

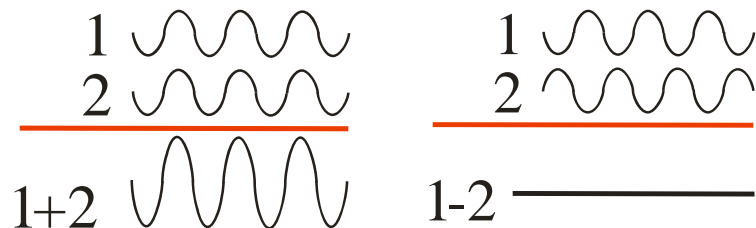
6. Fijne stof en destructieve interferentie.

Inhoud

6.1. Geen vlakke cirkels maar ruimtelijke bollen	1
6.2. ‘Nulling’- interferometrie.....	2
6.3. Een ‘gesloten’ opstelling met gelijke lichtweg	3
6.4. Het afstellen van de opstelling: niet zo eenvoudig.	5
6.5. Wat kunnen we verwachten?.....	5
6.6. En wat toont er zich werkelijk?.....	6
6.7. Een viervoudige verstoring	9
6.8. Een newtonkijker met destructieve interferentie?.....	10

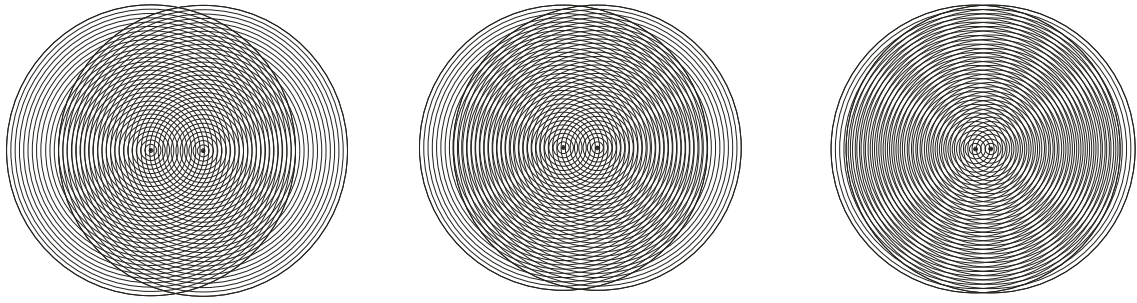
6.1. Geen vlakke cirkels maar ruimtelijke bollen

Constructieve en destructieve interferentie kwamen reeds ter sprake in het vierde hoofdstukje. We illustreerden het met golven in het water die ontstonden door twee stenen tegelijk in het water te gooien.

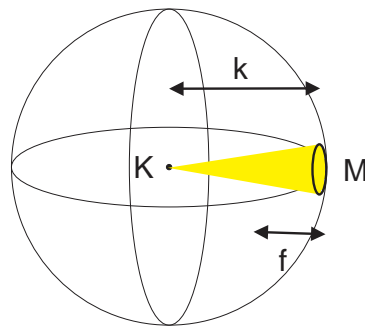


Destructieve interferentie heeft men wanneer een top een dal vult. Het water blijft dan op zijn oorspronkelijk niveau staan. Een analoog verschijnsel doet zich voor bij lichtgolven, daar leidt het samengaan van een top met een dal tot duisternis.

Illustreer we het andermaal met twee reeksen van concentrische cirkels die geleidelijk meer en meer in elkaar dringen. We zien boven- en onderaan de lijnen ontstaan en wat breder worden. Links opzij en rechts opzij zien we dat de gemeenschappelijke delen van de cirkelomtrek veel groter worden naarmate de middelpunten van de onderscheiden cirkels steeds dichter bij elkaar komen.



Denken we terug aan de glazen bol en onze sferische spiegel die er een stukje van was. Het is die situatie die we in onze opstelling zo veel mogelijk willen bereiken.



6.2. 'Nulling'- interferometrie

Denken we aan de sterrenwereld. De vraag of er elders in het heelal nog andere planeten bestaan zoals onze aarde, is in onze tijd erg actueel. Zulke planeten vinden is echter niet zo eenvoudig. Bevinden ze zich te ver van een ster, dan zijn ze te lichtzwak. Staan ze te dicht, dan verhindert de verblindende lichtintensiteit van dit hemelobject het waarnemen van de planeet. Daarom maakt men o.m. gebruik van destructieve interferentie: lichtbundels kunnen onder bepaalde voorwaarden, zichzelf uitdoven. Dat hebben we reeds toegelicht. Het licht van twee dicht bij elkaar staande en gelijkwaardige telescopen die op eenzelfde ster zijn afgesteld, kan verenigd worden, echter met een verschil van een halve golflengte of een onpaar veelvoud. Zo wordt het sterrenlicht geneutraliseerd. Maar dat geldt niet noodzakelijk voor het licht van de planeet die zich in de buurt van die ster bevindt. Slotsom: het licht van de ster wordt verzwakt of uitgedoofd, maar dat van de planeet, die op een andere afstand tot de telescopen staat, niet. Zo wordt deze laatste zichtbaar.

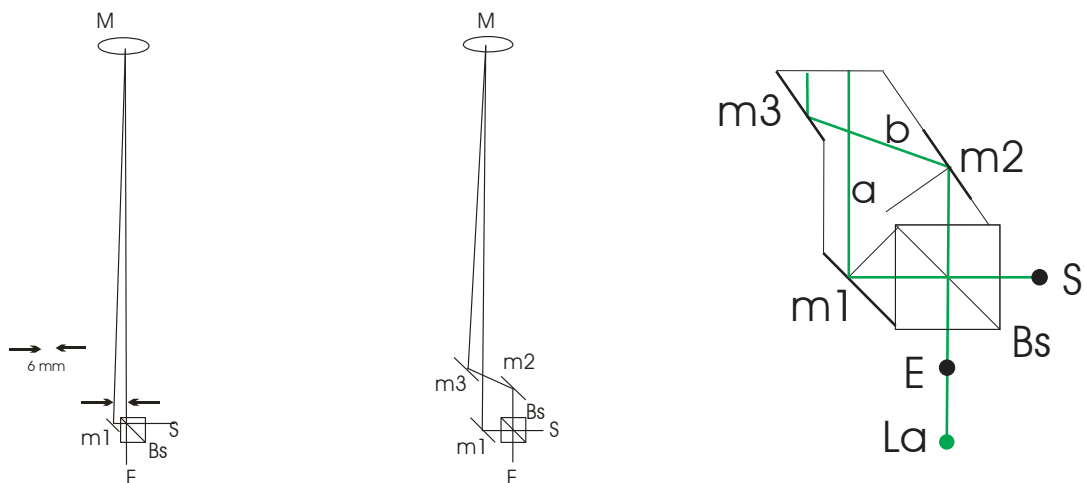
Die verregaande nauwkeurigheid in afstelling vinden we ook bij de *James Webb* telescoop. De 18 afzonderlijke zeshoekige segmenten van de hoofdspiegel worden zo op elkaar afgesteld, dat het licht van deze segmenten tot op een nanometer nauwkeurig (1×10^{-9} m, of één miljoenste van een millimeter (!)) kunnen worden uitgelijnd.

Gaan we in wat volgt na of het ons lukt om ook destructieve interferentie in onze opstelling te bereiken.

6.3. Een ‘gesloten’ opstelling met gelijke lichtweg

In onze ‘gesloten’ basisopstelling, - de driehoekige vorm - hadden we nog een ‘ongelijke’ lichtweg. De voorwerpsafstand v_1 was er langer dan de voorwerpsafstand 2. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat naarmate de lichtwegen v_1 en v_2 meer en meer aan elkaar zullen gelijk worden, we gemakkelijker tot een ruime interferentie zullen komen. De vraag wordt dus hoe een opstelling bedenken waarin beide lichtwegen tot de spiegel, v_1 en v_1 , aan elkaar kunnen gelijk worden. Kijken we hiervoor naar de volgende tekeningen. Links zien we de basisopstelling. De lichtweg naar M via m_1 is langer dan de lichtweg die van B_s rechtstreeks naar M gaat. Het kleinste wegverschil dat wij in onze opstelling konden bereiken was nog steeds 6 mm.

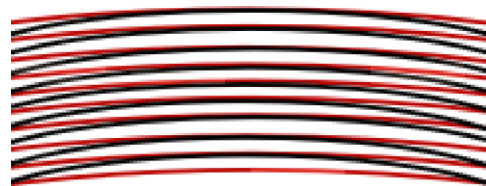
Kijken we vervolgens naar de tekening in het midden. Door de toevoeging van twee extra vlakke spiegeltjes, m_2 en m_3 , kan de 6 mm wegverschil weggewerkt worden. We gebruikten hiervoor het kaartje uiterst rechts. In een tekenprogramma werd het zo groot mogelijk uitgetekend, en werden de beide lichtwegen aan elkaar gelijk gemaakt. Nadien werd alles verkleind en afgedrukt op een kartonnen kaartje dat onder B_s kwam. Zo konden de spiegeltjes m_1 , m_2 en m_3 nauwkeuriger geplaatst worden.



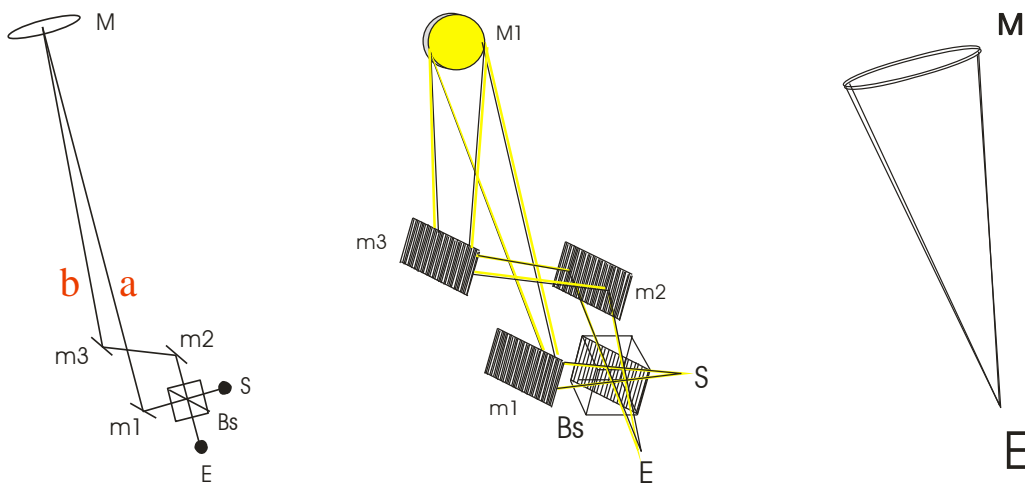
Tonen we hieronder een detail van deze opstelling. We herkennen in het midden de beamsplitter, rechts ervan de ‘punt’-lichtbron, Onder de splitter zien we het kaartje en ernaast de plaats voor de drie vlakke spiegeltjes die nog moeten aangebracht worden.



Door de beide lichtwegen zoveel mogelijk aan elkaar gelijk te maken wordt het gemeenschappelijke deel van de cirkelbogen der onderscheiden lichtpunten steeds maar breder, wat het bereiken van de beoogde interferentie vergemakkelijkt.

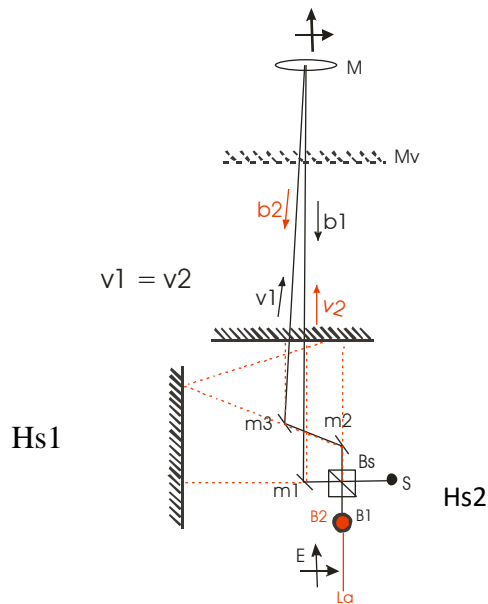


Stellen we het hieronder andermaal ruimtelijk voor. Uit de tekening rechts begrijpen we dat vanuit E de beide spiegelbeelden nu praktisch samenvallen.



6.4. Het afstellen van de opstelling: niet zo eenvoudig.

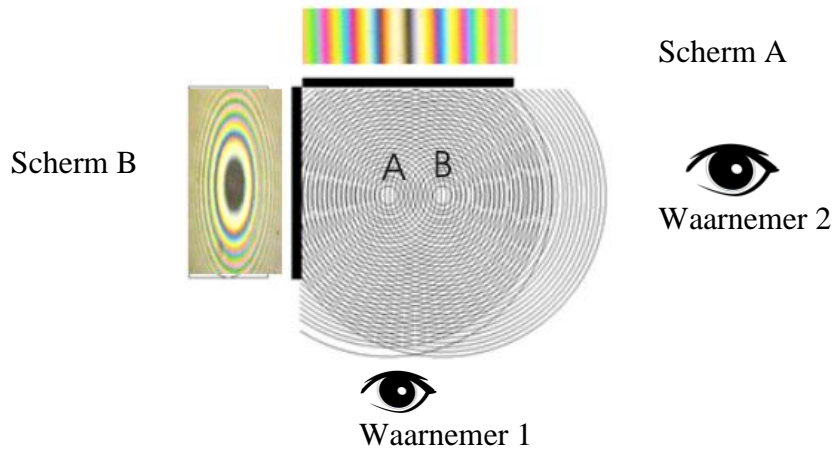
Ook hier vereist het nauwkeurig afstellen enkele hulp spiegels. Hs1 en Hs2. Beide vlakke spiegels moeten zo gericht staan dat ze het laserlicht opnieuw naar Bs weerkaatsen. Dan kan ook het vlakke spiegel tje m3 op Hs2 afgesteld worden, zodat ook dit laserlicht naar bes weerkaatst wordt. Het vlakke spiegel tje m2 moet afgesteld worden volgens de richting, aangegeven op het stukje karton waarop de splitter rust en het laserlicht bereikt Hs1, dan naar Hs2 weerkaatst. Daar moet dit het laserlicht afkomstig van m1 snijden. Dan kan Hs2 weggenomen worden. Spiegel M wordt zo geplaatst dat het licht vanuit m1 er midden op valt. Vervolgens wordt m3 geplaatst en gericht op het midden van de spiegel M. Deze laatste kan dan zo afgesteld worden dat het laserlicht weer in de opstelling gaat. De vlakke spiegel Mv geeft aan dat alles weer naar de waarnemer weerkaatst wordt zodat deze zelf de hand voor de spiegel kan houden terwijl hij kijkt. Houden we voor ogen dat dit alles een honderdtal afstelschroeven vereist, allen conisch uitgeboord en voorzien van een kogeltje om de wrijving zoveel mogelijk te verminderen. Elke afstelschroef rust bovendien op een stukje harde plastic.



6.5. Wat kunnen we verwachten?

Het komt ons voor dat de ‘gesloten’ opstelling met gelijke lichtweg een verdere perfectionering is van de opstelling, beschreven in het vorige hoofdstukje, en waarbij de lichtweg ongelijk was. We zullen dus bij het geleidelijk nauwkeuriger afstellen wellicht dezelfde beelden zien, maar beter. En we zullen meer zien. De gevoeligheid van de opstelling zal wellicht toenemen omdat het gemeenschappelijke deel van de cirkelbogen der onderscheiden lichtpunten, zoals hierboven toegelicht, steeds maar breder wordt. Met ons streven naar een gelijke lichtweg komen we in de richting van een nulling-interferometer.

Geven we hieronder opnieuw de tekening uit 5.4. weer. Stellen we ons voor dat de punten A en B geleidelijk dichterbij elkaar komen, dan zullen enerzijds de cirkels op het B-scherm steeds groter worden, tot het hele spiegeloppervlak overwegend zwart wordt. En anderzijds zullen de verticale lijnen op het scherm A zich meer en meer verbreden.



6.6. En wat toont er zich werkelijk?

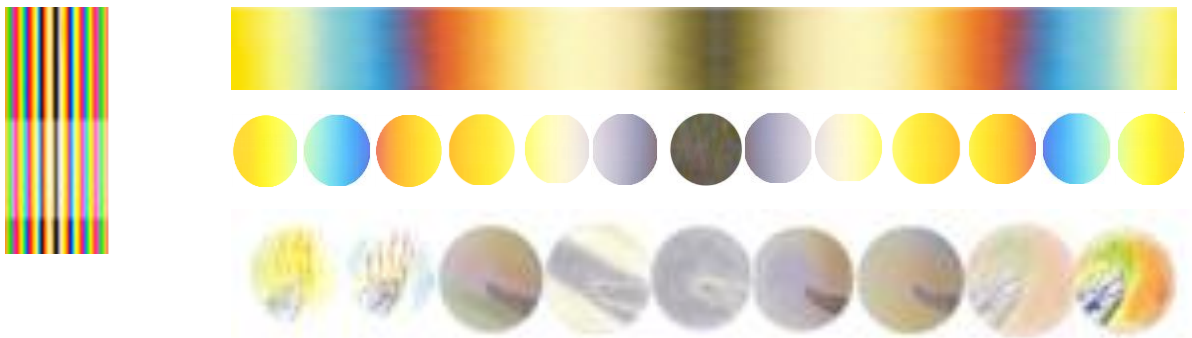
Stellen we uiterst nauwkeurig af, dan krijgen we inderdaad het hele spiegeloppervlak dat gevuld is met één enkele interferentiekleur.



Verdraaien we de stelschroef van één der vlakke spiegeltjes minimaal dan wijzigt zich de kleur van het spiegeloppervlak zich b.v. in blauw.



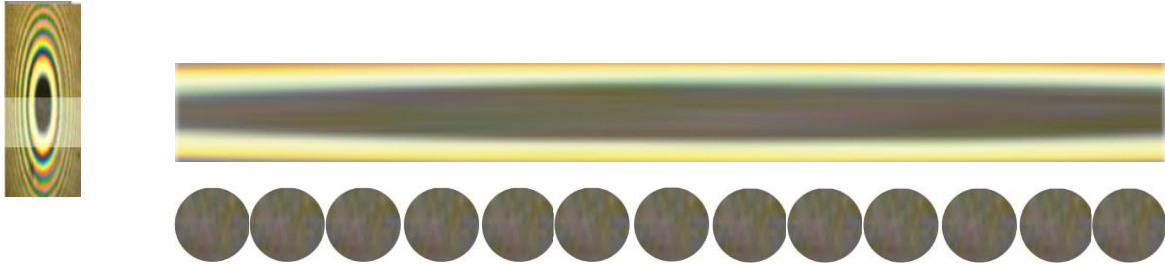
We kunnen bij het zo verder- of terugdraaien van een stelschroef bijna elke interferentiekleur op het scherm brengen. Bringen we de hand in de opstelling dan krijgen we een achtereenvolgens een aantal verstoringen. Geven we hieronder in een tabel een overzicht wat er zich aan kleuren en turbulenties toont.



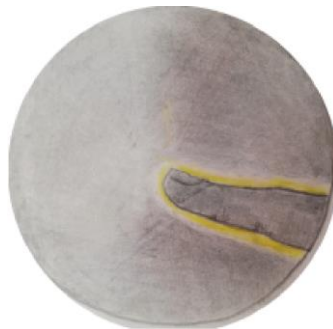
En vergroten we dit tot paginabreedte.



Bij een haast perfecte afstelling, bij een quasi destructieve interferentie kan men eigenlijk niet meer van lijnen of cirkels spreken, maar toont het hele spiegeloppervlak zich in een donkere kleur. De concentrische cirkels zoals we ze bij de aanvang van deze tekst in 7.1. hebben weergegeven, lijken perfect samen te vallen. Wat hieronder weergegeven wordt is dan ook niet meer dan een theoretische voorstelling. Toch heeft dit zijn nut, je ziet meer als je weet wat je kan verwachten. Dat illustreerden we met de boog in het nevelvat en de echografie van een baby in de tekst 3.1..



Ons boeit uiteraard het beeld van de zeer labiele totale destructieve interferentie. Brengen we nu de hand in de lichtweg dan toont zich weer een lichtende band rondom. De gele kleur is de interferentiekleur die in het overzicht net naast de lijn (of de cirkel) van destructieve interferentie staat.

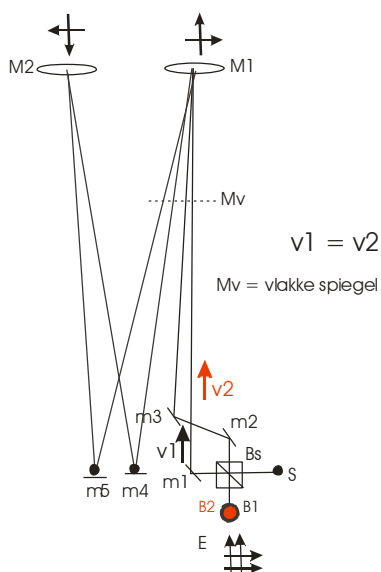


Dimmen we tenslotte de lichtsterkte maximaal, dan verdwijnt die gele kleur en toont zich weer de wazige, lichtende band.



6.7. Een viervoudige verstoring

Op de tekening rechts hieronder zien we in systeem 1, met M1, de basisopstelling met gelijke lichtweg. Draaien we de spiegel M1 een weinig, dan vallen de weerkaatste lichtstralen niet meer terug in Bs, maar er net naast (of er net boven). Voegen we aan de opstelling twee vlakke spiegeltjes m4 en m5 toe, dan kunnen we alles naar een tweede spiegel met gelijkaardig diafragma sturen. Na weerkaatsing van het licht wordt het eerste systeem dan nog een keer doorlopen. Dat betekent dat de hand, die voor M1 gehouden wordt, vier keer het licht kan verstoren. Eén keer divergerend en één keer convergerend bij M1 convergerend, en na systeem M2 doorlopen te hebben, herhaalt zich dat nog een keer. We hoopten op een cumulatief verstorend effect. We hebben het experiment niet in optimale omstandigheden kunnen uitvoeren. Het licht doorloopt ongeveer 15 meter afstand in de opstelling en de vlek van onze laser divergeerde te veel om nog nauwkeurig de kunnen afstellen. Rechts zien we een foto van deze opstelling.

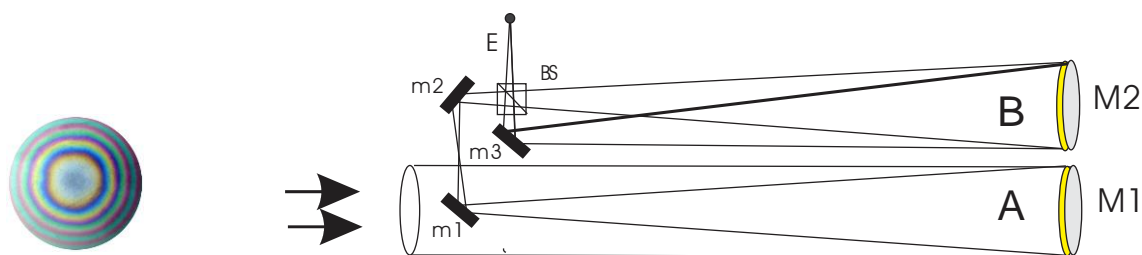


6.8. Een newtonkijker met destructieve interferentie?

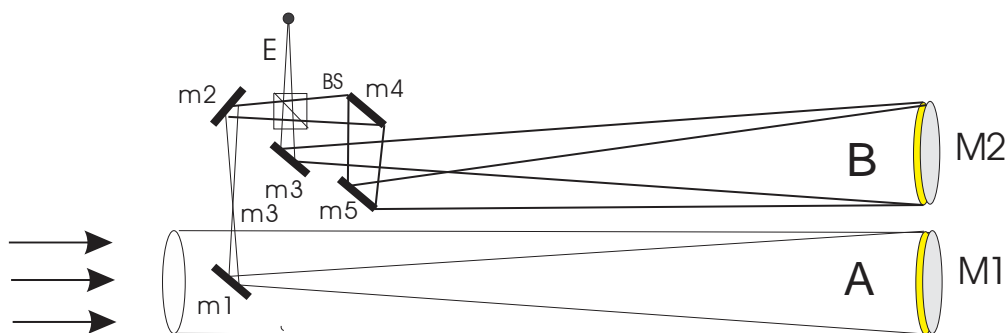
Kijken we naar de opstelling hieronder. Men herkent in het systeem A (M1-m1) een newtonkijker, systeem B is de basisopstelling met ongelijke lichtweg. Spiegel M1 wordt belicht vanuit zijn brandpunt. Spiegel M2 wordt belicht vanuit zijn krommingsmiddelpunt.

Theoretisch zou dit toestel beelden moeten geven zoals we ze beschreven in onderdeel 6.4.. Met dit verschil dat we nu niet de hand bekijken, maar wel de omgeving rondom, of zo we de kijker naar de hemel richten, de maan en de sterren.

We hebben uit nieuwsgierigheid dit toestel gebouwd, ondanks het feit dat we niet een over een spiegel M2 beschikten met een krommingsmiddelpunt gelijk aan de brandpunt van spiegel M1. Het resultaat was dat we de bomen en de natuur rondom zagen doordrongen van een aantal brede newtoncirkels.



Zou men echter willen nagaan of de opstelling geschikt kan zijn voor ‘nulling’-interferometrie, dan volstaat in systeem B niet de basisopstelling met ongelijke lichtweg, maar moet dit systeem voorzien worden van de opstelling met gelijke lichtweg. Daarom werden in de tekening hieronder de vlakke spiegeltsjes m4 en m5 toegevoegd. Het zal technisch zeker geen eenvoudige opstelling zijn.



De vraag blijft of we er inderdaad beelden van destructieve interferentie mee kunnen bekijken. Zou dit effectief kunnen, dan kan men met slechts één kijker naar planeten zoeken. Een tweede gelijkaardige kijker zoals beschreven onder 6.2., wordt dan in principe overbodig.

En wat zou er zich tonen zo we op een stormachtige dag de natuur rondom in de kijker nemen? Zouden de hevige luchtturbulenties dan ook tot een intense verschuiving van de interferentiekleuren kunnen leiden, een beetje analoog zoals we dat zagen rondom onze hand? Denken we hier op door dan lijkt het wel of de wind dan tot donkere schaduwen leidt, onderbroken door gele slierten. Of sterker nog, bij een hevige storm tot kleuren die verder van de centrale destructieve lijn verwijderd zijn, en kleurde de omgeving dan misschien zelfs rood of blauw. Om hierover zekerheid te krijgen dient zo een instrument eerst gebouwd te worden. Maar dat is al lang geen taak meer voor een amateur-kijkerbouwer.