liefert ein Bild zusammen mit dem Spiegelbild. Legt man den Finger in die erste Hälfte des Lichtweges, z. B. in die linke Hälfte, so erscheint derselbe Finger in der rechten Hälfte des Spiegels, nun aber mit einer Links-Rechts-Umkehrung.

Sehen Sie sich die Zeichnung unten links an. Wir sehen den Zeigefinger, der nach links zeigt. Stellen Sie sich diesen Finger in Zeichnung 2 vor, direkt vor dem Spiegel M, an der Stelle des Buchstabens H (von Hand). Sowohl der Finger als auch der Pfeil zeigen nach rechts.



Das Bild ist aufrecht. Verfolgen Sie dieses Bild durch den Bildabstand  $b_1$  über  $B_s$  nach  $E$ . Wir stellen fest, dass der Splitter  $B_s$  auf seiner Rippe steht. In  $E$  zeigt das Bild des Fingers weiterhin gerade nach links oben. Folgen Sie nun dem Weg des Fingers über  $b_2$ . In  $B_s$  macht dieses Bild auf dem halbdurchlässigen Spiegel in  $B_s$  eine Links-Rechts-Bildumkehr. In  $E$  ist dieses Bild immer noch aufrecht, aber links-rechts-verkehrt. Wenn wir mit dem Finger in der rechten Hälfte des Spiegels bleiben, bleibt das links-rechts-verkehrte Bild in der linken Hälfte des Spiegels. Wir sehen dann die Verschmelzung von zwei Bildern, wie in der Zeichnung oben rechts dargestellt.

Bauen Sie den Aufbau auf und sehen Sie, was sich zeigt. Wir sehen eine Reihe von Interferenzlinien, die sauber parallel nebeneinander verlaufen. Wenn wir einen Finger in eine Hälfte des Spiegels stecken, sehen wir natürlich auch das Spiegelbild davon, aber wir bemerken, dass der Finger die Linien zusammenschiebt.

Die virtuelle Lichtquelle und das Bild fallen nicht zusammen, sondern haben einen kleinen Abstand, und in der Ebene, in der das Prisma<sup>1</sup> austritt, werden einige Aberrationen eingeführt[1]. Dies führt zu Bildfehlern.

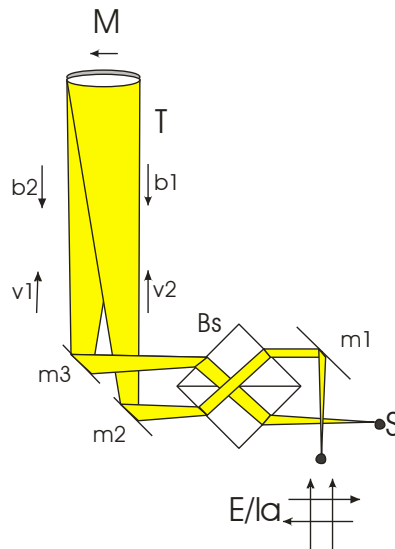


### ***7.2. Eine zweite Version einer Umkehrung***

Wir lösen dieses Problem einfach, indem wir zwei Planspiegel  $m_1$  und  $m_2$  hinzufügen. Das Laserlicht verlässt den Teiler parallel und tritt nach der Reflexion wieder parallel in ihn ein.

---

<sup>1</sup> The virtual light source and image do not coincide, but have a small separation and some aberrations are introduced on the plane exit face to the prism (Malacara, Optical Shop testing, Wiley and sons, 1978, p.174).



Versuchen wir, die Interferenzlinien mit diesem letzten Aufbau zu erweitern. Dann schauen Sie sich an, was auftaucht. Das Bild ist besonders unbeständig. Wir bekommen ständig einen Sturm von wechselnden Interferenzfarben. Hierfür gibt es eine gute Erklärung. Wir vergleichen es mit der Grundeinstellung mit ungleichmäßigem Lichtweg. Wenn sich dort der Spiegel minimal bewegt, bewegen sich auch die Bilder in E, aber im gleichen Sinne. In einem Umkehrinterferometer bewegen sich die Teilstrahlen und die Bilder offensichtlich in entgegengesetzte Richtungen.

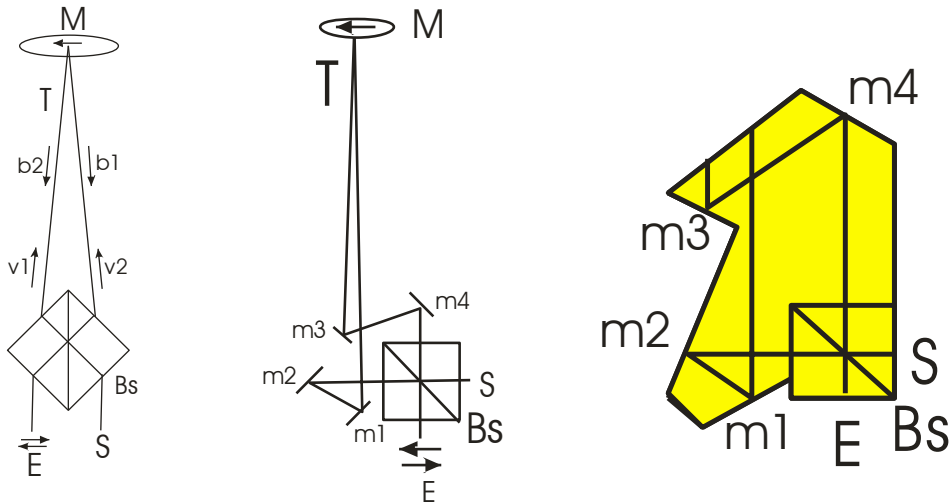
Wenn wir die Hand in den Strahlengang bringen, bleibt das Bild natürlich sehr instabil, aber wenn wir versuchen, einen allgemeinen Eindruck in dem zerbrechlichen Bild zu reproduzieren, sehen wir, was unten gezeigt wird.

### 7.3. Eine dritte Version einer Umkehrung

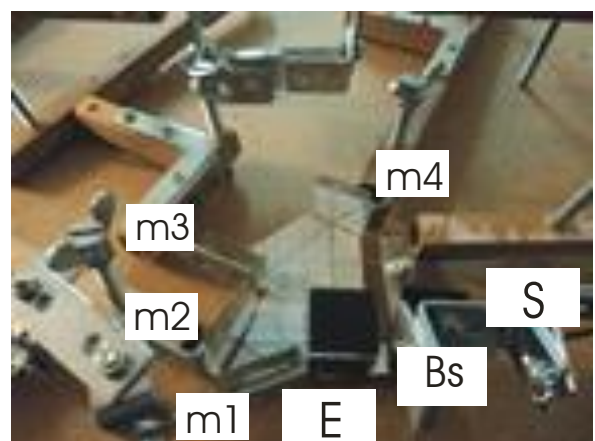
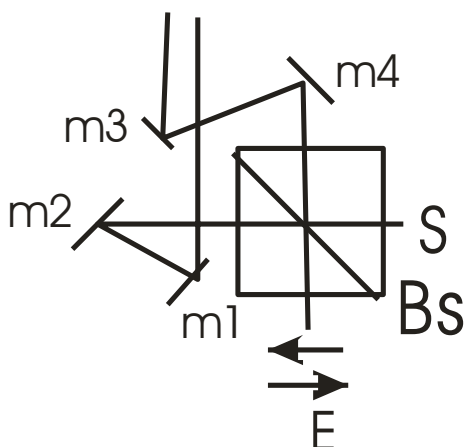
Um zu vermeiden, dass die Lichtstrahlen schräg auf den Splitter treffen, können wir unsere Umkehrung auch wie folgt einrichten. In der Zeichnung links sehen wir die Version, bei der die Teilstrahlen schräg auf den Teiler treffen.

In der Zeichnung in der Mitte wurden die Planspiegel m1, m2, m3 und m4 hinzugefügt. Es fällt auf, dass in E sowohl das Bild als auch seine Inversion zu sehen sind. Diese Umkehrung wird von den Spiegeln m1 und m2 verursacht. Würden wir sie durch einen einzigen Spiegel ersetzen und das Licht direkt zu Bs leiten, hätten wir einen einfachen Aufbau mit gleichem Lichtweg, wenn er richtig ausgerichtet ist. Jetzt ist das nicht der Fall. Jetzt haben wir eine Umkehrung mit gleichem Lichtweg. Um die Anordnung genau zu bauen, haben wir wieder eine Karte als Substrat für den Splitter verwendet, auf der ein genau ausgerichteteter und gleich langer

Lichtweg für beide Strahlen liegt, auf den die verschiedenen Flachspiegel montiert werden können.



Unten sehen Sie das Diagramm der Karte sowie eine Vorbereitung des Aufbaus. Beachten Sie den Spiegel m4 im Bild in der Mitte. Wir können darin die Reflexion der umrissenen Linien auf der Karte sehen. Wir können also teilweise mit dem Auge justieren. Das Auge sieht bereits sehr genau, ob eine gespiegelte Linie mit der ursprünglichen Linie übereinstimmt. Wir können in der Spiegelung sehen, dass es noch einen kleinen Fehler bei der Anpassung gibt.

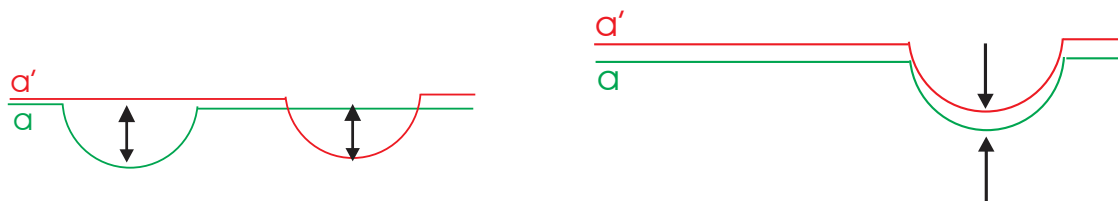


#### 7.4. Empfindlicher, aber deshalb weniger stabil



Abgesehen davon, dass jede Erschütterung in eine Gegenbewegung umschlägt und zu heftigen Farbstürmen führt, gibt es auch das, was man eine erhöhte Empfindlichkeit nennen könnte.

In E erhalten wir eine Verschmelzung von zwei Bildern, von denen jeweils nur eine Hälfte gestört wurde. Die andere Bildhälfte bleibt „unberührt“. Wenn zwei solche Bilder verschmelzen, ist die Störung größer als bei zwei Wellen, die die gleiche Störung erfahren. Die beiden folgenden Zeichnungen sollen dies veranschaulichen. Auf der linken Seite sehen wir die Darstellung einer Störung in einem Umkehrinterferometer, auf der rechten Seite eine Störung z. B. in unserem Grundaufbau. Infolgedessen ist eine Umkehrung viel instabiler, aber wegen der größeren Verzerrung der resultierenden Welle zeigt sie uns viel mehr Details.



In der Zeichnung oben, die die beiden „brennenden Finger“ darstellt, ist dies tatsächlich zu erkennen. Wir sehen offenbar zwei Interferenzlinien direkt über dem Finger, eine in der anderen, eine auch etwas kleiner als die andere. Erstaunlich ist, dass sie jeweils eine Grenze anzeigen. Vergleichen Sie es mit dem Rauch einer Zigarette. Er wird allmählich dünner. Man kann kaum eine Linie zwischen „hier ist eindeutig noch Rauch“ und „hier ist kein Rauch mehr“ ziehen.

Zurück zur Zeichnung. In Wirklichkeit handelt es sich also um ein statisches Abbild eines besonders dynamischen Ereignisses. In regelmäßigen Abständen öffnen sich die Linien für einen Moment und entweichen, nennen wir sie Wärmeblasen, die gerade nach oben steigen. Jedes Mal erzeugen sie ein kaleidoskopisches Farbspektrum. Man kann sie immer wieder fasziniert betrachten.

Noch faszinierender wäre es, wenn man den ganzen Aufbau erschütterungsfrei gestalten könnte. Aber ein Amateur kann seine optische Bank einfach nicht in der Größenordnung von Nanometern, Milliardstel Metern, ruhig halten. Es stellt sich natürlich die Frage, was wäre, wenn all dies auf professionellem Niveau gebaut würde. Die Abstimmung der 18 Spiegel des James-Webb-Teleskops aufeinander zeigt, dass so etwas technisch möglich ist.

Was bisher über das Umkehrinterferometer gesagt wurde, gilt bei voller Helligkeit. Zum Abschluss dieses Textes wollen wir noch einen Blick in die nahe Dunkelheit werfen. Wir drehen den Dimmer fast ganz zu und schauen, was erscheint, wenn wir den Finger in den Strahlengang halten. Die Farben sind verschwunden, ebenso die Unbeständigkeit der Anordnung. Wir sehen den Finger und sein Spiegelbild, wiederum umgeben von einem schwachen Lichtband, wie wir es bei der Foucault-Anordnung und der Grundanordnung gesehen haben.



### ***7.5. Das Umkehrinterferometer auf der optischen Bank***

Unten sehen Sie eine Ansicht der optischen Bank im „dunklen“ Raum, in dem ein Umkehrinterferometer gebaut wird. Es handelt sich um eine relativ einfache Lösung. Man sieht die weiße „Punkt“-Lichtquelle S, den Strahlteiler Bs und den kleinen Spiegel m1. Der Beobachter befindet sich in E direkt hinter der optischen Bank. Auf dem Bild ist das also unten.

Der Laser befindet sich noch weiter hinter dem Beobachter, der nicht im Bild zu sehen ist, so dass er das Laserlicht niemals in das Auge strahlen kann. Die Buchstaben „vm“ stehen für den flachen Spiegel, der sich auf halber Höhe des divergierenden (oder konvergierenden) Strahls befindet und das Licht zum Hohlspiegel M reflektiert. Dieser befindet sich unter der Holzplatte direkt vor dem Beobachter in E. Man sieht, wie das Laserlicht darunter verschwindet. Das Laserlicht wird später im Bild abgeschnitten.

Die anderen Spiegel im Hintergrund sind bereit, andere Aufbauten zu bohren. Alle großen Spiegel (155 mm Durchmesser) befinden sich auf Wagen, die sich mit Hilfe von Strahlen vom Standort von E aus um die drei Achsen bewegen können. So können sie näher und weiter bewegt, gedreht und höher, tiefer oder weiter nach links und rechts gestellt werden. All dies geschieht mit Stellschrauben.

